

BIOCOMPUESTO DE FIBRA DE BANANEIRA, CÁSCARA DE AMENDOIM DE MANABÍ (ECUADOR) Y POLIESTIRENO EXPANDIDO RECICLADO

BIOCOMPOSITE OF BANANA FIBER, PEANUT SHELLS FROM MANABÍ (ECUADOR), AND RECYCLED EXPANDED POLYSTYRENE

BIOCOMPOSTO DE FIBRA DE BANANEIRA, CASCAS DE AMENDOIM DE MANABÍ (ECUADOR) E POLIESTIRENO EXPANDIDO RECICLADO

Eddie Efrén Echeverría-Maggi

Master's degree in Geomatics
Professor, Faculty of Engineering, Industry and Construction
University Laica Vicente Rocafuente, Guayaquil, Ecuador
<https://orcid.org/0000-0002-4634-5675>
eecheverriam@ulvr.edu.ec

Vicente Flores-Alés

Doctor in Chemistry
Professor, Architectural Construction II Department , Higher Technical School of Building Engineering
University of Seville, Seville, Spain
<https://orcid.org/0000-0003-4329-0020>
vflores@us.es (corresponding author)

Juan Jesus Martin-del-Rio

Doctor in Chemistry
Professor, Architectural Construction II Department , Higher Technical School of Building Engineering
University of Seville, Seville, Spain
<https://orcid.org/0000-0003-1935-5437>
jjdelrio@us.es



ABSTRACT

This research involves the development of a thermoplastic polymer biocomposite in a matrix of recycled expanded polystyrene reinforced with banana pseudostem fiber and crushed peanut shells. Six models were produced with different doses, of which the one that obtained the best result was the last one, with a content of 63% EPS, 25% banana fiber (40 mm), and 12% crushed peanut shells (1 to 3 mm). In the bending test, it achieved an MOR of 12 N/mm² and an MOE of 55 N/mm²; the compressive strength was 8.60 N/mm²; moisture absorption was 10%; and in the thermal conductivity test, it had a value of 0.095 W/m²K, which means it has an adequate insulating capacity. The values obtained comply with the Ecuadorian standard INEN 3110 for particleboards. This work shows the capacity of the materials used to produce different light, resistant, insulating components that can be used in buildings.

Keywords

recycling, natural fibers, panel, expanded polystyrene

RESUMEN

Esta investigación consiste en el desarrollo de un biocompuesto polimérico termoplástico en una matriz que se obtiene de la disolución del poliestireno expandido (EPS) reciclado, reforzado con fibra del pseudotallo de plátano y cáscara de cacahuete. Se elaboraron 6 modelos con los materiales, de los cuales el que obtuvo el mejor resultado fue la última dosificación, con un contenido del 63% de EPS diluido, 25% de fibra de plátano en tiras (40 mm) y 12% de cáscara de cacahuete triturado (1 a 3 mm). En la prueba de flexión alcanzó un MOR de 12 N/mm² y un MOE de 55 N/mm²; la resistencia a la compresión fue de 8,60 N/mm²; 10% de absorción de humedad; y en el ensayo de conductividad térmica tuvo un valor de 0,095 W/m²K que le otorga la propiedad de material aislante. Los valores alcanzados cumplen con las normas ecuatorianas INEN 3110 para tableros de partículas. Este trabajo evidencia la capacidad de los materiales utilizados para la manufactura de diversos componentes ligeros, resistentes y aislantes que se pueden emplear en las edificaciones.

Palabras clave

reciclado, fibras naturales, panel, poliestireno expandido

RESUMO

Esta pesquisa envolve o desenvolvimento de um biocompósito de polímero termoplástico em uma matriz de poliestireno expandido reciclado reforçado com fibra de pseudocaule de bananeira e cascas de amendoim trituradas. Foram produzidos seis modelos com diferentes doses, dos quais o que obteve o melhor resultado foi o último, com um teor de 63% de EPS, 25% de fibra de banana (40 mm) e 12% de casca de amendoim triturada (1 a 3 mm). No teste de flexão, alcançou um MOR de 12 N/mm² e um MOE de 55 N/mm²; a resistência à compressão foi de 8,60 N/mm²; a absorção de umidade foi de 10%; e no teste de condutividade térmica, apresentou um valor de 0,095 W/m²K, o que significa que tem uma capacidade de isolamento adequada. Os valores obtidos estão em conformidade com a norma equatoriana INEN 3110 para painéis de partículas. Este trabalho mostra a capacidade de materiais utilizados para produzir diferentes componentes leves, resistentes e isolantes que podem ser empregados em edificações.

Palavras-chave:

reciclagem, fibras naturais, painel, poliestireno expandido

INTRODUCCIÓN

El plátano es uno de los cultivos más representativos del mundo, que cubre un área de 5.557.060 ha en 2020. El mayor productor es India (31.504.000 t), y el mayor exportador es Ecuador (7.039.839 t) (FAOSTAT, n. d.). Las industrias pueden utilizar una cantidad significativa de fibra extraída del pseudotallo para diversas aplicaciones (Balda et al., 2021). Los investigadores han realizado varios estudios sobre los usos de estas fibras, como en el refuerzo de mortero (Akinyemi y Dai, 2020); en las industrias farmacéutica y alimentaria (Kumar et al., 2022); en el tratamiento de aguas residuales, donde actúan como absorbentes de contaminantes ambientales como metales pesados, colorantes y pesticidas, entre otros (Ahmad y danés, 2018); como refuerzos en materiales compuestos, incluyendo resina epoxi, éster vinílico, poliéster, polipropileno y polietileno (Ogunsilo & Oladeji, 2016). La estructura de la fibra de plátano (FP) consiste en 60-65% de celulosa, 19% de hemicelulosa, 5% de lignina, 2,5% de pectina y un contenido de humedad del 10%. Tiene un ángulo microfibrilar de 11°, un diámetro de fibra de 173 μm y una densidad de 1350 g/cm^3 . Su alto contenido de celulosa le confiere una alta resistencia mecánica; el módulo de elasticidad oscila entre 27 y 32 GPa, y la resistencia a la tracción tiene un rango de 529 a 914 N/ mm^2 , y el porcentaje de elongación del plátano cultivado es del 21,26%. Estos valores son más altos que los de las fibras de bambú, coco y sisal (Balda et al., 2021; Senthilkumar et al., 2018; Jayaprabha et al., 2011; Chattaviriyaya et al., 2022; Addis et al., 2023). La fibra de pseudotallo de plátano es adecuada para reforzar compuestos poliméricos para reemplazar fibras sintéticas debido a su excelente resistencia mecánica (Kalangi et al., 2022).

Las investigaciones han demostrado que la incorporación de fibras naturales mejora las propiedades mecánicas, así como el aislamiento térmico y acústico. Los estudios demuestran que la fibra de plátano tiene un coeficiente de reducción de ruido de 0,55-0,89 a frecuencias de 250 a 6300 Hz (Chattaviriyaya et al., 2022; Mendes y de Araújo Nunes, 2022). En compuestos híbridos, tiene una conductividad térmica de 0,003 $\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$ (Saravanan et al., 2020), mientras que, en compuestos poliméricos, logra una resistencia a la tracción de 21-93 N/mm^2 , resistencia a la flexión de 48-55 N/mm^2 , y resistencia al impacto de 7-18 J (Emmanuel Durai Raj et al., 2023; Kalangi et al., 2022).

La fibra del plátano puede tratarse con químicos para mejorar su desempeño mecánico, como en el trabajo de T. A. Nguyen y T. H. Nguyen, quienes desarrollaron un compuesto de fibra de plátano de 30 mm de largo tratada con hidróxido de sodio (NaOH) al 10%, 15%, 20% y 25% en masa, logrando un alto rendimiento con una proporción de 80% de resina epoxi y 20% de fibra de pseudotallo de banano (Nguyen y Nguyen, 2021). El tratamiento de las fibras mejora la transferencia de carga y retrasa la propagación de grietas después de una falla por cizallamiento (Chenrayan et al., 2023).

Sin embargo, es esencial controlar la longitud, orientación y volumen de las fibras. Cantidades excesivas pueden crear

huecos en la matriz, debilitando la unión interfacial y reduciendo la resistencia (Prem Chand et al., 2021; Addis et al., 2024; Wongsu et al., 2020; Korniejenko et al., 2016). Los compuestos "sándwich" también se han desarrollado a mano, utilizando capas superpuestas de fibra y polímero (Ramprasath et al., 2020).

Las cáscaras de cacahuete consisten en 45% de celulosa, 32,8% de lignina, 23-30% de hemicelulosa y 4,9% de proteína, con un contenido de humedad de 8-10% (Binici y Aksogan, 2017a; Gatani et al., 2010; Zaba e Ismail, 2018). Actualmente, existe una investigación basada en el uso de ceniza de cáscara de cacahuete y sus derivados en componentes de construcción como reemplazo del cemento en hormigones y morteros, utilizando principalmente ceniza de su cáscara molida obtenida a temperaturas que oscilan entre 400°C y 800°C, siendo la temperatura ideal 500°C (Gatani et al., 2010; Abd-Elrahman et al., 2023). Se ha utilizado como estabilizador para materiales de tierra y tiene aplicaciones como agregado fino en bloques de concreto y mampostería (Sathiparán et al., 2023). Los fabricantes también han utilizado cáscaras de cacahuete como componente en la producción de materiales de aislamiento térmico y acústico (Binici & Aksogan, 2017b).

Las cáscaras de cacahuete también se han utilizado en la fabricación de tableros de partículas utilizando urea-formaldehído como aglutinante, con tamaños de partícula que oscilan entre 0,5 y 3 mm (Guler et al., 2008; Akindapo et al., 2015). Prabhakar et al. investigaron las propiedades de un compuesto epoxi reforzado con polvo de cáscara de cacahuete, utilizando fibras tratadas con NaOH a concentraciones de 2, 5 y 7% p/v, y tres dosis de cáscara de 5, 10 y 15 en peso% (Prabhakar et al., 2015). S. Ramu et al. trabajaron con un compuesto híbrido en matriz epoxi con cáscara de cacahuete y cáscara de arroz, tratado con NaOH (1-2 horas) para mejorar sus propiedades mecánicas (Ramu et al., 2023). Girimurugan et al. (2022) realizaron un estudio experimental sobre las propiedades compresivas de un compuesto híbrido de polietileno de alta densidad, nanoalúmina y cáscara de cacahuete, en una proporción de 95: 2,5: 2,5 respectivamente, que es la proporción que dio los valores más altos de resistencia mecánica (Girimurugan et al., 2022). Sada et al. (2013) utilizaron cáscaras de cacahuete como sustituto del agregado fino (arena) con un tamaño no mayor a 4,76 mm; a medida que aumenta la cantidad de cáscara de cacahuete, disminuye la trabajabilidad y disminuye la densidad (Sada et al., 2013).

El poliestireno expandido (EPS, en inglés) es un material inerte, no biodegradable, que no contiene clorofluorocarbonos (CFC), por lo que no puede contaminar vectores ambientales, pero puede causar problemas si no se recicla. Una tonelada de poliestireno desechado equivale a 200 m^3 y ocupa mucho espacio, compuesto por un 98% de aire y un 2% de poliestireno. Para reciclar este producto se utilizan técnicas térmicas y químicas. Las opciones químicas implican el uso de solventes. Otros procesos, como la contracción por aire caliente y la compresión térmica por

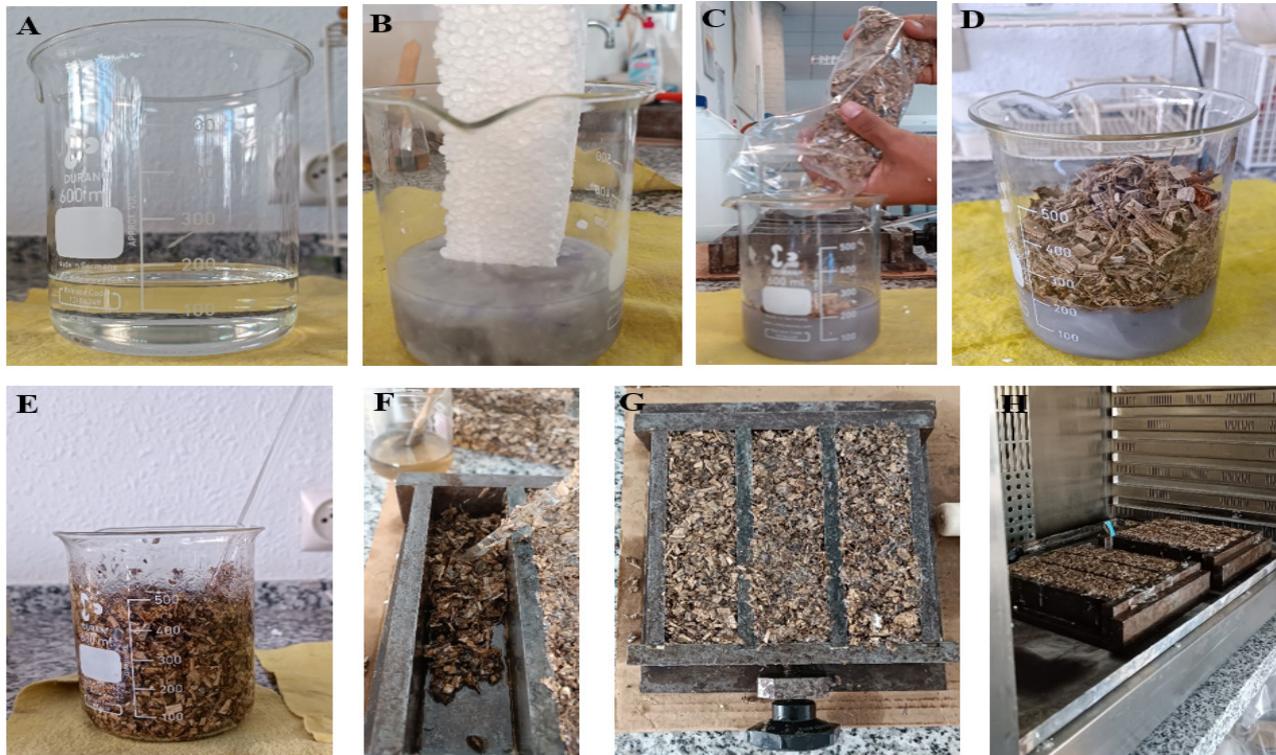


Figura 1. Procedimiento de prototipado. (a) disolvente universal; (b) solución de poliestireno expandido (EPS); (c) y (d) una mezcla de los agregados naturales con el aglutinante; (e) mezcla de los componentes; (f) colocación en el molde; (g) compactación en el molde y reposo durante 48 horas; (h) secado en el horno. Fuente: Elaborado por los autores

fricción (Martínez & Laines, 2013), pueden incorporar materiales adicionales, como harina de madera (Poletto et al., 2011). El reciclaje de plástico es una alternativa para evitar la contaminación ambiental y la emisión de gases tóxicos por incineración y consiste en su recolección, almacenamiento y reprocesamiento para obtener nuevos productos (Segura, Noguez y Espín, 2007).

El objetivo general de la investigación es desarrollar un material, utilizando cáscaras de plátano y cáscaras de cacahuate a partir de desechos agrícolas, que pueda usarse para hacer un panel arquitectónico. Este panel debe ser lo suficientemente duradero y tener propiedades aislantes. Se espera que este proceso ayude a reducir la huella de carbono asociada con la construcción y fabricación del material. El uso combinado de los dos residuos vegetales y la recuperación del EPS son los elementos centrales de esta investigación.

MATERIALES Y METODOLOGÍA

Se recolectaron fibras de plátano y cáscaras de cacahuate de residuos agrícolas en la zona rural de Carrasco, ubicada en Manabí (Ecuador). Las fibras se seleccionaron después de la cosecha, se secaron al sol durante siete días y luego se transportaron a los laboratorios de la Universidad Laica Vicente Rocafuerte en Guayaquil.

También se recogió poliestireno expandido de envases de electrodomésticos.

Las fibras se sometieron a un tratamiento químico en una solución de NaOH para limpiar y mejorar su rendimiento físico y mecánico. Luego, se secaron al sol durante siete días y en un horno durante 48 horas a una temperatura de 100°C. Una vez secas, las fibras de plátano se cortaron en tiras de 40 mm por 2 mm y 20 mm por 2 mm. El EPS se diluyó en disolvente, dando como resultado una sustancia viscosa blanquecina-grisácea. Las fibras se mezclaron con el conglomerado (EPS diluido) durante 15 minutos, luego se colocaron en moldes metálicos previamente lubricados con un desmoldeante, acompañados de 50 golpes de percusión, para eliminar burbujas de aire y mejorar su acoplamiento. La sustancia permaneció en el molde durante siete días; luego, se retiró y se dejó secar al ambiente por 14 días adicionales (Figura 1).

Para preparar las muestras, se utilizó el modelo de muestra descrito en la Norma UNE-EN 196-1: 2018, diseñada inicialmente para pruebas de cemento, únicamente para establecer las dimensiones de las muestras de 40 mm x 40 mm y 160 mm. Se establecieron seis tipos diferentes de dosificaciones de sus componentes, y se prepararon tres prototipos para cada dosificación para calcular el valor promedio (Tabla 1, Figura 2). La trabajabilidad del lote final se verificó probando la consistencia del mortero fresco en una mesa vibratoria.

Tabla 1. Composición del prototipo. Fuente: Elaborado por los autores

Muestra promedio	FP (g)	CPS	(g) EPS	(g) Solvente (ml)	Fibras
1 (I, II, III)	0	54	60	150	CPS_5 milímetros
2 (IV, V, VI)	54	0	60	150	BF_40 x 2 mm
3 (VII, VIII, IX)	20	34	70	180	BF_40 x 2 mm CPS_1 a 3 mm
4 (X, XI, XII)	20	40	60	150	BF_40 x 2 mm CPS_1 a 3 mm
5 (XIII, XIV, XV)	20	40	60	150	BF_20 x 2 mm CPS_1 a 3 mm
6 (XVI, XVII, XVIII)	40	20	100	250	BF_40 x 2 mm CPS_1 a 3 mm

Los modelos se sometieron a un proceso de caracterización que incluyó pruebas físicas y mecánicas, y el análisis se realizó siguiendo las especificaciones de tableros de partículas descritas en la norma europea UNE-EN 312:2010 (AENOR, 2024) y la norma ecuatoriana INEN 3110 (Aguillón et al., 2024). En las propiedades físicas se determinó la densidad en base a la norma UNE-EN 323: 1994 (Benítez et al., 2013), la absorción de humedad según la norma UNE-EN 317: 1994 (Murthy, 2013), y la transmitancia térmica basada en la Norma ISO 8302:1991. En las pruebas mecánicas se evaluó la resistencia a la flexión determinando el módulo de ruptura (MOR, en inglés) y el módulo de elasticidad (MOE, en inglés), siguiendo las pautas de la UNE-EN 310: 1994. Finalmente, se evaluó la resistencia a la compresión de acuerdo con la UNE 56535:1977. Las pruebas mecánicas se realizaron en una máquina de prueba universal Shimadzu UH-F500kNX.

Se han considerado los parámetros estadísticos básicos para las diferentes propiedades estudiadas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

DENSIDAD

Fibras de plátano y cáscaras de cacahuate; como la mayoría de la biomasa lignocelulósica (Karuppuchamy et al., 2024), tienen una densidad baja (Akcali et al., 2006). Esta propiedad intrínseca se transfiere al nuevo material compuesto y sus derivados. La incorporación de las fibras en el material compuesto puede generar porosidad adicional en la matriz y ser seguida por una disminución de la densidad, como Belkadi et al. estudiaron (Belkadi et al., 2018). Para determinar la densidad de los modelos prismáticos, a partir de la relación física entre masa y volumen, se obtuvo un valor promedio de 0,53 kg/m³ con una composición de 60% de EPS y 40% de agregados naturales (Tabla 2). El modelo I, hecho solo con cáscaras de cacahuate trituradas, que representaba

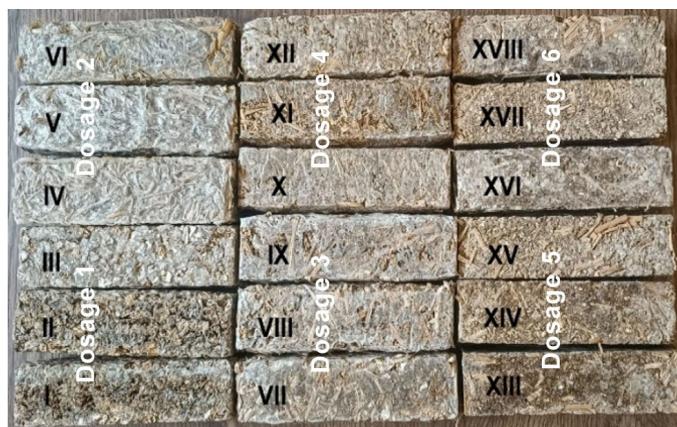


Figura 2. Muestras de 40 x 40 x 160 mm utilizadas para pruebas físicas y mecánicas (los números son la designación asignada a las muestras). Fuente: Elaborado por los autores

Tabla 2. Densidad de los prototipos. Fuente: Elaborado por los autores

Promedio de la muestra	Densidad (kg / m ³)	Desviación estándar
1	0,49	0,3321
2	0,52	0,6996
3	0,50	0,2356
4	0,55	0,9555
5	0,50	0,4545
6	0,64	0,1822

el 47% de su volumen, tenía la densidad más baja. Por otro lado, el híbrido modelo VI, que consta de 37% de fibras naturales y 63% de EPS, tuvo la densidad más alta. La incorporación de las fibras en el material compuesto puede generar porosidad adicional en la matriz, seguida de una disminución de la densidad. Las cáscaras de cacahuate son menos densas que las fibras de plátano.

ABSORCIÓN

La prueba de humedad se llevó a cabo siguiendo la Norma UNE-EN 317: 1994. Las muestras con menos poliestireno expandido y más fibras naturales absorbieron un mayor porcentaje de humedad (Tabla 3). El uso de EPS reduce significativamente la absorción de agua; sin embargo, cuando se usan como fibras naturales, se deben tener en cuenta los parámetros morfológicos en términos de su capacidad para absorber agua (Kesikidou y Stefanidou, 2019). La muestra VI logró el porcentaje de absorción más bajo de todas las muestras, con un valor del 10%, siguiendo la norma ecuatoriana INEN 3110 para tableros aglomerados en ambientes húmedos, que establece un valor máximo del 12%. La dosis más alta de EPS atrapa las fibras en el interior y las protege de agentes externos.

CONDUCTIVIDAD TÉRMICA

La prueba de conductividad térmica sigue la norma ISO 8302:1991 utilizando el método de la placa caliente, que mide la conductividad térmica en el rango de 0,002 a 2500 W/m·K. Las pruebas se pueden llevar a cabo en un rango de temperatura de 10°C a 40°C, con una diferencia de 15° entre las placas. Se prepararon muestras que medían 200 x 200 x 30 mm para esta prueba. Todas las muestras mostraron baja conductividad térmica, demostrando el potencial aislante del material. Un mayor contenido de fibra dio como resultado una tasa de transferencia de calor más baja (Tabla 4). Los huecos de aire dentro de la matriz mejoran las propiedades de aislamiento, pero pueden reducir la resistencia mecánica del material.

Se observa una clara relación entre densidad y coeficiente de conductividad térmica, confirmando la influencia de la dosificación y tipología de cáscara / fibra en esta propiedad. Otra investigación confirma que las fibras vegetales y la adición de polímeros redujeron la conductividad térmica. (Mo et al., 2017; Zouaoui et al., 2021).

RESISTENCIA A LA FLEXIÓN

La prueba de flexión se realizó siguiendo la norma UNE-EN 310:1994. Esta prueba permite determinar el módulo de ruptura (MOR, en inglés), que es la tensión máxima que puede soportar la muestra antes de fracturarse, evaluando así las propiedades plásticas de los compuestos. También se determinó el módulo de elasticidad (MOE, en inglés), que es la fuerza promedio que puede soportar la muestra sin romperse y volver a su estado original, expresando la propiedad elástica del material (Tabla 5). Es importante tener en cuenta que los tratamientos de fibra y matriz tienden a mejorar el comportamiento mecánico de los compuestos de matriz cementosa (Laverde et al., 2022).

El valor de resistencia a la flexión más alto obtenido fue de 12 N/mm². Este resultado cumple con la norma ecuatoriana INEN 3110 para tableros aglomerados, que establece un valor mínimo de resistencia de 9 N/mm²; el valor MOE

Tabla 3. Absorción de humedad. Fuente: Elaborado por los autores

Promedio de la muestra	Absorción (%)	Desviación estándar
1	16	0.9631
2	20	0.2655
3	25	0.7851
4	21	0.0236
5	19	0.5999
6	10	0.1222

Tabla 4. Conductividad térmica. Fuente: Elaborado por los autores.

Promedio de la muestra	Densidad (kg/m ³)	Conductividad térmica (W/m * K.)	Desviación estándar
1	0.49	0.062	0.2555
2	0.52	0.065	0.3694
3	0.50	0.083	0.9563
4	0.55	0.081	0.5844
5	0.50	0.085	0.2411
6	0.64	0.093	0.4922

Tabla 5. Resistencia a la flexión. Fuente: Elaborado por los autores.

Promedio de la muestra	MOR (N/mm ²)	Desviación estándar	MOE (N/mm ²)	Desviación estándar
1	4.20	0.9631	41.00	0.9102
2	5.10	1.0265	73.00	0.0658
3	4.26	0.9452	21.00	0.3599
4	4.60	1.1532	34.00	0.8425
5	4.85	0.9620	66.50	0.2261
6	12.00	1.2002	55.00	0.3102

Tabla 6. Resistencia a la compresión. Fuente: Elaborado por los autores.

Promedio de la muestra	Resistencia a la compresión (N/mm ²)	Desviación estándar
1	4.99	0.8864
2	5.00	0.9541
3	4.12	0.7500
4	4.44	0.8674
5	3.97	0.8551
6	8.60	0.8999

alcanzó 55 N/mm², demostrando su propiedad elástica antes de la deformación.

El MOR es la propiedad que ha mostrado la variación más significativa en los resultados.

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

Siguiendo la norma UNE 56535:1977, la prueba de compresión obtuvo la mayor resistencia a la compresión de 8,60 N/mm² con la dosis 6. Esta muestra contiene un mayor porcentaje de fibra de plátano (25%). El mayor porcentaje de fibra de plátano y el tamaño reducido de la cáscara de cacahuete probablemente influyeron en la mayor resistencia axial (Tabla 6).

Los resultados obtenidos proporcionan valores suficientes para el rendimiento esperado de un material de este tipo (Attia et al., 2022). Algunas investigaciones confirman que el pretratamiento alcalino mejora el rendimiento mecánico de la fibra en la prueba de compresión (Lamichhane et al., 2024a), mejorando las propiedades mecánicas del mortero con fibras de plátano cortas y delgadas: una alternativa sostenible a las fibras sintéticas (Ali et al., 2022; Lamichhane et al., 2024b).

La combinación de los dos tipos de residuos vegetales permite combinar el efecto granular de la cáscara de cacahuete con el efecto fibroso del residuo de plátano, reforzando así la influencia mutua en el comportamiento mecánico de los prototipos.

CONCLUSIONES

El producto desarrollado en este trabajo se diferencia de otros productos creados en investigaciones anteriores al utilizar un proceso completamente autónomo que evita el uso de resinas y equipos o herramientas sofisticados. Esta innovación permite a las comunidades implementar el proceso de producción localmente. Los resultados de las pruebas cumplen con los estándares y demuestran el potencial del material.

Las muestras elaboradas con fibras de plátano y cáscaras de cacahuete, aglomeradas con una solución de EPS, lograron una consistencia adecuada para las pruebas. Se adaptaron fácilmente a la forma del molde, lo que indica que el compuesto final podría adoptar diferentes formas. Las fibras naturales se pretrataron en una solución de NaOH para eliminar impurezas y aumentar la resistencia mecánica del producto final.

El porcentaje de absorción de agua oscila entre el 10 y el 25%. Los modelos con más fibras naturales y menos aglutinante tienen un alto porcentaje de absorción de agua. El modelo 6 tiene el porcentaje más bajo de absorción de agua. El contenido termoplástico en el compuesto puede proteger y aislar las fibras naturales de

la humedad, contribuyendo a la durabilidad del material. La conductividad térmica osciló entre 0,062 y 0,093 W/m·K. El mayor número de fibras naturales incorporadas en la matriz disminuye la conducción de calor. El modelo 6 alcanza un valor de conductividad de 0,093 W/m·K en comparación con las otras muestras. Este valor alcanzado se encuentra dentro del rango de materiales con propiedades aislantes. Es importante destacar la influencia de las fibras en esta propiedad.

La muestra 6 dio los mejores resultados de todas las muestras, logrando en la prueba de flexión un MOR de 12 N/mm², que determina la resistencia al esfuerzo de flexión antes de la fractura, el grado de plasticidad y un MOE de 55 N/mm², que determina la capacidad elástica del material antes de la deformación. La resistencia a la compresión fue de 8,60 N/mm². La resistencia a la flexión supera este valor, posiblemente debido a un efecto de desagregación durante la prueba, la longitud de las fibras y la reducción del tamaño de partícula de la cáscara de cacahuete. El aumento del contenido de polímero dio como resultado una tasa de absorción de agua del 10%, mejorando así la encapsulación y protección de las fibras.

Las fibras exhiben una unión interfacial robusta con el polímero (EPS disuelto), pero se observaron burbujas de aire dentro de las muestras. La presencia de burbujas de aire se redujo incorporando la cáscara de cacahuete en tamaños de partícula más pequeños, mejorando así la cohesión molecular en la matriz. Se recomienda aplicar una carga constante durante el proceso de secado. Además, la aplicación de calor contribuye a la consolidación del material, aunque este no era uno de los objetivos de la investigación.

Los resultados de las pruebas demuestran la efectividad de los componentes utilizados, incluidos los desechos de EPS, que se disolvieron para formar el conglomerado de matriz reforzado con fibras de cáscara de plátano y cacahuete. Los valores obtenidos cumplen con la norma ecuatoriana INEN 3110, basada en la norma UNE EN 312, para tableros aglomerados. Esto nos permite considerar que se pueden producir componentes de construcción livianos y duraderos con propiedades aislantes.

CONTRIBUCIONES DEL AUTOR – CREDIT

Conceptualización, E. E. M., V. F. A., J. J. M. D. R.; Curación de datos, E. E. M.; Análisis Formal, E. E. M., V. F. A., J. J. M. D. R.; Adquisición de Fondos; Investigación, E. E. M., V. F. A., J. J. M. D. R.; Metodología, V. F. A., J. J. M. D. R.; Gestión de Proyectos, V. F. A., J. J. M. D. R.; Recursos, E. E. M., V. F. A., J. J. M. D. R.; Software, E. E. M.; Supervisión, V. F. A., J. J. M. D. R.; Validación, V. F. A., J. J. M. D. R.; Visualización; Redacción-borrador original, E. E. M.; Redacción-revisión y edición, E. E. M., V. F. A., JJMDR.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean expresar su agradecimiento a CITIUS de la Universidad de Sevilla por el uso de sus laboratorios para los análisis de caracterización.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abd-Elrahman, M. H., Saad Agwa, I., Mostafa, S. A., & Youssf, O. (2023). Effect of utilizing peanut husk ash on the properties of ultra-high strength concrete. *Construction and Building Materials*, 384, 131398. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.131398>

Addis, L. B., Sendekie, Z. B., Habtu, N. G., Schubert, D. W., Roether, J. A., & Boccaccini, A. R. (2023). Characterization of False Banana Fiber as a Potential Reinforcement Material for Geopolymer Composites in B.H. Woldegiorgis, K. Mequanint, M.Z. Getie, E.G. Mulat, A. Alemayehu Assegie, (Eds), *Advancement of Science and Technology . Green Energy and Technology* (pp.49–63). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-33610-2_3

Addis, L. B., Sendekie, Z. B., Habtu, N. G., Schubert, D. W., Roether, J. A., & Boccaccini, A. R. (2024). False banana fiber reinforced geopolymer composite – A novel sustainable material. *Ceramics International*, 50(13-Part b), 24442–24450. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2024.04.177>

AENOR. (2024). *UNE-EN 312:2010 | Normas AENOR*. Tableros de Partículas. Especificaciones. <https://tienda.aenor.com/norma-une-en-312-2010-n0046341>

Aguillón, B., Cabrera, D., Lazo, M., Adrián, E., Carrasco, M., Medina-Perilla, J., Vera-Villalobos, J., & Rigail-Cedeño, A. (2024). Sorbitol glycidyl ether Epoxy/Brewer's spent grain biocomposite for fiberboard applications. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 9, 100705. <https://doi.org/10.1016/j.csee.2024.100705>

Ahmad, T., & Danish, M. (2018). Prospects of banana waste utilization in wastewater treatment: A review. *Journal of Environmental Management*, 206, 330–348. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.10.061>

Akcali, I. D., Ince, A., & Guzel, E. (2006). Selected Physical Properties of Peanuts. *International Journal of Food Properties*, 9(1), 25–37. <https://doi.org/10.1080/10942910500471636>

Akindapo, J. O., Binni, U. A., & Sanusi, O. M. (2015). Development of Roofing Sheet Material Using Groundnut Shell Particles and Epoxy Resin as Composite Material. *American Journal of Engineering Research (AJER)*, 4(6), 165–173. [https://www.ajer.org/papers/v4\(06\)/T04601650173.pdf](https://www.ajer.org/papers/v4(06)/T04601650173.pdf)

Akinyemi, B. A., & Dai, C. (2020). Development of banana fibers and wood bottom ash modified cement mortars. *Construction and Building Materials*, 241, 118041. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118041>

Ali, B., Azab, M., Ahmed, H., Kurda, R., El Ouni, M. H., & Elhag, A. B. (2022). Investigation of physical, strength, and

ductility characteristics of concrete reinforced with banana (Musaceae) stem fiber. *Journal of Building Engineering*, 61, 105024. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2022.105024>

Attia, M. M., Al Sayed, A. A. K.-A., Tayeh, B. A., & Shawky, S. M. M. (2022). Banana agriculture waste as eco-friendly material in fibre-reinforced concrete: An experimental study. *Advances in Concrete Construction*, 14(5), 355–368. <https://doi.org/10.12989/acc.2022.14.5.355>

Balda, S., Sharma, A., Capalash, N., & Sharma, Prince. (2021). Banana fibre: a natural and sustainable bioresource for eco-friendly applications. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 23, 1389–1401. <https://doi.org/10.1007/s10098-021-02041-y>

Belkadi, A. A., Aggoun, S., Amouri, C., Geuttala, A., & Houari, H. (2018). Effect of vegetable and synthetic fibers on mechanical performance and durability of Metakaolin-based mortars. *Journal of Adhesion Science and Technology*, 32(15), 1670–1686. <https://doi.org/10.1080/01694243.2018.1442647>

Benítez, A. N., Monzón, M. D., Angulo, I., Ortega, Z., Hernández, P. M., & Marrero, M. D. (2013). Treatment of banana fiber for use in the reinforcement of polymeric matrices. *Measurement*, 46(3), 1065–1073. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2012.11.021>

Binici, H., & Aksogan, O. (2017a). Insulation material production from onion skin and peanut shell fibres, fly ash, pumice, perlite, barite, cement and gypsum. *Materials Today Communications*, 10, 14–24. <https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2016.09.004>

Binici, H., & Aksogan, O. (2017b). Insulation material production from onion skin and peanut shell fibres, fly ash, pumice, perlite, barite, cement and gypsum. *Materials Today Communications*, 10, 14–24. <https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2016.09.004>

Chattaviriya, P., Supawantanakul, D., Sangsirimongkolying, R., & Sua-lam, G. (2022). Banana Fibers as a Sustainable Acoustic Absorbing Materials: A Review. *Trends In Sciences*, 19(11), 4498. <https://doi.org/10.48048/tis.2022.4498>

Chenrayan, V., Gebremaryam, G., Shahapurkar, K., Mani, K., Fouad, Y., Kalam, M. A., Mubarak, N. M., Soudagar, M. E. M., & Abusahmin, B. S. (2023). Experimental and numerical assessment of the flexural response of banana fiber sandwich epoxy composite. *Scientific Reports*, 13(1), 18156. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-45460-1>

FAOSTAT. (n.d.). FAOSTAT. Retrieved March 1, 2023, from <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL/visualize>

Gatani, M., Argüello, R., & Sesín, S. (2010). Materiales compuestos de cáscaras de maní y cemento. Influencia de diferentes tratamientos químicos sobre las propiedades mecánicas. *Materiales de Construcción*, 60(298), 137–147. <https://doi.org/10.3989/MC.2010.46908>

Girimurugan, R., Shilaja, C., Pradeep, G. M., Maheskumar, P., & Augustin Santhiyagu, I. (2022). An experimental study on compressive properties of high-density polyethylene-nano alumina-groundnut shell hybrid composites. *Materials Today: Proceedings*, 68(6), 2226–2232. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.08.437>

Guler, C., Copur, Y., & Tascioglu, C. (2008). The manufacture of particleboards using mixture of peanut hull (*Arachis hypogaea*

L.) and European Black pine (*Pinus nigra* Arnold) wood chips. *Bioresource Technology*, 99(8), 2893–2897. <https://doi.org/10.1016/J.BIORTECH.2007.06.013>

Immanuel Durai Raj, J., Arun Vasantha Geethan, K., John Rajan, A., & Vijay Ananth, S. (2023). Characterization of epoxy resin-based banana fiber reinforced composite with waste CD powder filler. *Materials Today: Proceedings*, 90(1), 19–23. <https://doi.org/10.1016/J.MATPR.2023.04.152>

ISO 8302:1991 - Thermal insulation — Determination of steady-state thermal resistance and related properties — Guarded hot plate apparatus. (n.d.). Retrieved June 8, 2024, from <https://www.iso.org/es/contents/data/standard/01/54/15422.html?browse=tc>

Jayaprabha, J. S., Brahmakumar, M. & Manilal, V. B. (2011). Banana Pseudostem Characterization and Its Fiber Property Evaluation on Physical and Bioextraction. *Journal of Natural Fibers*, 8(3), 149–160. <https://doi.org/10.1080/15440478.2011.601614>

Kalangi, C., Antony Prabu, D., Sujin Jose, A., & Jani, S. P. (2022). Experimental characterization of banana fiber reinforced polyester composites. *Materials Today: Proceedings*, 60(3), 2236–2239. <https://doi.org/10.1016/J.MATPR.2022.03.232>

Karuppuchamy, A., Ramya, K., y Silva, R. (2024). Novel banana core stem fiber from agricultural biomass for lightweight textile applications. *Industrial Crops and Products*, 209, 117985. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2023.117985>

Kesikidou, F., & Stefanidou, M. (2019). Natural fiber-reinforced mortars. *Journal of Building Engineering*, 25, 100786. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2019.100786>

Korniejenko, K., Frączek, E., Pytlak, E., & Adamski, M. (2016). Mechanical Properties of Geopolymer Composites Reinforced with Natural Fibers. *Procedia Engineering*, 151, 388–393. <https://doi.org/10.1016/J.PROENG.2016.07.395>

Kumar, P. S., Pushpavalli, S., Keran, D. A., Shuprajhaa, T., Sivananth, C., Renganathan, R., Kandallu Jayaraman, J., Balakrishnan, P., & Uma, S. (2022). Deciphering functional characteristics and in-vitro bioactive properties of banana central core stem powder. *Food Chemistry*, 397, 133828. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2022.133828>

Lamichhane, N., Lamichhane, A., & Gyawali, T. R. (2024). Enhancing mechanical properties of mortar with short and thin banana fibers: A sustainable alternative to synthetic fibers. *Heliyon*, 10(10), e30652. <https://doi.org/10.1016/J.HELIYON.2024.E30652>

Laverde, V., Marin, A., Benjumea, J. M., & Rincón Ortiz, M. (2022). Use of vegetable fibers as reinforcements in cement-matrix composite materials: A review. *Construction and Building Materials*, 340, 127729. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.127729>

Martínez, C., & Laines, J. (2013). POLIESTIRENO EXPANDIDO (EPS) Y SU PROBLEMÁTICA AMBIENTAL. *Kuxulkab, Revista de Divulgación*, 19(36), 63-. <https://doi.org/10.19136/kuxulkab.a19n36.339>

Mendes, C. O. B., & de Araújo Nunes, M. A. (2022). Acoustic performance of the banana pseudostem fiber.

Applied Acoustics, 191, 108657. <https://doi.org/10.1016/J.APACOUST.2022.108657>

Mo, K. H., Bong, C. S., Alengaram, U. J., Jumaat, M. Z., & Yap, S. P. (2017). Thermal conductivity, compressive and residual strength evaluation of polymer fibre-reinforced high volume palm oil fuel ash blended mortar. *Construction and Building Materials*, 130, 113–121. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.11.005>

Preethi, P., & Murthy, B. G. (2013). Propriétés physiques et chimiques des fibres de banane extraites de cultivars commerciaux de bananes cultivés dans l'État du Tamilnadu, *Agrotechnologie*. <https://doi.org/10.4172/2168-9881.S11-008>

Nguyen, T. A., & Nguyen, T. H. (2021). Banana Fiber-Reinforced Epoxy Composites: Mechanical Properties and Fire Retardancy. *International Journal of Chemical Engineering*, 2021(1), 1973644. <https://doi.org/10.1155/2021/1973644>

Ogunsile, B. O., & Oladeji, T. G. (2016). Utilization of banana stalk fiber as reinforcement in low-density polyethylene composite, *Revista Materia*, 21(4), 953–963. <https://doi.org/10.1590/S1517-707620160004.0088>

Poletto, M., Dettenborn, J., Zeni, M., & Zattera, A. J. (2011). Characterization of composites based on expanded polystyrene wastes and wood flour. *Waste Management*, 31(4), 779–784. <https://doi.org/10.1016/J.WASMAN.2010.10.027>

Prabhakar, M. N., Shah, A. U. R., Rao, K. C., & Song, J. Il. (2015). Mechanical and thermal properties of epoxy composites reinforced with waste peanut shell powder as a bio-filler. *Fibers and Polymers*, 16, 1119–1124. <https://doi.org/10.1007/s12221-015-1119-1>

Prem Chand, R., Ravitej, Y. P., Chandrasekhar, K. M., Adarsha, H., Shivamani Kanta, J. V., Veerachari, M., Ravi Kumar, R., & Abhinandan. (2021). Characterization of banana and E glass fiber reinforced hybrid epoxy composites. *Materials Today: Proceedings*, 46(18), 9119–9125. <https://doi.org/10.1016/J.MATPR.2021.05.402>

Ramprasath, B., Murugesan, R., Banerjee, A., Anand, A., & Shashank. (2020). A Comparative Study of Sandwich and Hybrid Sandwich Composites using Jute and Kevlar Fibers. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 912(5), 052031. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/912/5/052031>

Ramu, S., Senthilkumar, N., & Deepanraj, B. (2023). Experimental investigation on alkali-treated (NaOH) groundnut shell (*Arachis hypogaea* L.) and rick husk (*Oryza sativa*) particle epoxy hybrid composites. *Materials Today: Proceedings*. <https://doi.org/10.1016/J.MATPR.2023.03.171>

Sada, B. H., Amartey, Y. D., & Bakoc, S. (2013). An Investigation into the use of groundnut as fine aggregate replacement. *Nigerian Journal of Technology*, 32(1), 54–60. <https://www.ajol.info/index.php/njt/article/view/87225>

Saravanan, A. K., Rajendra Prasad, A., Muruganandam, D., Saravanan, G., Vivekanandan, S., & Sudhakar, M. (2020). Study on natural fiber composites of jute, pineapple and banana compositions percentage of weight basis for thermal resistance and thermal conductivity. *Materials Today: Proceedings*, 37(2), 147–151. <https://doi.org/10.1016/J.MATPR.2020.04.662>

Sathiparan, N., Anburuvel, A., & Selvam, V. V. (2023). Utilization of agro-waste groundnut shell and its derivatives in sustainable construction and building materials – A review. *Journal of Building Engineering*, 66, 105866. <https://doi.org/10.1016/J.JOBE.2023.105866>

Segura, D., Noguez, R., & Espín, G. (2007). Contaminación ambiental y bacterias productoras de plásticos biodegradables. *Biotecnología*, 14, 361-371. https://www.researchgate.net/profile/Raul-Noguez/publication/242144167_Contaminacion_ambiental_y_bacterias_productoras_de_plasticos_biodegradables/links/565cc57f08aefe619b253fd3/Contaminacion-ambiental-y-bacterias-productoras-de-plasticos-biodegradables.pdf

Senthilkumar, K., Siva, I., Rajini, N., Winowlin Jappes, J. T., & Siengchin, S. (2018). Mechanical characteristics of tri-layer eco-friendly polymer composites for interior parts of aerospace application. *Sustainable Composites for Aerospace Applications*, 35–53. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102131-6.00003-7>

UNE 56535:1977. (2017, Retrieved June 8, 2024,). *Características físico-mecánicas de la madera. Determinación de la resistencia a la compresión axial.*, from <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0006021>

UNE-EN 196-1:2018. (2018, Retrieved June 8, 2024). Métodos de ensayo de cementos. *Parte 1: Determinación de resistencias.* <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0060675>

UNE-EN 310:1994 (2019, Retrieved June 8, 2024). *Tableros derivados de la madera. Determinación del modulo de elasticidad en flexión y de la resistencia a la flexión. (Versión oficial EN 310:1993).* <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0008516>

UNE-EN 317: 1994. (1994, Retrieved June 8, 2024). Tableros de partículas y tableros de fibras. Determinación de la hinchazón en espesor después de inmersión en agua. (Versión oficial EN 317:1993). <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0008533>

UNE-EN 323: 1994. (1994, Retrieved June 8, 2024). Tableros derivados de la madera. Determinación de la densidad. (Versión oficial EN 323:1993). <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma/?c=N0008540>

Wongsa, A., Kunthawatwong, R., Naenudon, S., Sata, V., & Chindapasirt, P. (2020). Natural fiber-reinforced high calcium fly ash geopolymer mortar. *Construction and Building Materials*, 241, 118143. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2020.118143>

Zaaba, N. F., & Ismail, H. (2018). A Review on Peanut Shell Powder Reinforced Polymer Composites. 58(4), 349–365. <https://doi.org/10.1080/03602559.2018.1471720>

Zouaoui, Y., Benmahiddine, F., Yahia, A., & Belarbi, R. (2021). Hygrothermal and Mechanical Behaviors of Fiber Mortar: Comparative Study between Palm and Hemp Fibers. *Energies*, 14(21), 7110. <https://doi.org/10.3390/en14217110>