EIEI ACOFI 2025
5º Congreso Latinoamericano de Ingeniería
Más Información: www.acofi.edu.co/eiei
Ingeniería de impacto para cuidar y transformar la vida
ACOFI: 50 años por la excelencia de la educación en ingeniería.

Implementación de paja de arroz y fibras de pseudotallo de plátano como elementos de refuerzo en paneles constructivos con matriz arcillosa

Oswaldo Hurtado Figueroa[a,b,c], Alfonso Cobo Escamilla[b], Romel J. Gallardo Amaya[a]

[a]Universidad Francisco de Paula Santander, Ocaña, Colombia
[b]Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España
[c]Servicio Nacional de Aprendizaje, Cúcuta, Colombia

Resumen

La presión ambiental ejercida por la industria de la construcción debido al uso de recursos naturales junto al gasto energético y los residuos generados en la extracción, procesamiento y elaboración de elementos constructivos obliga a la implementación de materiales alternativos de bajo impacto ambiental que contemplen las exigencias fisicomecánicas solicitadas por las normativas vigentes. En consecuencia, investigaciones centran su objetivo principal en el uso materiales, técnicas y metodologías novedosas con el fin de reducir el gasto energético y la generación de residuos. Sin embargo, investigadores han decidido dar un vistazo atrás para retomar las técnicas constructivas ancestrales que usaban recursos naturales del mismo entorno. En ese sentido, la tierra arcillosa y las fibras vegetales junto a otras especies de fácil crecimiento como las gramíneas dieron origen a las técnicas Adobe, Tapia pisada, Bahareque, y Cob. Técnicas constructivas ancestrales donde prima el uso de materiales propios de la zona con mínimo o nulo gasto energético para su implementación. Materiales con ventaja ambiental en su reutilización mediante humectación o disposición final a través de depósito en lugares donde se pretenda la ubicación de zonas verdes debido a las características compostables de los elementos de partida. Con lo anterior, la presente investigación desarrollada en el marco de la tesis del programa Doctorado en Innovación Tecnológica en Edificación de la Universidad politécnica de Madrid – UPM, contemplo la elaboración de paneles constructivos con matriz arcillosa reforzados con fibras vegetales. En la investigación se mejoraron las propiedades fisicomecánicas de la paja de arroz y las fibras de pseudotallo de plátano mediante tratamiento alcalino con hidróxido de sodio (NaOH) para su incorporación como elementos de refuerzo en matriz arcillosa estabilizada con almidón de yuca y carboximetilcelulosa. A las mezclas se les adiciono resina de origen natural para incrementar su comportamiento mecánico. Con las mezclas se elaboraron paneles constructivos experimentales

DOI: https://doi.org/10.26507/paper.4260

revestidos con papel artesanal de celulosa de la planta de plátano. Paneles con características compostables con los que se pretenden sustituir los paneles de yeso cartón tradicionalmente utilizados en las construcciones livianas en seco o sistema tipo Drywall. De esta manera, se pretende la innovación de materiales constructivos a través del uso de arcilla cruda, sin proceso de cocción, y residuos vegetales postcosecha. Material ecológico cuya disposición finalizando su vida útil presenta nulo impacto ambiental mediante su implementación como abono en zonas verdes.

Palabras clave: paja de arroz; fibras de pseudotallo de plátano; matriz arcillosa

Abstract

The environmental pressure exerted by the construction industry due to the use of natural resources together with the energy expenditure and waste generated in the extraction, processing and elaboration of construction elements, makes it necessary to implement alternative materials with low environmental impact that meet the physicomechanical requirements of current regulations. Consequently, research focuses on the use of novel materials, techniques and methodologies to reduce energy consumption and waste generation. However, researchers have decided to take a look back at ancient construction techniques that used natural resources from the same environment. In this sense, clay soil and vegetable fibers together with other species of easy growth such as grasses gave rise to the earth brick, rammed earth, wattle and daub, and Cob. Ancestral construction techniques where the use of local materials with minimal or no energy expenditure for its implementation is a priority. Materials with environmental advantage in their reuse through wetting or final disposal through deposit in places where green areas are intended to be located due to the compostable characteristics of the starting elements. With the above, the present research developed in the framework of the thesis of the PhD program in Technological Innovation in Building of the Polytechnic University of Madrid - UPM, contemplated the development of construction panels with clay matrix reinforced with vegetable fibers. The research improved the physicomechanical properties of rice straw and plantain pseudostem fibers by alkaline treatment with sodium hydroxide (NaOH) for their incorporation as reinforcing elements in a clay matrix stabilized with cassava starch and carboxymethylcellulose. Natural resin was added to the mixtures to increase their mechanical behavior. The mixtures were used to make experimental construction panels coated with handmade cellulose paper from the plantain plant. Panels with compostable characteristics that are intended to replace the gypsum board panels traditionally used in light dry construction or Drywall type system. In this way, the innovation of construction materials is sought through the use of raw clay, without firing process, and post-harvest vegetable residues. Ecological material whose disposal at the end of its useful life presents zero environmental impact through its implementation as fertilizer in green areas.

Keywords: rice straw; plantain pseudostem fibers; clay matrix

1. Introducción

La implementación de materiales alternativos de bajo impacto ambiental se ha convertido en el horizonte de investigaciones en la industria de la construcción con el fin de alejar los constantes señalamientos a los que ha sido sujeta debido a la extracción y procesamiento de recursos naturales junto a los elementos residuales resultantes en los procesos de transformación, puesta en obra y disposición final. Es por esta razón, que investigadores centran su atención en disminuir el impacto ambiental mediante sustitución de materiales tradicionalmente usados en el sector a través de estudios que pretenden el uso de diversos elementos que otorguen similares características físicas, químicas y mecánicas.

Respecto al concreto, el cual es visto como el segundo material más usado en el mundo después del agua, investigaciones han experimentado materiales alternativos para sustituir su matriz cementante a través de la implementación de geopolímeros de activación alcalina [1]. Los agregados pétreos convencionalmente usados en la elaboración de mezclas de concreto han sido sustituidos por diversos materiales tales como residuos hospitalarios [2,3], polietileno tereftalato (PET) [4], poliestireno expandido [5], residuos de Construcción y Demolición (RCD) [6] entre otros. Dentro de este gran grupo de materiales sustitutos, los RCD se presentan como una de las alternativas más convenientes gracias a la disposición útil que se le da a este tipo de materiales en obras nuevas.

Sin embargo, la puesta en marcha de procesos que permiten la recolección, selección, limpieza, preparación y transformación de los RCD conlleva disponibilidad de recursos considerables de los cuales el gasto energético se presenta como el más esencial. Como ejemplo, se puede citar que el proceso de recolección, limpieza, trituración, molienda y mezclado que permite la transformación de los RCD para su implementación en nuevos productos o mezclas constructivas exige un gasto energético considerable que, en ocasiones, puede ser igual o superior a la destinada en la elaboración inicial de los materiales de partida [7].

En consecuencia, investigadores proponen la implementación de materiales compuestos verdes o Green Composites (GC) como alternativa para la elaboración de materiales constructivos con diferentes requerimientos mecánicos. Materiales que se caracterizan por el origen natural o característica biodegradable de alguno de sus 2 componentes matriz o fibra. Debido a la facilidad de moldeado y el poco gasto energético implementado en su procesamiento, la matriz polimérica es comúnmente utilizada en la elaboración de este tipo de compuestos verdes [8].

En ese sentido, investigaciones ha podido elaborar polímeros biodegradables tales como el ácido poliláctico (PLA). Polímero que se produce a través de la fermentación de azucares de recursos vegetales o el almidón producido por el maíz. Este polímero se muestra como una alternativa ecológica para desligar la dependencia del petróleo en la elaboración de materiales poliméricos. Como elemento de refuerzo de GC, investigaciones han demostrado el buen desempeño de las fibras vegetales (FV) como elementos sustitutos de las fibras sintéticas convencionalmente usadas en la elaboración de materiales compuestos [9].

No obstante, la resiente investigación publicada por los autores Hsuan-Cheng Lu et al [10] en febrero del 2025 revelo la presencia de micropartículas de plástico en el suelo fértil. En su investigación los autores analizaron compost en el que fueron vertidos elementos poliméricos con características biodegradables. Los resultados investigativos evidenciaron que la biodegradación de algunos plásticos no llega a completarse en su totalidad. Por el contrario, el proceso genera una disminución del tamaño de partículas que luego de ser transmitidas al suelo son absorbidas con facilidad por las raíces de plantas quienes a su vez llevan estas micropartículas de plásticos al fruto que luego es consumido por seres humanos y animales causando considerables alteraciones a la salud.

Con lo anterior, en el sector industrial, en especial, en la industria de la construcción, se hace necesaria la implementación de materiales sostenibles con características biodegradables y compostables. Propiedad que garantiza la descomposición total no toxica del material aportando biomasa rica en nutrientes favoreciendo el crecimiento de las plantas.

En respuesta, la presente investigación realizada en el marco de la tesis doctoral titulada "*Confección de paneles constructivos a base de un compuesto natural reforzado con paja de arroz y fibras de pseudotallo del plátano en matriz arcillosa"* presentada para obtener el título de Doctor en Innovación Tecnológica en Edificación ofertado por la Universidad Politécnica de Madrid, tiene como objetivo principal la elaboración de un panel constructivo con matriz arcillosa estabilizada con carboximetilcelulosa y almidón de yuca reforzado con paja de arroz y fibras de pseudotallo de plátano. Panel experimental que pretende sustituir los paneles de yeso cartón (GB) tradicionalmente usados en las construcciones livianas en seco o el sistema tipo Drywall. El origen natural y vegetal de los elementos de partida que conforman el panel constructivo experimental lo catalogan como material compostable cuyos residuos de desmontaje o demolición, pueden ser depositados directamente al suelo transformándolo en compost nutritivo para zonas verdes propias de la obra o abono para cualquier cultivo agrícola.

2. Construcciones livianas en seco "Sistema tipo Drywall"

En la industria de la construcción además de la implementación de elementos estructurales con resistencias mecánicas considerables, se hace necesaria el uso de materiales con resistencias menores los cuales pueden ser usados en revestimientos interiores o en la construcción de estructuras temporales. En respuesta, se presenta el sistema constructivo tipo Drywall. Sistema tradicionalmente comercializado que consta del uso de elementos metálicos con los que se conforma la estructura principal de la construcción. Sobre esta estructura son colocados paneles elaborados a base de yeso cartón o fibrocemento los cuales se sujetan a través de tornillos especiales con el fin de cubrir el área a intervenir.

La implementación del sistema constructivo tipo Drywall es muy bien acogido en la industria de la construcción debido a la facilidad de su instalación y bajo coste. Sin embargo, el masivo uso del sistema genera gran rotación de materiales, en especial los paneles, lo cual se traduce en el aumento en la fabricación de elementos y en la generación de residuos al momento de desmontar o demoler la estructura construida.

En consecuencia, la masiva implementación del sistema Drywall genera grandes masas de residuos resultantes de la rotación temporal de las estructuras construidas. Elementos residuales que en su gran mayoría carecen de protocolos que garanticen su correcta disposición final. No obstante, en el sector de la construcción existen empresas encargadas en procesar y reutilizar los residuos de los GB con el fin de reducir la carga ambiental que genera este tipo de sistema. Si embargo, los procesos a los que son expuestos los residuos para su reutilización en ocasiones exigen recursos que igualan o superan los requeridos en la fabricación inicial de los paneles a base de yeso.
En ese sentido, en el sector de la construcción se hace necesario el uso de materiales de bajo impacto ambiental para su implementación en la construcción de elementos no estructurales o estructuras temporales. Materiales que luego de finalizar su vida útil puedan ser procesados invirtiendo mínimos recursos para su reutilización o simplemente que su disposición final garantice su incorporación favorable en los ecosistemas.

3. Fibras vegetales como elementos de refuerzo

El uso de elementos de procedencia vegetal en la construcción de viviendas es una práctica antigua que hace referencia a las Técnicas Constructivas Ancestrales. Técnicas ancestrales de las cuales hacen parte el Adobe, la Tapia Pisada, el Bahareque y el Cob y que actualmente están siendo implementadas en algunas regiones del planeta haciendo uso de materiales propios de la zona para su aplicación como materiales de construcción [11]. Los elementos de procedencia vegetal son utilizados para la conformación de las columnas y vigas que actúan como estructura principal de la vivienda. Para este tipo de elementos estructurales, según la ubicación geográfica de la construcción y la disponibilidad de la especie vegetal, son usados especies maderables. No obstante, las gramíneas se presentan como el recurso vegetal, renovables y sostenible comúnmente usado en construcciones ancestrales.

En ese sentido, la guadua angustifolia Kund, el bambu y la Arundo donax "Caña común" entre otras, se relacionan como las gramíneas de tallos con tejido leñoso que facilitan su implementación como elementos para la conformación de la estructura principal y muraría de la edificación. Sin embargo, otras especies de gramíneas, con características mecánicas inferiores, son tradicionalmente adicionadas a mezclas con matriz arcillosa con el fin de mejorar las propiedades fisicomecánicas de este tipo de mezclas a base de tierra cruda. Por consiguiente, algunas especies herbáceas como los pastos y la paja resultante de la postcosecha de cereales como el arroz, el trigo, la cebada entre otros, cuyos tallos cilíndricos están conformados por tejidos conductores resistentes a fuerzas externas como la generada por los vientos, son usados como fibras vegetales de refuerzo favoreciendo las características de las mezclas [12].

Con lo anterior, en la presente investigación se dio un vistazo atrás con el fin de retomar el uso de las fibras vegetales como elementos de refuerzo en la elaboración de paneles constructivos con matriz arcillosa. Se recolecto la paja de arroz resultante de la postcosecha de los cultivos presentes en el municipio del Zulia en el departamento del Norte de Santander. En el mismo lugar, fueron recuperados los tallos de pseudotallo de plátano a los cuales les fueron extruidas las fibras de manera manual.

La Fig. 1 muestra el proceso de recolección de la paja de arroz y de las fibras de pseudotallo de plátano. Fig. 1a paja de arroz. Fig. 1b fibras de pseudotallo de plátano.



Fig. 1. Recolección de fibras vegetales. (a) Paja de arroz. (b) Fibras de pseudotallo de plátano

4. Tratamientos a fibras vegetales

El uso de FV como elemento de refuerzo requiere de un tratamiento especial que consiste en disminuir el contenido de lignina y hemicelulosa presentes en la pared celular de las FV. A su vez, se hace necesario el retiro de impurezas y ceras existentes en la superficie externa de las FV. La eliminación de este tipo de elementos favorece el mejoramiento de la topografía superficial de las FV incrementando su rugosidad. Característica que permite la correcta adherencia interfacial entre la fibra y la matriz. Son diversos los procesos implementados para mejorar la topografía superficial de las FV, los cuales se pueden dividir en tratamientos físicos y químicos. Los tratamientos físicos hacen referencia a procesos mecánicos que logran disminuir el tamaño de partículas mediante picado, molienda o simplemente un proceso abrasivo. Respecto a los tratamientos químicos, estos facilitan el retiro de los elementos que hacen parte de las FV. Sin embargo, la implementación del tratamiento químico debe ser controlado para evitar un efecto contrario al estimado inicialmente.

La tabla 1 relaciona 10 de los tratamientos químicos más implementados en el mejoramiento de la topografía superficial de las FV. En la tabla se relaciona el tratamiento y su descripción.

Tabla 1. Descripción general de tratamientos químicos en fibras vegetales

Tratamiento	Descripción
Organosilanos	La implementación de Organosilanos mejora el comportamiento mecánico en FV debido al recubrimiento de poros formando redes reticulares en su topografía superficial. Sin embargo, conlleva a un proceso especial del cual el uso de C_2H_6O, la agitación, el rango del pH y la temperatura del tratamiento son factores diferenciales que influyen significativamente en la obtención de los resultados esperados.
Acetilación	El tratamiento de Acetilación puede ser mejorado mediante la incorporación de otros elementos químicos en su solución. A su vez, el aumento de la temperatura de la solución puede agregar valor al proceso. Sin embargo, el ambiente controlado juega un papel de gran importancia con el fin de evitar deterioro de las FV reduciendo considerablemente su rendimiento mecánico.
Alcalino	El tratamiento Alcalino o tratamiento con hidróxido de sodio ($NaOH$) se presenta como el proceso comúnmente implementado en el mejoramiento de FV que pretenden ser utilizadas como refuerzo en Green Composites. Del mismo modo, este tratamiento alcalino es ampliamente utilizado como pretratamiento que acompaña a posteriores tratamientos químicos enfocados al incremento de las propiedades mecánicas de las fibras vegetales. Sin embargo, se debe tener cuidado en el control del % de $NaOH$ en la solución debido a la degradación

	que puede presentar las FV a causa del grado de concentración y tiempo de exposición en la solución.
Benzoilo	El uso del Benzoilo presenta un preacondicionamiento de las FV con $NaOH$ antes de ser utilizado. También se señalan casos particulares en los cuales la solución de Benzolio esta acompaña por $NaOH$. El control en las concentraciones de los elementos químicos en las soluciones incide directamente en los resultados fisicomecanicos de las FV.
Permanganato Potásico	Se puede indicar que para el uso de $KMnO_4$ se necesita el tratamiento previo de las FV con $NaOH$. No obstante, se implementa el uso de la solución en acetona $KMnO_4$ sin previo tratamiento de las FV. El Permanganato Potásico se caracteriza por la baja concentración del $KMnO_4$ en la solución, particularidad que en marca el control del % $KMnO_4$ en el tratamiento con el fin de evitar el deterioro de las FV.
Acido Esteárico	El uso del Acido Esteárico en FV presenta diferentes métodos de aplicación que pueden ser combinados con un pretratamiento alcalino los cuales mejora su topografía superficial incrementando el comportamiento mecánico. Sin embargo, deben considerarse los valores de incremento en las características fisicomecánicas de las FV tratadas en estudios anteriores con el fin de tomar la decisión en implementar el Acido Esteárico en próximas investigaciones.
Revestimiento Polimérico	El Revestimiento Polimérico se presenta como una excelente opción de tratamiento para mejorar las propiedades de las FV a fin de ser implementadas como refuerzo en la conformación de Green Composites. No obstante, el Revestimiento Polimérico resulta ser un método elaborado que además de la necesidad de un tratamiento previo, se requiere el uso una serie de sustancias químicas para lograr el objetivo final. Razón por la cual, estas particularidades del tratamiento requieren disponibilidad de recursos los cuales pueden ser significativos según la cantidad de FV que requiera ser tratadas.
Esterificación	El tratamiento de Esterificación comprende un proceso de especial atención en el que intervienen una serie de elementos químicos como pretratamiento de las FV mejorando sus propiedades para la implementación de otros tratamientos químicos. Característica que enmarca el uso de recursos adicionales para su alistamiento. Sin embargo, la evaluación de los cambios fisicomecánicos en FV tratadas en investigaciones anteriores permite la elección del tratamiento de Esterificación para su implementación en futuras investigaciones.
Fúngico	Debido a su naturaleza biológica, el uso del tratamiento Fúngico se convierte en un proceso de mínimo impacto ambiental. Sin embargo, la implementación de material biológico conlleva a procesos claramente elaborados y especializados de los cuales depende el cultivo de la cepa. Procesos que pueden sumar costos al momento de llevar a cabo el tratamiento. A su vez, el control en tiempo de exposición de las FV ante el tratamiento incide directamente en el resultado mecánico esperado a causa de la progresiva acción enzimática del tratamiento Fúngico sobre la FV.
Blanqueador	El tratamiento Blanqueador se caracteriza por ser un proceso sencillo el cual puede ser implementado en FV previamente tratadas o tan solo lavadas directamente con H_2O. El tratamiento además de mejorar el aspecto visual de la FV genera incrementos considerables en el comportamiento mecánico. Sin embargo, en el caso de FV pretratadas, sus características mecánicas dependen de la concentración, temperatura y duración del pretratamiento.

5. Proceso de mercerización

El proceso alcalino con $NaOH$ también llamado proceso de mercerización es un tratamiento químico comúnmente utilizado en el sector textil para mejorar las propiedades fisicomecánicas de fibras o materiales hechos a base de algodón. El proceso consiste en sumergir el material en solución de $NaOH$ en % y tiempo de exposición que depende de las características del material a tratar. Transcurrido el tiempo de exposición y luego de retirar el material de la solución alcalina se debe lavar hasta retirar la concentración de $NaOH$. El retiro del $NaOH$ se controla mediante la medición del pH del agua de lavado.

En la presente investigación fue implementado el proceso de mercerización para mejorar las propiedades fisicomecánicas de la paja de arroz y las fibras de pseudotallo de plátano. La paja de arroz fue expuesta en 3 soluciones alcalinas $NaOH$ al 1, 2 y 3%. El tiempo de exposición fue de 1, 2 y 3 horas. Las fibras de pseudotallo de plátano también fueron expuestas en 3 soluciones alcalinas $NaOH$ al 4, 5 y 6%. El tiempo de exposición fue de 2 horas para cada una. Cabe resaltar que los procesos realizados a cada una de las fibras usadas en la presente investigación fueron publicados en revistas de alto impacto. Paja de arroz [13]. Fibras de pseudotallo de plátano [14]. La Fig. 2 muestra el proceso de mercerización realizado a la paja de arroz y fibras de pseudotallo de plátano. Fig. 2a preparación de solución alcalina. Fig. 2b fibras en solución alcalina.



Fig. 2. Proceso de mercerización. (a) solución alcalina. (b) fibras en solución alcalina

La Fig. 3 muestra la microscopia electrónica de barrido (MEB) realizada a la paja de arroz. Fig. 3a paja de arroz sin tratamiento químico. Fig. 3b paja de arroz tratada químicamente. En las imágenes se puede constatar la influencia del tratamiento en la topografía superficial de las FV.

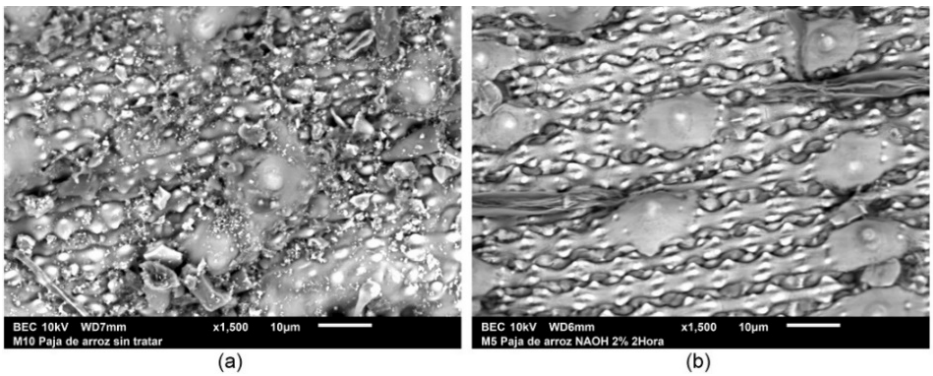


Fig. 3. Observación MEB paja de arroz. (a) fibra sin tratada. (b) fibra tratada

6. Matriz arcillosa

Al igual como se indicó en párrafos anteriores, la matriz usada en la presente investigación fue tomada como referencia de las técnicas constructivas ancestrales. Técnicas antiguas que usaron la tierra arcillosa cruda "sin proceso de cocción" como material principal de construcción. La matriz arcillosa fue estabilizada mediante adición de carboximetilcelulosa (CMC), almidón de yuca (AY) y cal hidratada (CH). Sin embargo, los resultados arrojados por los ensayos fisicomecánicos indicaron que las mezclas experimentales a las cuales les fue adicionada CH presentaron los valores menos convenientes respecto a la absorción de humedad, resistencia mecánica y desprendimiento de partículas. Características que descartaron el uso de esta adición en la

elaboración de las mezclas finales. En contraste, las adiciones de CMC y AY mejoraron considerablemente las propiedades fisicomecánicas de las mezclas experimentales debido al acoplamiento de partículas provocadas por el CMC y la acción aglutinante del AY. Particularidades que generaron zonas densas mejorando la cohesión de las mezclas evitando el desprendimiento de partículas.

La Fig. 4 muestra la MEB realizada a las mezclas con matriz arcillosa experimentales. Fig. 4a mezcla con matriz arcillosa sin estabilizar. Fig. 4b mezcla con matriz arcillosa estabilizada con CMC y AY. En la figura se evidencia el efecto aglutinante entre partículas que provoca la estabilización de la mezcla mediante la adición de CMC y AY. Característica que evita el desprendimiento de partículas incrementando la resistencia mecánica de la mezcla. Al igual que en el proceso de mercerización, el mejoramiento de la matriz arcillosa fue publicado en revista de alto impacto [15].

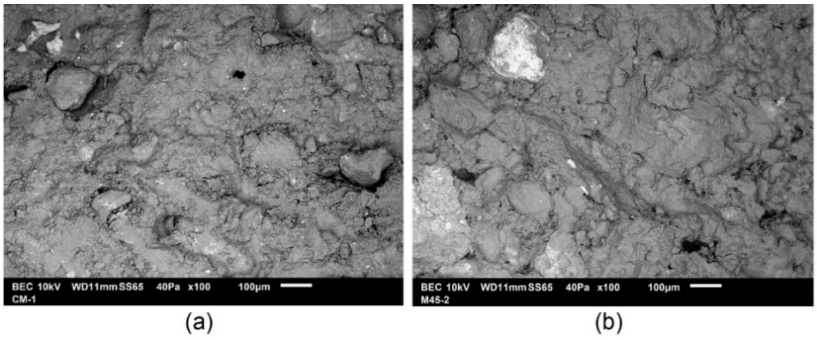


Fig. 4. Imagen MEB Matriz arcillosa. (a) matriz sin estabilizar. (b) matriz estabilizada con CMC y AY

7. Elaboración de probetas

Teniendo identificadas las FV con mejores propiedades fisicomecánicas y el mejor proceso de estabilización de la matriz arcillosa, se procedió a la elaboración de paneles experimentales (EP). El proceso de elaboración de los EP fue resultado de una serie de mezclas y probetas que fueron ensayadas física y mecánicamente hasta conseguir la mezcla ideal.

La Fig. 5 muestra los ensayos fisicomecánicos realizados a las mezclas experimentales. Ensayos que permitieron seleccionar la mezcla optima utilizada para conformar los EP. Fig. 5a flexión. Fig. 5b compresión. Fig. 5c tracción. Fig. 5d entizamiento. Fig. 5e Absorción de humedad por capilaridad.

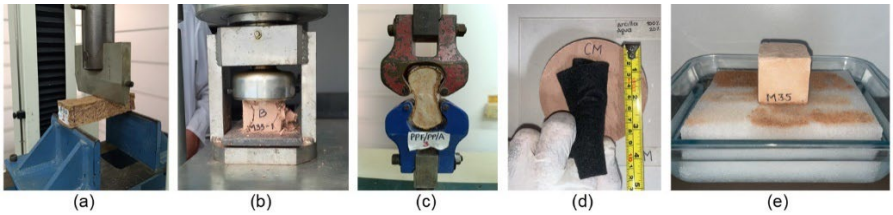


Fig. 5. Ensayos fisicomecánicos a mezclas experimentales. (a) flexión. (b) compresión. (c) tracción. (d) entizamiento. (e) absorción de humedad.

De igual manera, se realizaron ensayos de Fluorescencia de rayos X (FRX), Difracción de rayos X (DRX) y Espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR), para determinar la composición química y mineralógica de las mezclas experimentales.

8. Panel experimental

Luego de identificar la mezcla optima, se procedió a la elaboración de las probetas que conformaron los EP. Los EP fueron elaborados mediante compresión con la ayuda de un molde especialmente diseñado para tal fin. Para los EP se elaboraron probetas de 100mm de ancho, 200mm de largo. Fueron implementados 3 espesores 9,5mm, 12,7mm y 15,9 mm, dimensiones que corresponden a los espesores de los GB tradicionalmente comercializados. Con el fin de generar datos comparativos, se elaboraron probetas de GB con las mismas dimensiones de los EP. Para estas últimas, solo se cortaron los GB con las dimensiones determinadas.

La Fig. 6 muestra el proceso para la elaboración de las probetas de los EP y GB. Fig. 6a mezcla en molde. Fig. 6b proceso de compresión. Fig. 6c recuperación de probeta. Fig. 6d probetas EP elaboradas. Fig. 6e probetas GB cortadas.

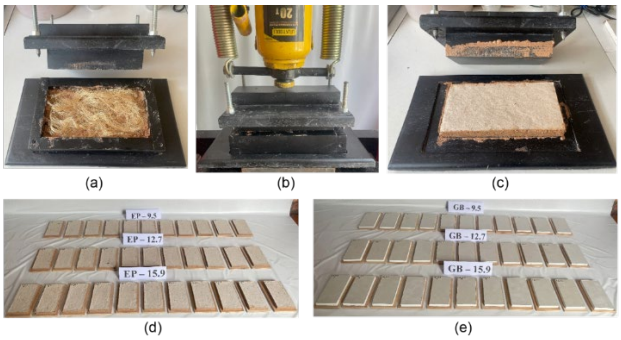


Fig. 6. Probetas EP y GB. (a) mezcla en molde. (b) compresión. (c) recuperación de probetas. (d) probetas EP. (e) probetas GB

La Fig. 7 muestra los ensayos realizados a las probetas EP y GB. Fig. 7a flexión longitudinal. Fig. 7b flexión transversal. Fig. 7c impacto. Fig. 7d conductividad térmica y absorción acústica. Fig. 7e biodegradabilidad y compostabilidad

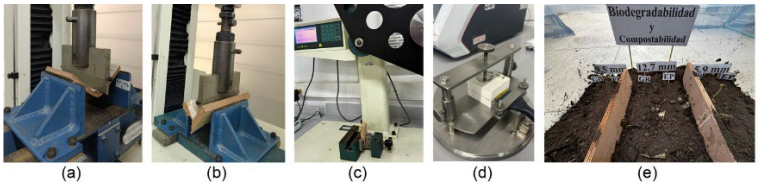


Fig. 7. Ensayos EP y GB. (a) flexión longitudinal. (b) flexión transversal. (c) impacto. (d) conductividad térmica. (e) biodegradabilidad y compostabilidad

9. Resultados y conclusiones

- Las fibras de pseudotallo de plátano ubicadas longitudinalmente mejoraron las propiedades mecánicas de los EP. Razón por la cual los resultados de los ensayos a flexión arrojaron valores positivos.
- Las zonas densas generadas por el efecto aglutinante del CMC y AY incrementa la resistencia al impacto de las EP.
- El refuerzo aportado por las fibras vegetales evita el desprendimiento grandes partículas de los EP al momento de la falla por impacto.
- Las fibras vegetales adicionadas a la matriz arcillosa inducen al comportamiento dúctil postfractura del material debido a la tensión de adherencia y al fenómeno de fricción que presentan las FV al momento de su desprendimiento con la matriz.
- La forma cilíndrica de la paja de arroz favorece el fenómeno de tortuosidad de los EP. Los micro espacios generados por las cavidades de la paja incrementa la distancia recorrida por las ondas sonoras, lo que conlleva a mayor pérdida de energía acústica. Este mismo fenómeno también disminuye la conductividad térmica del material.
- Las características orgánicas y vegetales de los elementos que conformaron los EP permitieron su compostabilidad. Propiedad no toxica que aporta nutrientes al suelo.

10. Referencias

[1] Alhawat, M, Yildirim, G, Ashour A, Ozcelikci E, Aldemir A, Sahmaran, M. (2024). A study on the influencing parameters in developing construction and demolition waste-based geopolymer concretes and their sustainability assessment, Construction and Building Materials, 426, 136143. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2024.136143

[2] Hurtado-Figueroa, O, Rojas, J.P, and Cárdenas-Gutiérrez, J.A. (2019). Subgrade improvement by the replacement of conventional stone aggregate by biosanitary waste treated. IOP Conf. Series: Journal of Physics, 1329, 012010. https://doi.org/10.1088/1742-6596/1329/1/012010

[3] Hurtado-Figueroa, O, Cardenas-Gutierrez, J and Acevedo-Peñaloza, C. (2018). Substitution of Natural Stony Material Aggregates in Conventional 17.5 Mpa Non-Structural Concrete Mixtures by Means of Percentage Addition of Hospital Solid Waste. Contemporary Engineering Sciences, Vol. 11, No. 100, pp. 4995 – 5004. https://doi.org/10.12988/ces.2018.810546

[4] Wattanavichien P and Iwanami M. (2024). Investigation of the mechanical, microstructure, and durability properties of concrete with fine uniform and non-uniform polyethylene terephthalate (PET) aggregates. Cleaner Materials, 13, 100267. https://doi.org/10.1016/j.clema.2024.100267

[5] Hurtado Figueroa, O, Cárdenas Gutiérrez, J.A and Gallardo, O. (2018). Resistance to compression of conventional concrete alleviated through partial substitution of coarse aggregate for expanded polystyrene. IOP Conf. Series: Journal of Physics, 1126, 012040. https://doi.org/10.1088/1742-6596/1126/1/012040

[6] Neves, R, de Brito, J and Bravo, M. (2025). Performance of concrete produced with binders obtained through alkali-activation of different construction and demolition wastes. Construction and Building Materials, 473, 141060. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2025.141060

[7] Alhawat, M, Yildirim, G, Ashour A, Ozcelikci E, Aldemir A, Sahmaran, M. (2024). A study on the influencing parameters in developing construction and demolition waste-based geopolymer concretes and their sustainability assessment, Construction and Building Materials, 426, 136143. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2024.136143

[8] Miao, B.H, Headrick, R.J, Li, Z, Spanu L and Loftus, D.J. (2024). Development of biopolymer composites using lignin: A sustainable technology for fostering a green transition in the construction sector, Cleaner Materials, 14, 100279. https://doi.org/10.1016/j.clema.2024.100279

[9] Yusoff, R.B, Takagi, H and Nakagaito, A.N. (2023). A comparative study of polylactic acid (PLA) Based unidirectional green hybrid composites reinforced with natural fibers such as kenaf, bamboo and coir, Hybrid Advances, 3, 100073. https://doi.org/10.1016/j.hybadv.2023.100073

[10] Hsuan-Cheng L, Cao W, Jones, S, Frederic D.L, Slynkova N, Trevorah, R, Warwick, B, Ziajahromi, S. (2025). Microplastic in Australian processed organics: Abundance, characteristics and potential transport to soil ecosystem, Journal of Environmental Management, 375, 124359. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2025.124359

[11] Hurtado Figueroa, O, Cardenas Gutierrez, J, and Acevedo Peñaloza, C. (2018). The Architecture on Land and its Construction Techniques, Millenary Tradition that is Reborn, Contemporary Engineering Sciences, Vol. 11, No. 68, pp. 3371 – 3383. https://doi.org/10.12988/ces.2018.87353

[12] Hurtado Figueroa, O. (2016). Adobe estructural reforzado con gramíneas de tallos con tejido leñoso, Arquitectura en tierra. Historia y Renovación. XIII CIATTI. Congreso de arquitectura en tierra en Cuenca y Villagarcía de Campos. Cátedra Juan de Villanueva. Universidad de Valladolid., pp. 237-248.

[13] Hurtado-Figueroa, O, Cobo Escamilla, A and Varum, H. (2023). The Mercerization Process and Its Impact on Rice Straw Surface Topography, Buildings – MDPI. 13, 1573. https://doi.org/10.3390/buildings13071573

[14] Hurtado-Figueroa, O, Varum, H, Prieto, M.I, Gallardo Amaya, R.J and Cobo Escamilla, A. (2025). The alkaline treatment and its influence on the physicomechanical properties of plantain pseudostem fibers - A comparative study of treated and untreated fibers, Heliyon, 11, e41843. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2025.e41843

[15] Hurtado-Figueroa, O, Cobo Escamilla, A, Varum, H, Gallardo Amaya, R.J. (2024). Effect of cassava starch, hydrated lime, and carboxymethylcellulose on the physicomechanical behavior of mixtures with clay matrix, Case Studies in Construction Materials. 20, e03022. https://doi.org/10.1016/j.cscm.2024.e03022

Sobre los autores

- **Oswaldo Hurtado Figueroa**: Ingeniero Civil, Magister en Construcción. Doctorando último año Doctorado en Innovación Tecnológica en Edificación Universidad Politécnica de Madrid-España. Instructor de Construcción, Obras civiles y Construcción en Guadua – SENA – Centro C.I.E.S - Regional Norte de Santander. ohurtadof@ufpso.edu.co
- **Alfonso Cobo Escamilla**: Arquitecto, Magister en Innovación Tecnológica en la Edificación, Doctor en Arquitectura - Universidad Politécnica de Madrid - España. Profesor titular Universidad Politécnica de Madrid - España. alfonso.cobo@upm.es
- **Romel J. Gallardo Amaya**: Ingeniero Civil, Magister en Geotecnia. Profesor asociado Universidad Francisco de Paula Santander Sede Ocaña. rjgallardoa@ufpso.edu.co

Los puntos de vista expresados en este artículo no reflejan necesariamente la opinión de la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería.

Copyright © 2025 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI)