



## EXPLORACIÓN DE LA ADICIÓN DE COMPONENTES NATURALES EN LA COMPOSICIÓN CONVENCIONAL DE BLOQUES DE ADOBE

### EXPLORATION OF THE ADDITION OF NATURAL COMPONENTS IN THE CONVENTIONAL COMPOSITION OF ADOBE BLOCKS

Andrea Goyes-Balladares<sup>1</sup>, Roberto Moya-Jiménez<sup>1</sup>, Luis Enrique Chávez-Rubio<sup>1</sup>, Richard Sarzosa-Soto<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Diseño y Arquitectura. Ambato-Ecuador. E-mail: ac.goyes@uta.edu.ec

DOI: <https://doi.org/10.31243/id.v19.2024.2399>

#### RESUMEN

El adobe, como portador tangible del saber ancestral, ha sido objeto de investigaciones destinadas a perfeccionar su aplicación. En este sentido, resulta fundamental determinar el nivel de conocimiento alcanzado en su experimentación. Desde la perspectiva de la sostenibilidad y la innovación incremental, que se enfoca en añadir valor a productos preexistentes, surge este estudio de revisión bibliográfica que identifica los tipos de materiales adicionados a una matriz de adobe tradicional, centrándose en materiales naturales. El objetivo principal de este estudio es establecer los antecedentes investigativos relacionados con la incorporación de materiales no tradicionales en la composición convencional del adobe, con el fin de respaldar futuras investigaciones en este campo. Los componentes añadidos identificados se han clasificado según su origen, resultando en 8 categorías principales y un total de 31 componentes. Estos incluyen extractos vegetales, materiales de origen mineral, productos de origen animal, fibras vegetales, derivados de la madera, conglomerantes, aceites vegetales y residuos agrícolas. Se destaca que las características más estudiadas en las experimentaciones son la resistencia a la compresión, tracción, permeabilidad, plasticidad y la reducción de fisuras. Asimismo, se especifica el grado de éxito de los componentes en la mejora de estos parámetros.

**PALABRAS CLAVE:** adobe, fibras, bloques de tierra, sostenible.

#### ABSTRACT

Adobe, as a tangible carrier of ancestral knowledge, has been the subject of research aimed at perfecting its application. In this sense, it is essential to determine the level of knowledge reached in its experimentation. From the perspective of sustainability and incremental innovation, which focuses on adding value to existing products, this literature review study identifies the types of materials added to a traditional adobe matrix, focusing on natural materials. The main objective of this study is to establish the research background related to the incorporation of non-traditional materials into the conventional composition of adobe, in order to support future research in this field. The identified added components have been classified according to their origin, resulting in 8 main categories and a total of 31 components. These include plant extracts, materials of mineral origin, animal-derived products, plant fibers, wood derivatives, binders, vegetable oils, and agricultural residues. It is noteworthy that the characteristics most studied in the experiments are compressive strength, tensile strength, permeability, plasticity, and crack reduction. Likewise, the degree of success of the components in improving these parameters is specified.

**KEYWORDS:** adobe, fibers, earth blocks, sustainable.

El adobe, también conocido como bloque de tierra comprimida o compactada, es ampliamente utilizado a nivel global en la construcción de viviendas debido a su bajo costo y facilidad de preparación (Giraldelli et al., 2021; Mostafa & Uddin, 2016). Es una masa de barro frecuentemente mezclada con paja, moldeada con forma prismática, de tamaño variable y secado al aire para la formación de muros (Doria & Orozco, 2023). La disponibilidad de este material se atribuye a su accesibilidad y debido al surgimiento de nuevos productos industrializados el uso del adobe ha disminuido (MINKE, 2001), esto ha contribuido al aumento de investigación en torno sus procesos de mejora, por ejemplo se han explorado diversos compuestos estabilizantes y aglutinantes para mejorar sus propiedades físicas y mecánicas (Veiga, 2017). El adobe está considerado como un material económico (Mostafa & Uddin, 2016)(Mostafa & Uddin, 2016), y presenta desventajas como baja resistencia a la compresión y flexión, así como fisuras y falta de solidez (López et al., 2019).

Para abordar estas limitaciones, existen investigaciones que incluyen métodos de estabilización para mejorar las propiedades mediante la incorporación de fibras vegetales. Desde la antigüedad, el hombre siempre ha recurrido a los recursos que tiene a su disposición inmediata y cercana a la zona donde habita, como es el caso del uso de materiales de origen natural (Pinta Soto, 2022). Se ha verificado que el añadido de porciones adecuadas de fibras naturales al adobe una mejora significativa en la contracción del material, además de presentar una baja densidad y tener un impacto positivo con el medio ambiente. Algunas de las fibras naturales que han generado estas ventajas son las de coco, sisal, paja, palma y cabuya (López et al., 2019). Es esencial considerar la influencia de la cantidad óptima de fibras naturales en la fabricación de ladrillos de adobe. Según el estudio realizado por Calatan et al. (2016), esta mezcla óptima consiste en un porcentaje del 9% al 10% de arcilla por volumen y un porcentaje del 30% al 40% de paja por volumen. Esto conduce a mejoras en las propiedades físico-mecánicas del material vernáculo.

El uso de componentes innovadores puede ser de origen natural o sintéticos y aplicándolos en porcentajes adecuados, durante o después del proceso de fabricación del adobe, ayudan a mejorar la manipulación del material. Adicionalmente aportan una resistencia a la compresión y un comportamiento adecuado frente a condiciones climáticas extremas (Miranda Vidales et al., 2022). Los materiales de origen natural contribuyen a la sostenibilidad debido a su biodegradabilidad y su capacidad para no generar toxinas y suelen ser recursos renovables locales, lo que facilita su disponibilidad y accesibilidad (Jani et al., 2009).

En la investigación realizada por Pérez et al. (2021) adiciona pectina de nopal, que mejora las propiedades físicas, como la plasticidad de la masa, brindando como resultado reducción del agrietamiento, absorción por capilaridad durante el secado y mejora las propiedades mecánicas. Rodríguez-Navarro et al. (2017) incorporan el mucílago de nopal, mejorando la plasticidad y el buen comportamiento a la erosión de los morteros. La goma de nopal, como el mucílago, han presentado mezclas más plásticas sin la adición de agua, esto actúa como un agente consolidante y/o fijativo en las construcciones de adobe (Pérez et al., 2015; Torres Soria et al., 2015).

La investigación realizada por Mostafa & Uddin (2016), resulta en un aumento de la resistencia a la tracción y la compresión en el adobe. Esta investigación parte de la creación de una matriz isotrópica entre la mezcla estructural del suelo y la red omnidireccional de las fibras de plátano.

También se usan diferentes longitudes y porcentajes de concentración de fibras naturales, por ejemplo, el bagazo de agave *Angustifolia* se usa para reforzar los ladrillos de adobe. Estos ladrillos al estar reforzados con el 1,0% de fibra y una longitud de 25 mm, aumentan significativamente la resistencia a la compresión (Caballero-Caballero et al., 2018). No obstante, se ha visto un aumento de solo el 7,01% en la resistencia a la flexión.

Una investigación desarrollada por Araya et al. (2018), refuerza la mezcla de adobe con fibras naturales de origen animal,

en este caso con pelo de cerdo (residuo masivo de la industria alimentaria). Al igual que la anterior investigación presentada, se experimenta con varios porcentajes de fibra, para obtener resultados que indican que el uso del 0,5% de esta fibra y una longitud de 7 mm aumenta la tenacidad de la flexión y la resistencia al impacto, lo que mejora en el control de las grietas del adobe. Dentro de esta misma línea Ortiz (2019), añade porcentajes de estiércol de caballo a la mezcla para la fabricación del adobe.

La falta de estandarización en la medición de propiedades mecánicas se vuelve evidente en materiales altamente dúctiles, como aquellos fabricados a base de tierra. Es recomendable aplicar protocolos en el proceso de fabricación del adobe para obtener resultados significativos en el material. En el estudio desarrollado por Laborel et al. (2017) se aplicaron dos protocolos para obtener la resistencia a la compresión: uno en contacto directo entre material y prensa; y el otro con fricción reducida.

Las investigaciones no solo se limitan a componente de origen natural, pues la característica de innovación en este campo es amplia, pudiendo aplicarse componentes sintéticos e híbridos. No obstante, este artículo tiene como objetivo presentar los precedentes investigativos, de los últimos diez años de materiales de origen natural, que se hayan incorporado a una matriz de adobe tradicional, a fin de conocer cuáles son los componentes añadidos y que características de mejora le brindan al bloque de tierra. Este estudio exploratorio es la base fundamental que respalda una futura investigación sobre el añadido de componentes naturales en el adobe.

## MÉTODO

Se llevó a cabo una investigación del tipo exploratorio, fundamentada en una revisión bibliográfica de documentos académicos recuperados de artículos indexados en las bases de datos SCIELO, SCOPUS, Latindex Catalogo 2.0 y estudios experimentales en los repositorios institucionales de las carreras de arquitectura e ingeniería civil. El período de estudio abarcó desde 2015 hasta 2023.

Las palabras claves de búsqueda fueron: "adobe", "fibers", "earth blocks", "sustainable" y "earth bricks". Los criterios de selección incluyeron: la utilización de una matriz de adobe a la que se añade materiales de origen natural y la factibilidad de replicar el estudio en el contexto latinoamericano. Se evaluó la calidad de los estudios seleccionados, priorizando aquellos que realizaron ensayos de laboratorio y experimentaron con al menos tres dosificaciones diferentes. Para garantizar la fiabilidad y validez de los resultados, se seleccionó los estudios que hayan aplicado un procedimiento estandarizado de ensayos para obtención de resultados.

A partir de la revisión, se identificaron 38 referencias que definieron 31 componentes naturales, clasificados por similitudes de origen. Con el objetivo de determinar las tendencias en el enfoque de experimentación, se analizaron las cinco características más estudiadas en los trabajos seleccionados.

## DESARROLLO Y DISCUSIÓN

Se identificaron 31 componentes añadidos a la matriz convencional de bloques de adobe, los cuales se clasificaron en las siguientes categorías: extractos vegetales, materiales de origen mineral, materiales de origen animal, fibras vegetales, derivados de la madera, conglomerantes, aceites vegetales y residuos agrícolas. De igual manera, se identificó las 5 características más analizadas: resistencia a la compresión, resistencia a la flexión, plasticidad, permeabilidad y fisuras. Para un mejor entendimiento se presenta la Tabla 1 en donde se encuentran la clasificación, caracterización positiva de los componentes añadidos y los referentes bibliográficos que respaldan la información.

En los extractos de hojas analizados, se resaltaron tres componentes principales: la goma de nopal, la pectina del nopal y el extracto de cabuya. Se observa que la goma de nopal incrementa la resistencia a la compresión, ya sea en estado líquido o en polvo. Tanto la goma de nopal como la pectina del nopal mejoran la plasticidad de la masa, mientras que la goma de nopal y el extracto de cabuya reduce la permeabilidad. Dentro de los materiales de origen mineral, se incluyen el polvo de piedra y el polvo de cuarzo. El polvo de piedra muestra mejoras significativas en la resistencia a la compresión y la permeabilidad del bloque. Sin embargo, no se dispone de información sobre las características analizadas en este documento para el polvo de cuarzo. Los materiales de origen animal, como el estiércol bovino y la sangre de toro, presentaron mejoras en el comportamiento mecánico a compresión. Además, el estiércol redujo la permeabilidad. En este grupo también se encuentra el pelo de cerdo que destacó por disminuir las fisuras en el bloque de adobe.

Entre las fibras vegetales se encontró la fibra de coco, cabuya, agave, paja, paja de cebada, fibras de cáñamo, palma, acículas de pino, fibras de cáscara de banana, fibras de cáscara de piña, fibras de caña de azúcar, fibras de bambú, yute y totora. Trece de las catorce fibras evaluadas mostraron mejoras en cuanto a la resistencia a la compresión, con la excepción de la fibra de coco. Se identificó un aumento en la resistencia a flexión, excepto la fibra de caña de azúcar, las acículas de pino y de yute. La fibra de coco aumentó la plasticidad, las fibras de hoja de piña disminuyen la permeabilidad, mientras que las fibras de palma y paja disminuyen las fisuras del bloque.

La paja fue estudiada en seis de los treinta y ocho referentes utilizados, es la fibra más utilizada para estudio del mejoramiento de los bloques de adobe. La paja provenir del trigo, cebada o avena, siendo el residuo del tallo del cereal que se desecha durante la cosecha. El trigo, una planta anual, es el tercer cultivo más producido a nivel mundial, después del arroz y el maíz, y su paja tiene una estructura cilíndrica hueca. La cebada y la avena, ambas de crecimiento anual o bianual, se cosechan una o dos veces al año, siendo la cebada más adaptable a climas extremos, como los trópicos o las regiones montañosas, mientras que la avena prefiere climas templados fríos (Laborel-Préneron et al., 2016).

Dentro de los derivados de la madera, un componente leñoso según Lawrence et al. (2009), se identificaron las astillas de madera de carpintería, el aserrín y las virutas de eucalipto. Se observó que estas últimas mostraron mejoras en la resistencia a la compresión. En cuanto a los materiales conglomerantes, se incluyen el yeso, que demostró mejoras en la resistencia a la compresión, y la cal, para la cual no se dispone de información sobre las características analizadas. La presencia de aceites vegetales, como era de esperar, aumentó la permeabilidad del bloque. Por último, los residuos agrícolas de cáscara de arroz y mazorca de maíz no presentaron características analizadas.

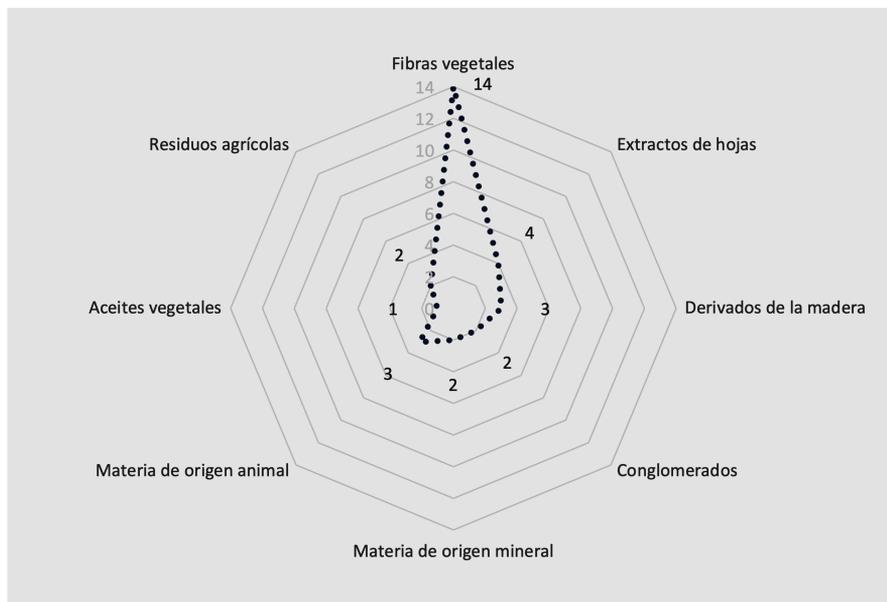
**Tabla 1.**  
Tipo y características de materiales añadido a la matriz de adobe

Tipo	Componente añadido	Características					Referencias
		Aumenta la resistencia a compresión	Aumenta la resistencia a flexión	Mayor Plasticidad	Menor Permeabilidad	Menos fisuras	
Extractos de hojas	Goma de nopal	x		x	x		(Miranda Vidales et al., 2022) (Rodríguez-Navarro et al., 2017) (Llumisig Chicaiza & Siza Salazar, 2017)
	Pectina de nopal			x			(A. Pérez et al., 2021)
	Goma de Nopal en polvo	x		x		x	(Torres Soria et al., 2015) (N. Pérez et al., 2015)
	Extracto de cabuya				x		(Benites et al., 2018)
Materia de origen mineral	Polvo de piedra	x			x		(Miranda Vidales et al., 2022)
	Polvo de cuarzo						(Singh et al., 2019) (Miguel et al., 2022) (Llumisig Chicaiza & Siza Salazar, 2017) (Vega, 2020) (Ortiz, 2019)
Materia de origen animal	Estiércol bovino	x			x		(Llumisig Chicaiza & Siza Salazar, 2017)
	Sangre de toro	x					(Llumisig Chicaiza & Siza Salazar, 2017)
	Pelo de cerdo					x	(Araya-Letelier et al., 2018)
Fibras vegetales	Fibra de coco		x	x			(Giraldelli et al., 2021) (Miguel et al., 2022) (Ticona, 2020)
	Fibra de caña de azúcar	x					(Herrera & Nuñez, 2021)
	Fibras de bambú	x	x				(Del Rio Marino, 2022)
	Fibra de cabuya	x	x				(Benites et al., 2018) (López et al., 2019) (Montenegro Echeverría, 2019)
	Fibras de banana	x	x				(Mostafa & Uddin, 2016)
	Fibras de agave	x	x				(Caballero-Caballero et al., 2018)
	Paja de cebada	x	x				(Laborel-Préneron et al., 2017) (Parisi et al., 2015)
	Fibras de cáñamo	x	x				(Calatan et al., 2016) (Laborel-Préneron et al., 2017)
	Fibras de hoja de piña	x			x		(Fernández & Flores, 2021)
	Totora	x	x				(Laime Ancalle, 2020)
	Fibras de palma	x	x			x	(Oskouei et al., 2017)
	Acículas de pino	x					(Jové-Sandoval et al., 2018)
	Yute	x					(Sanchez Guevara, 2023)
	Paja	x	x			x	(Oskouei et al., 2017) (Calatan et al., 2016) (Llumisig Chicaiza & Siza Salazar, 2017) (Montenegro Echeverría, 2019) (Patnaik et al., 2019) (Parisi et al., 2015)
Derivados de la madera	Astillas de madera de carpintería						(Oskouei et al., 2017)
	Aserrín						(Miguel et al., 2022)
	Viruta de Eucalipto	x					(Márquez Domínguez, 2018)
Conglomerantes	Yeso	x					(Alvarado & Marcelo, 2023)
	Cal						(Doria & Orozco, 2023) (Alvarado & Marcelo, 2023)
Aceites vegetales	Aceite de vegetal				x		(Silva et al., 2019)
Residuos agrícolas	Cáscara de arroz						(Oskouei et al., 2017)
	Mazorca de maíz						(Laborel-Préneron et al., 2017)

Nota: Las celdas vacías no representan la ausencia de cumplimiento de las características. Pues, los estudios seleccionados tenían diversos enfoques de experimentación.

**Figura 1**

Tipos de componentes agregados al adobe



La figura 1 muestra la cantidad de componentes analizados en cada clasificación establecida. De los 31 componentes identificados, 14 corresponden a fibras vegetales. La longitud de estas fibras y sus dimensiones juegan un papel crucial en la cohesión de la masa del adobe. Según Miranda Vidales et al. (2022), uno de los problemas más significativos en las construcciones de adobe es la falta de solidez de los materiales, lo que hace preferible el uso de partículas vegetales en forma de fibra. La longitud de estas fibras resulta fundamental para evitar la propagación de grietas, como mencionado por Laborel-Préneron et al. (2016).

La combinación de la matriz fibra-tierra incrementa la resistencia a la compresión. Por lo tanto, al preparar la mezcla, es crucial esparcir las fibras hasta las esquinas de la unidad de adobe para evitar la formación de grumos y la generación de vacíos que puedan aumentar la porosidad (López et al., 2019). Además, los agregados y fibras naturales tienen la capacidad de absorber cantidades significativas de agua, a menudo superando el 100%, como indican Laborel-Préneron et al. (2016).

Sin embargo, la durabilidad de las fibras vegetales puede variar considerablemente según diferentes autores. Por ejemplo, Sivakumar Babu & Vasudevan (2008) locally available, biodegradable, and ecofriendly. Among the available natural fibers, coir is produced in large quantities in South Asian countries, such as India, Ceylon, Indonesia, Philippines, etc. and has better mechanical properties, such as tensile strength. In this paper, results on the strength and stiffness behavior of soil reinforced with coir fibers are presented. Soil samples reinforced with coir fibers of different sizes, and made into cylindrical soil specimens were tested in triaxial shear apparatus to determine the strength and stiffness of soil response due to fiber inclusion and the results were compared with that of unreinforced soils. The results show that addition of coir (1-2% menciona que las fibras de coco sin tratamiento duraban entre 2 y 3 años, por lo que las investigaciones posteriores se enfocan a mejorar la durabilidad mediante diversos procesos pues, son sensibles al ataque biológico (Tara Sen, 2011).

A esta tendencia de utilizar componentes de origen vegetal se puede añadir el uso de aceites y extractos de hojas, los cuales poseen características de pegas, gomas y aglutinantes, con el mismo propósito de mejorar la cohesión de la masa y su impermeabilidad. También se encuentran los derivados de la madera, que en ciertos casos pueden ser denominados fibras.

Es evidente que los materiales de origen vegetal son los más recurrentemente empleados en investigaciones experimentales sobre adobe.

Los conglomerantes y materiales de origen mineral representan 4 de los 31 componentes identificados. Los polvos de piedra y cuarzo evidentemente contribuyen a la estabilidad del bloque debido a su potencial de mejorar la compactación y solidez de la masa. En cuanto a los conglomerantes, es importante destacar la diferencia entre la cal hidratada, que no experimenta transformaciones químicas que afecten su reacción, y la cal viva. Sería pertinente realizar experimentos con cal viva, ya que su inestabilidad al contacto con el agua limitaría la absorción de esta por parte de la arcilla, y su carbonatación podría generar un elemento más resistente (Doria & Orozco, 2023).

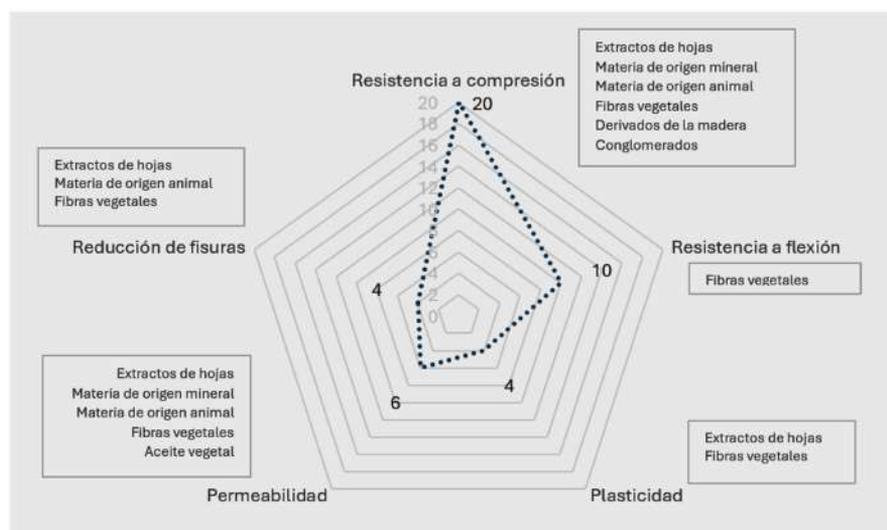
La materia de origen animal también ha sido objeto de investigación, representando tres de los 31 componentes identificados en este estudio. Entre ellos se encuentran fluidos como la sangre de toro, el estiércol bovino y el pelo de cerdo, este último también puede considerarse una fibra. Estos compuestos de origen animal, especialmente aquellos en forma de fibra, han sido ampliamente estudiados. Por ejemplo, Galán-Marín et al. (2010) investigaron la incorporación de fibras de lana en materiales de tierra, encontrando incrementos significativos en la resistencia a la flexión y la tenacidad en comparación con los materiales de tierra simples.

Los residuos agrícolas, que representan 2 de los 31 componentes analizados, ofrecen un potencial para reducir el desperdicio generado por la industria ganadera y alimentaria, similar a los materiales de origen animal. Sin embargo, en los estudios seleccionados, tanto la cáscara de arroz como la mazorca de maíz no mostraron mejoras significativas en las experimentaciones realizadas. Por ejemplo, la mazorca de maíz, cuando se utiliza triturada, dificulta la distribución uniforme de los componentes de la mezcla (Laborel-Préneron et al., 2017) Por otro lado, las partículas de cáscara de arroz reducen la adhesión de la y la fricción entre los mismos al crear una separación entre las partículas del suelo (Oskouei et al., 2017).

Es crucial destacar las principales ventajas asociadas con el uso de materiales naturales pues, contribuyen a la sostenibilidad ambiental, no tóxicos y provienen de recursos renovables. Además, su bajo costo y la disponibilidad local los convierten en una opción atractiva. Al emplearlos, se reduce la generación de residuos en diversos sectores económicos, promoviendo así prácticas más responsables con la construcción sostenible (Jani et al., 2009).

## Figura 2

Características analizadas en estudios experimentales y resultados favorables



La figura 2 muestra la clasificación de componentes y su incidencia en la mejora en cuanto a la resistencia a compresión, resistencia a flexión, aumento de la plasticidad de la mezcla, menor permeabilidad del bloque de adobe y reducción de fisuras.

De los 31 componentes identificados en la matriz de adobe convencional, se sometieron a experimentación 20 de ellos con el propósito de mejorar las propiedades mecánicas del material. Se observó una mejora significativa en la resistencia a la compresión, abarcando clasificaciones que incluyen: extractos de hojas, materia de origen mineral, materia de origen animal, fibras vegetales, derivados de la madera y conglomerados.

Los estudios que evaluaron la resistencia a la flexión experimentaron mejoras al incorporar 10 componentes, todos ellos fibras vegetales. Por otro lado, la plasticidad del material se vio beneficiada con la inclusión de 4 componentes, los cuales se encontraban en extractos de hojas y fibras vegetales.

En relación con la reducción de la permeabilidad, se registró la incorporación de 6 componentes, que abarcan extractos de hojas, materia de origen mineral, materia de origen animal, fibras y aceite vegetales. De igual manera, 4 componentes, clasificados en los extractos de hojas, materia de origen animal y fibras vegetales contribuyen en la reducción de fisuras del bloque de adobe.

En contraste, los productos derivados de residuos agrícolas no demostraron mejoras en ninguna de las características evaluadas, lo que sugiere la necesidad de continuar con investigaciones fundamentadas en la dosificación y formas de incorporación. Estas pueden variar desde su aplicación integral como residuo hasta su estado triturado o en polvo.

Es menester mencionar que las dosificaciones empleadas en los estudios varían de acuerdo con el enfoque particular de cada investigación. Sin embargo, es posible generalizar la aplicación de componentes en función del porcentaje en relación con el volumen y el peso del bloque de adobe. Independientemente del método seleccionado.

El proceso experimental implica ajustar la cantidad de materiales conforme se obtienen los resultados de los ensayos. Es así como, en algunos de estudios seleccionados, se ha demostrado una relación directa entre el aumento del contenido del componente y la mejora de la característica evaluada. No obstante, han llegado al punto de saturación, en el cual un incremento adicional del componente ya no produce un aumento significativo en la característica específica bajo análisis.

## CONCLUSIONES

Los componentes añadidos que tienen mayor experimentación en la innovación del adobe con materiales naturales son de origen vegetal, principalmente las fibras. Se identifica una tendencia hacia la aplicación de desechos y subproductos de diversos sectores económicos, respaldada por una perspectiva investigativa hacia la sostenibilidad. Sin bien algunas adiciones analizadas tuvieron éxito en el mejoramiento, ya sea de propiedades mecánicas o característica física del bloque de tierra, es importante tener la atención necesaria en el proceso de degradación del material biológico.

Si bien todos los experimentos se pueden replicar en el contexto latinoamericano, la homogeneidad y estabilidad de los materiales naturales puede variar con las condiciones climáticas y las fuentes de extracción, a nivel de composición y estructura.

## BIBLIOGRAFÍA

Alvarado, J., & Marcelo, G. (2023). *Resistencia a la compresión y flexión de adobes compactados con adición de cemento, yeso y cal en proporciones de 2.5%, 5% y 7.5%, Cajamarca 2023.*[Trabajo de fin de grado, Universidad del Norte].

- Araya-Letelier, G., Concha-Riedel, J., Antico, F. C., Valdés, C., & Cáceres, G. (2018). Influence of natural fiber dosage and length on adobe mixes damage-mechanical behavior. *Construction and Building Materials*, 174, 645–655. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.04.151>
- Benites, V., Sánchez, J., & Ruiz, G. (2018). Effect of admixture Cabuya polymer on the water resistance of earth blocks for building construction. *Proceedings of the LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education and Technology, 2018-July*(July 2018), 19–21.
- Caballero-Caballero, M., Chinas-Castillo, F., Montes Bernabé, J. L., Alavéz-Ramírez, R., & Silva Rivera, M. E. (2018). Effect on compressive and flexural strength of agave fiber reinforced adobes. *Journal of Natural Fibers*, 15(4), 575–585. <https://doi.org/10.1080/15440478.2017.1349709>
- Calatan, G., Hegyi, A., Dico, C., & Mircea, C. (2016). Determining the Optimum Addition of Vegetable Materials in Adobe Bricks. *Procedia Technology*, 22(October 2015), 259–265. <https://doi.org/10.1016/j.protcy.2016.01.077>
- Del Rio Marino, D. (2022). *Incorporación de fibra de bambú para el mejoramiento de las propiedades mecánicas del adobe, Pelatana, Huancavelica, 2022. [Trabajo de fin de grado, Universidad César Vallejo]*. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/86754>
- Doria, A., & Orozco, J. (2023). Evaluación De Propiedades Físico-Químicas Y Mecánicas Del Adobe Elaborado Con Cal Para Su Uso En La Construcción Sostenible. *Revista Colombiana De Tecnologías De Avanzada (Rcta)*, 1(35), 89–94. <https://doi.org/10.24054/rcta.v1i35.47>
- Fernández, H. M. R., & Flores, F. L. D. (2021). *Comportamiento físico mecánico en muros de albañilería de adobe con fibras de hoja de piña - pseudotallo de plátano, Cajamarca – 2021. [Trabajo de fin de grado, Universidad César Vallejo]* [Universidad César Vallejo]. [http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/47102/Gutierrez\\_RS-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/47102/Gutierrez_RS-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Galán-Marín, C., Rivera-Gómez, C., & Petric, J. (2010). Clay-based composite stabilized with natural polymer and fibre. *Construction and Building Materials*, 24(8), 1462–1468. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2010.01.008>
- Giraldelli, M. A., Alves Pereira, O., Dos Santos, S. F., Brasil, M. A., & Teodoro Pinheiro, S. K. (2021). Técnica de alvenaria adobe: Reprodução do método construtivo com e sem o uso de fibra vegetal. *Uniciências*, 25(1), 10–13. <https://doi.org/10.17921/1415-5141.2021v25n1p10-13>
- Herrera, D., & Nuñez, C. (2021). *Influencia de la fibra de caña de azúcar, en el incremento de la resistencia a la compresión del adobe, San Ignacio 2021. [Trabajo de fin de grado]* [Universidad César Vallejo]. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/70225>
- Jani, G. K., Shah, D. P., Prajapatia, V. D., & Jain, V. C. (2009). Gums and mucilages: Versatile excipients for pharmaceutical formulations. *Asian Journal of Pharmaceutical Sciences*, 4(5), 309–323.
- Jové-Sandoval, F., Barbero-Barrera, M. M., & Flores Medina, N. (2018). Assessment of the mechanical performance of three varieties of pine needles as natural reinforcement of adobe. *Construction and Building Materials*, 187, 205–213. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.07.187>

- Laborel-Préneron, A., Aubert, J.-E., Magniont, C., Maillard, P., & Poirier, C. (2017). Effect of Plant Aggregates on Mechanical Properties of Earth Bricks. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 29(12), 1–12. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)mt.1943-5533.0002096](https://doi.org/10.1061/(asce)mt.1943-5533.0002096)
- Laborel-Préneron, A., Aubert, J. E., Magniont, C., Tribout, C., & Bertron, A. (2016). Plant aggregates and fibers in earth construction materials: A review. *Proceedings of The Ice - Construction Materials*, 111, 719–734. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.02.119>
- Laime Ancalle, G. (2020). *Diseño de elaboración del adobe incorporando la fibra de Totora para reforzar las propiedades físico y mecánico – Huancavelica 2020. [Trabajo de fin de grado, Universidad César Vallejo]* [Universidad César Vallejo]. [https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/50095/Laime\\_AG-SD.pdf?sequence=1](https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/50095/Laime_AG-SD.pdf?sequence=1)
- Llunitasig Chicaiza, S. M., & Siza Salazar, A. L. (2017). *Estudio De La Resistencia a Compresión Del Adobe Artesanal Estabilizado Con Paja, Estiércol, Savia De Penca De Tuna, Sangre De Toro Y Análisis De Su Comportamiento Sísmico Usando Un Modelo a Escala. [Trabajo de fin de grado]* [Universidad Técnica de Ambato]. <http://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/26585>
- López, X., Torbisco, D., Rodríguez, J., & Eyzaguirre, C. (2019). Benefits of cabuya fiber in the mechanical properties of compacted adobe. *Proceedings of International Engineering, Sciences and Technology Conference, IESTEC 2019*, 455–460. <https://doi.org/10.1109/IESTEC46403.2019.00088>
- Márquez Dominguez, J. (2018). *Estabilización del adobe con adición de viruta de Eucalipto, Chinchá 2018. [Trabajo de fin de grado, Universidad César Vallejo]* [Universidad César Vallejo]. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/27153>
- Miguel, F., Oliveira, M. De, & Antunes, K. F. (2022). Avaliação do desempenho físico entre blocos de adobe com adição de pó de pedra comparados com adições de esterco e serragem. *Revista Sítio Novo*, 6(2), 32. <https://doi.org/10.47236/2594-7036.2022.v6.i2.32-41p>
- MINKE, G. (2001). *Manual para la construcción con tierra*. Editorial Fin de Siglo.
- Miranda Vidales, J. M., Narváez Hernández, L., & Moreno Fraga, J. I. (2022). Valoración inicial de las propiedades de la goma de nopal como posible aditivo en la conservación de edificaciones de adobe. *Intervención*, 1(25), 159–199. <https://doi.org/10.30763/intervencion.264.v1n25.43.2022>
- Montenegro Echeverría, M. (2019). Caracterización del adobe reforzado con fibras naturales y artificiales para la recuperación de construcciones tradicionales en la Comuna de Zuleta. [Trabajo de fin de grado. [Universidad Técnica de Ambato]. In *Universidad Central Del Ecuador Facultad De Arquitectura Y Urbanismo*. <https://bit.ly/3CBP4Pg>
- Mostafa, M., & Uddin, N. (2016). Experimental analysis of Compressed Earth Block (CEB) with banana fibers resisting flexural and compression forces. *Case Studies in Construction Materials*, 5, 53–63. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2016.07.001>
- Ortiz, Y. (2019). *Efectos de la incorporación de cuatro porcentajes (2.5%, 5%, 7.5% y 10%) de estiércol de caballo en*

- la resistencia a la compresión y flexión del adobe*. [Trabajo de fin de grado]. Universidad del Norte.
- Oskouei, A. V., Afzali, M., & Madadipour, M. (2017). Experimental investigation on mud bricks reinforced with natural additives under compressive and tensile tests. *Construction and Building Materials*, 142, 137–147. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.03.065>
- Parisi, F., Asprone, D., Fenu, L., & Prota, A. (2015). Experimental characterization of Italian composite adobe bricks reinforced with straw fibers. *Composite Structures*, 122, 300–307. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2014.11.060>
- Patnaik, B., Kassahun, G., & Mohammed, Y. (2019). Improving the Strength of Adobe Units Using Eragrostis Teff Straw Fiber for Sustainable Construction, Wolaita Sodo, Ethiopia. *International Journal of Advance Research And Innovative Ideas In Education*, 5(5), 416–428.
- Pérez, A., González, J. L., Guerrero, L. F., Sánchez, M. Á., & Soriano, A. C. (2021). Optimization of hydrated lime putties and lime mortars using nopal pectin for conservation of cultural heritage. *Structural Studies, Repairs and Maintenance of Heritage Architecture XVII*, 203, 101–111. <https://doi.org/10.2495/STR210091>
- Pérez, N., Charua, D., & Fernández, S. (2015). Extracción y purificación del mucílago y goma de nopal para su uso en conservación. *Estudios Sobre Conservación, Restauración y Museología, II*(: 978-607-484-649-), 156–166. <https://revistas.inah.gob.mx/index.php/estudiosconservacion/article/view/5473/6092>
- Pinta Soto, C. V. (2022). *Actividad Biológica de la especie Malva sylvestris (Malva común)*. [Tesis de final de grado, Universidad Central del Ecuador] [Universidad Central del Ecuador]. <https://www.dspace.uce.edu.ec/server/api/core/bitstreams/b5385c9a-a3bc-4331-8e71-9a306d013c08/content>
- Rodriguez-Navarro, C., Ruiz-Agudo, E., Burgos-Cara, A., Elert, K., & Hansen, E. F. (2017). Crystallization and Colloidal Stabilization of Ca(OH)<sub>2</sub> in the Presence of Nopal Juice (*Opuntia ficus indica*): Implications in Architectural Heritage Conservation. *Langmuir*, 33(41), 10936–10950. <https://doi.org/10.1021/acs.langmuir.7b02423>
- Sanchez Guevara, E. Y. (2023). *Análisis de las Propiedades Mecánicas del Adobe Elaborado con Fibras de Yute*. [Trabajo de fin de grado] [Universidad Señor de Sipán]. <https://orcid.org/0000-0001-5401-2566>
- Silva, B., Azambuja, M., & Battistelle, R. (2019). Arquitetura e Sustentabilidade: O uso de óleo de cozinha usado na produção de adobes. *Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades*, 7. <https://doi.org/10.17271/2318847275220192158>
- Singh, S. K., Wante, H. P., & Ngaram, S. M. (2019). Using Adobe (Clay Soil) Mixed With Quartz (Sharp Sand) To Determine the Thermal Comfort of Residential Building in North-Mubi L. G, Adamawa State, Nigeria. *International Journal of Research -GRANTHAALAYAH*, 7(3), 274–281. <https://doi.org/10.29121/granthaalayah.v7.i3.2019.973>
- Sivakumar Babu, G. L., & Vasudevan, A. K. (2008). Strength and Stiffness Response of Coir Fiber-Reinforced Tropical Soil. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 20(9), 571–577. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)0899-1561\(2008\)20:9\(571\)](https://doi.org/10.1061/(asce)0899-1561(2008)20:9(571))

- Tara Sen, J. R. (2011). Application of Sisal, Bamboo, Coir and Jute Natural Composites in Structural Upgradation. *International Journal of Innovation, Management and Technology*, 2(3), 186–191.
- Ticona, J. (2020). *Análisis comparativo entre el adobe tradicional y el adobe reforzado con fibras de coco, Huancané, Puno - 2019. [Trabajo de fin de grado, Universidad César Vallejo]*.  
<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/57615>
- Torres Soria, P., Cruz Flores, S., Peña Peláez, N. C., Fernández Mendiola, S. E., Rodríguez Ibarra, M. A., & Cruz Becerril, A. (2015). La baba y el mucilago de nopal, para la conservación de una alternativa natural acabados arquitectónicos de tierra. *Antropología. Revista Interdisciplinaria Del INAH*, 99, 92–114.  
<https://revistas.inah.gob.mx/index.php/antropologia/article/view/8197>
- Vega, L. (2020). *Estabilización del adobe con estiércol de vaca para mejorar el comportamiento mecánico y termodinámico del barro Jecuan, Huaral 2020. [Trabajo de fin de grado, Universidad César Vallejo]*.
- Veiga, R. (2017). Air lime mortars: What else do we need to know to apply them in conservation and rehabilitation interventions? A review. *Construction and Building Materials*, 157, 132–140.  
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.09.080>