


Bloques de tierra comprimida como alternativa sostenible para su integración en sistemas constructivos convencionales en la ciudad de Liberia


Compressed earth blocks as a sustainable alternative for their integration into conventional construction systems in the city of Liberia

Esteban Francisco Quirós-Ramírez¹, Francisco Castillo-Camacho²

Quirós-Ramírez, E.F; Castillo-Camacho, F. Bloques de tierra comprimida como alternativa sostenible para su integración en sistemas constructivos convencionales en la ciudad de Liberia. *Tecnología en Marcha*. Vol. 38, N° especial. Octubre, 2025. Escuela de Arquitectura y Urbanismo. TEC. Pág. 72-83.

 <https://doi.org/10.18845/tm.v38i7.8291>

1 Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica.
 equiros.arq@gmail.com
 <https://orcid.org/0009-0009-4259-8219>

2 Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica.
 arqfranciscocastillo@yahoo.com



Palabras clave

Tierra cruda; granulometría; propiedades organolépticas; propiedades higrotérmicas; construcción sostenible.

Resumen

Debido al impacto del sector de la construcción sobre la crisis climática, este se ha acercado cada vez más a prácticas constructivas que utilizan materiales locales abundantes. Los bloques comprimidos utilizan uno de los materiales locales más antiguos, la tierra, que con el tiempo fue desplazada por sus debilidades en la resistencia sísmica. Sin embargo, esas debilidades han sido superadas mediante su estabilización y evolución con tecnologías modernas y nuevas técnicas de construcción. En el entorno de Costa Rica, la arquitectura de la ciudad de Liberia se ha caracterizado por contar con más de cien ejemplos de construcción con tierra mediante la aplicación del adobe y el bahareque, pero no ha adaptado este material sostenible y de buen desempeño higrotérmico a técnicas más seguras y eficientes, como los bloques de tierra comprimida. En este documento, se evalúan las propiedades constructivas de la tierra de Liberia mediante pruebas granulométricas de campo y se detalla el proceso de fabricación de bloques de tierra comprimida que estabilice este material para integrarlo en la construcción convencional. Este artículo tiene como marco el proyecto de investigación “La incidencia del uso de la tierra de la ciudad de Liberia como material constructivo en el desempeño higrotérmico de los espacios internos mediante técnicas de simulación”, desarrollado por el Instituto Tecnológico de Costa Rica en cooperación con la Asociación para la Cultura de Liberia.

Keywords

Raw earth; granulometry; organoleptic properties; hygrothermal properties; sustainable construction.

Abstract

Due to the impact of the climate crisis on the construction sector, it has increasingly shifted toward construction practices that utilize abundant local materials. Compressed blocks utilize one of the oldest local materials, earth, which was displaced over time due to its weak seismic resistance. However, these weaknesses have been overcome through stabilization and evolution with modern technologies and new construction techniques. In the Costa Rican environment, the architecture of the city of Liberia has been characterized by more than one hundred examples of earth construction through the application of adobe and bahareque, but has not adapted this sustainable material with good hygrothermal performance to safer and more efficient techniques, such as compressed earth blocks. In this paper, the constructive properties of Liberian soil are evaluated through granulometric field tests and the manufacturing process of compressed earth blocks that stabilize this material to integrate it into conventional construction is detailed. This article is part of the research project “The incidence of the use of soil from the city of Liberia as a construction material in the hygrothermal performance of interior spaces through simulation techniques”, developed by the Technological Institute of Costa Rica in cooperation with the Association for the Culture of Liberia.

Introducción

En el ámbito de la construcción, se ha observado un creciente interés por parte del sector en reducir su impacto en la crisis climática. Debido a esto, se han multiplicado los esfuerzos por adaptar prácticas y técnicas constructivas con materiales menos contaminantes y más accesibles. Uno de estos materiales es la tierra cruda, entendida como aquella que no ha sido sometida a un proceso químico de cocción para su uso y que en consecuencia no genera emisiones de carbono en su elaboración.

En América Latina, Brasil, Colombia y Perú son los países que cuentan con mayor número de normativas dedicadas a regular la construcción con tierra, con documentos diversos enfocados en las técnicas de bloques de tierra comprimida y adobe principalmente [1], pero la ausencia de una homogeneidad entre las distintas normativas existentes dificulta todavía una aplicación estandarizada en países que carecen de una regulación específica en esta materia. Sin embargo, las recomendaciones y guías en estas normativas existentes son un marco de referencia para arquitectos, ingenieros y constructores en la correcta selección, estabilización y prueba de la tierra a utilizar para hacer de la construcción con esta una forma segura de implementar un recurso local, renovable, de baja huella de carbono y con múltiples beneficios energéticos, higrotérmicos y socioeconómicos en nuestras construcciones [2].

A pesar de poseer múltiples construcciones con tierra cruda, Costa Rica forma parte de los países que no cuentan con un desarrollo normativo específico para su uso, sino que este se encuentra rigurosamente regulado por el Código Sísmico, el cual no prohíbe completamente su aplicación en Costa Rica [3]. Es la combinación de altos estándares de resistencia y regulaciones poco específicas lo que ha contribuido a las dificultades actuales para reinsertar estos métodos tradicionales con tierra en los procesos modernos de construcción en Costa Rica.

Un método innovador en su uso de la tierra como materia prima son los bloques de tierra comprimida (BTC), una evolución significativa hacia la mejora de la resistencia y la flexibilidad de las construcciones con tierra cruda. Estos bloques, elaborados a partir de tierra, agua y un agente estabilizante, son sometidos a un proceso de compresión para formar bloques sólidos y resistentes. Estos bloques han sido objeto de múltiples investigaciones orientadas a mejorar su resistencia, reducir el riesgo de lesiones por compresión y aumentar su resistencia a la erosión causada por el agua, resultando en construcciones de tierra cruda que conservan sus propiedades de regular la temperatura interna de los espacios y de absorber y exhalar la humedad del aire [4].

Debido a sus propiedades de retraso térmico y control de la humedad interna, el uso de bloques de tierra comprimida ha sido predominante en los climas cálidos, templados y secos del mundo [1]. En Costa Rica, uno de los lugares con este clima y con el mayor potencial para incorporar estos bloques en sus sistemas constructivos es el centro urbano de Liberia, esta ciudad cuenta con más de 120 inmuebles edificados con tierra como materia prima usando técnicas tradicionales y hasta 9 de estos poseen una declaración de patrimonio o de interés cultural por parte del gobierno de Costa Rica [6] [7], pero no se registra un esfuerzo por integrar nuevos sistemas constructivos en tierra que sean diferentes al adobe y al bahareque para responder a las exigencias y necesidades de la construcción convencional actual.

A partir del conocimiento empírico en construcción con tierra cruda a del arquitecto Francisco Castillo e investigaciones basadas en el conocimiento técnico y las recomendaciones derivadas de normativas internacionales, esta investigación detalla el proceso de selección, recolección y estudio mediante pruebas de campo del suelo de Liberia para validar su uso en la construcción con bloques de tierra comprimida, así como el proceso y recomendaciones para la fabricación de estos haciendo uso de este suelo como materia prima.

Metodología

Para el desarrollo de este estudio se recolectaron muestras de suelo para valorar su potencial en la fabricación de bloques de tierra comprimida. Estas muestras fueron recolectadas en un área situada aproximadamente a cinco kilómetros del centro urbano de Liberia con el acompañamiento y guía de José Luis Villareal, conocido como “Güicho Pizarro”, para garantizar que la tierra tuviera las mismas características y orígenes que la que fue utilizada en las antiguas construcciones de adobe y bahareque de Liberia. Recientemente, fue él quien colaboró en la ubicación y transporte de la tierra utilizada en la restauración de las paredes de la antigua gobernación de Liberia para que conservaran sus propiedades originales [8], misma tierra utilizada en este estudio. Las muestras se recolectaron de suelos superficiales con una profundidad no mayor a cincuenta centímetros, evitando la presencia de materia orgánica y contaminantes en las muestras.

Se llevaron a cabo pruebas organolépticas sobre las muestras de tierra con el propósito de caracterizar su origen, tipo de suelo y composición física preliminar. Estas son pruebas sencillas de campo que permiten caracterizar los suelos a través de sentidos como el tacto y el olfato [4]. Las pruebas se realizaron con muestras de tierra viva, es decir, muestras que se mantuvieron con el mismo estado y apariencia que tenían a la hora de ser recolectadas en sitio. El objetivo de conservar la tierra con sus propiedades originales es el de conocer todos los componentes de esta a lo largo de la prueba de campo.

Se realizaron también pruebas granulométricas mediante el método de sedimentación en botella para conocer el tamaño de las partículas que componen la muestra de suelo. Esta prueba consiste en llenar un recipiente con partes iguales de agua y tierra y revolver ambas hasta conseguir una muestra heterogénea. El agua separa los componentes de la muestra de tierra asentando aquellos más densos, la grava, en el fondo y los más ligeros, la arcilla, en la parte superior [9]. Una vez separados todos los componentes de la muestra, es posible realizar una medición de las proporciones de arcilla, limo y arena que la componen, así como del tamaño de estas partículas.

Una vez identificada la composición de las muestras se fabricaron dos bloques de tierra comprimida, utilizando dos granulometrías distintas y añadiendo cemento como estabilizante y agua a la tierra, compactando la mezcla en una máquina compactadora manual. La composición del volumen de cada bloque fue de un 80% aproximado de tierra de Liberia con un 9,10% de cemento y entre un 10% y un 12% de agua, proporciones que se validaron mediante una prueba de humedad. La mezcla resultante se compactó manualmente para eliminar el aire y aumentar su densidad. Una vez compactados los bloques, se extrajeron de la máquina y se dejaron secar a la sombra, con un proceso de curado mediante riego manual fino para evaluar la compactación y resultado estructural de los bloques fabricados quince días después de su compactación.

Resultados

Recolección de muestras de tierra en sitio y caracterización preliminar del suelo

En la mayor parte del cantón de Liberia y por lo tanto en el área de recolección de las muestras, los suelos pertenecen a la categoría de entisoles, suelos derivados de la erosión del material desprendido de formaciones rocosas y con un origen relativamente reciente, lo que también los hace estar débilmente desarrollados [11]. Este tipo de suelos jóvenes se forma por la erosión de abanicos aluviales y llanuras de inundación, como el cañón del río Liberia, una grieta compuesta por múltiples formaciones de rocas afiladas, zonas boscosas de vegetación enana y suelos minerales de baja fertilidad y tonos blancuzcos.

Las muestras de tierra utilizadas en este estudio se extrajeron en las cercanías del cañón del río Liberia, en una zona ubicada a unos cinco kilómetros del centro de Liberia y camino hacia el basurero de esta ciudad, en las faldas del volcán Rincón de la Vieja. La zona se caracteriza por su aridez y la abundancia de cascajo [10], el material blancuzco similar a la roca utilizado en la construcción de las calles de la ciudad y que le da a Liberia el distintivo de “La Ciudad Blanca”. La presencia de este material, compuesto principalmente de piedra pómez y cuarzo, fue indicador de las cualidades minerales en los suelos de la zona.



Figura 1. Ubicación del sitio de recolección de las muestras en Liberia.

La extracción de la tierra se hizo mediante una pala para separarla y cubetas para su transporte. Fue importante diferenciar la tierra del cascajo a la hora de la extracción ya que, como se mencionó anteriormente, este último se compone principalmente de piedra y minerales y no de tierra. La mejor forma de diferenciar entre la tierra y el cascajo es a través de su color, siendo este último mucho más claro en comparación.

En primera instancia, fue posible identificar características del suelo que indican su composición. La presencia de grumos o agregados de tierra que se pulverizan fácilmente indicó la existencia de arcilla. La textura de la tierra, al ser áspera al tacto, sugiere la presencia de arena, componente esencial para la consistencia de los bloques que se obtendrán a partir de esta tierra. Por último, el color claro y el olor predominantemente mineral de los suelos evidenció una baja presencia de materia orgánica, que no es un componente deseado en la muestra y debe ser evitado. Los suelos con elevado contenido orgánico resultan idóneos para la agricultura y la ganadería, pero presentan dificultades para su uso en la construcción. La facilidad con la que se ha identificado tierra sin materia orgánica en este sitio y a una profundidad tan reducida pone de manifiesto su potencial como punto de extracción de tierra para su uso en la construcción.



Figura 2. Identificación de la tierra en sitio y observación preliminar de sus propiedades.

Caracterización organoléptica mediante pruebas de campo

Para la caracterización organoléptica de la tierra se utilizaron muestras de tierra viva, es decir, que mantuvieran las características que tenían al momento de su extracción. En la muestra de tierra se observaron elementos de mayor tamaño correspondientes a agregados, grava y piedras. Las piedras o grava de mayor tamaño no forman parte de la muestra de tierra y debieron ser separados de ésta para la realización de las pruebas, dejando solo los agregados [9].



Figura 3. Muestra de tierra viva de Liberia.

Como se mencionó anteriormente, la prueba se realizó con tierra viva que estuviera además en estado seco al tacto y que fuera imposible de modelar. Los agregados de tierra en estado seco evidenciaron la presencia de arcilla, que funciona como aglutinante y forma pequeñas aglomeraciones compactas de tierra [9]. Este resultado es favorable ya que la presencia de arcilla es necesaria en los suelos para la fabricación de bloques de tierra comprimida. Sin embargo, una concentración excesiva de esta en la tierra provoca que los bloques fabricados sean más susceptibles a fallas y fracturas, por lo que necesitan una mayor cantidad de

cemento para ser estabilizados. A pesar de que los agregados de tierra no fueron difíciles de pulverizar, lo que indica una cantidad de arcilla que no es excesiva, fue necesario determinar si la concentración de esta era adecuada mediante las pruebas siguientes.

Se agregó agua a la muestra para llevarla a un estado húmedo, donde no pudiera ser moldeada y se pudiera desmoronar. En este estado, es posible identificar la presencia de humus en la tierra a través de su aroma. El humus corresponde a la capa más superficial de los suelos y es donde se encuentra la mayor cantidad de materia orgánica, lo que les da un color más oscuro debido al carbono que contiene [12]. En contacto con el agua, este componente orgánico del humus se percibe fácilmente por su olor característico, que comúnmente asociamos con “olor a tierra mojada”. Al olfatear la muestra de tierra en estudio, no se percibió este aroma, lo que, en conjunto con su tono de color claro, indican una baja presencia orgánica en la tierra [9]. La materia orgánica es un componente que no es necesario para la fabricación de bloques de tierra comprimida y que complica su estabilización, ya que se necesita una mayor cantidad de cemento para hacerlo. Por este motivo, una tierra de características más minerales que orgánicas es favorable al ser más eficiente en el uso del cemento en la fabricación de bloques de tierra comprimida [13].

Finalmente se agregó agua a la muestra hasta llevarla a un estado plástico, donde pudiera ser moldeada y no se desmoronará, para conocer su capacidad de absorber el agua. Una rápida absorción indicaría la presencia mayoritaria de arena y una absorción lenta, de arcilla [9]. Al agregar agua a la muestra, hubo dificultad para incorporar el agua y la tierra en una mezcla más homogénea, lo que indica una importante cantidad de arcilla en la composición de los suelos. Se observó además que, en este estado plástico, la capacidad de la muestra para filtrar el agua fue baja y tardó en ser absorbida, lo que demostró que es una tierra con una mayor cantidad de limos y arcillas que de arena, pero en una proporción adecuada y no excesiva al permitir la filtración del agua.



Figura 4. Caracterización organoléptica por etapas.

Prueba de granulometría mediante sedimentación en botella

La tierra estabilizada, al combinarse con un estabilizante químico, mejora sus condiciones y propiedades constructivas. Pruebas realizadas para la optimización de bloques de tierra comprimida [14] han demostrado que, mediante el control de la granulometría del suelo, que es la distribución cuantitativa de los tamaños de las partículas que lo componen, es posible reducir la necesidad de estos estabilizantes químicos. Un suelo de granulometría adecuada y bien

graduada es donde la proporción de las partículas de mayor tamaño como la arena conformen una base sólida y resistente, mientras que las partículas de menor tamaño como los limos y arcillas rellenen los espacios entre estas, aglutinando el suelo naturalmente [14]. Experiencias pasadas en la fabricación de bloques de tierra comprimida en Costa Rica han demostrado que una graduación ideal de los suelos utilizados es de un 40% de arena, y un 60% de limos y arcillas en su composición, siempre y cuando el porcentaje de arcillas no supere el 25% ni sea inferior al 10% [15].

Para identificar la granulometría del suelo de Liberia, se realizó una prueba de “sedimentación en botella” [9] colocando una muestra de tierra en un recipiente de vidrio y vertiendo aproximadamente la misma cantidad de agua para disolver la muestra, la cual se agitó y se dejó en reposo durante 48 horas [15]. Poco a poco, los elementos más densos de la tierra, la grava y arena, se asentaron en el fondo de la botella y los más ligeros, el limo y la arcilla, en su parte superior. Adicionalmente, todos los componentes orgánicos presentes en la muestra de tierra se desprendieron de ésta y flotaron sobre el agua. La prueba de sedimentación en botella demostró que la composición de la muestra de tierra tomada en Liberia corresponde aproximadamente a un 23,73% de arcilla, un 35,59% de limo y un 40,68% de arena, con una mínima cantidad de elementos orgánicos en forma de raíces y madera, lo que permitió clasificarla como un “suelo arenoso” al ser este su componente predominante.

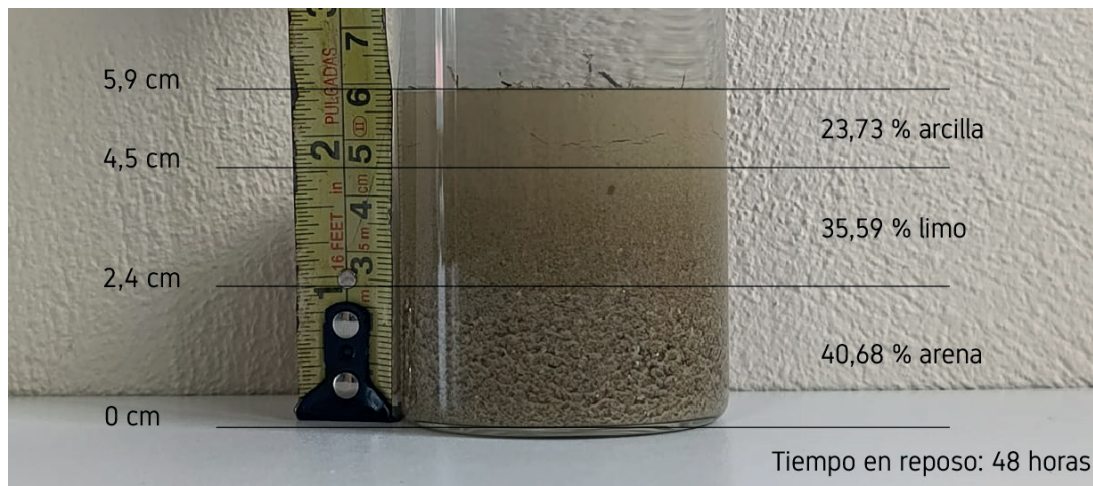


Figura 5. Resultado de granulometría de la muestra de tierra de Liberia mediante prueba de sedimentación en botella.

Para la fabricación de bloques de tierra comprimida, estas propiedades se traducen en una arena con una granulometría más cercana al mínimo aceptable que al máximo aceptable, donde sin embargo el contenido de arena de la muestra garantiza la rigidez de los bloques y una adecuada resistencia a la erosión provocada por el agua [2][14]. A pesar de que el limo tiene partículas muy finas que reducen la cohesión interna y dificultan la compactación, la arcilla, de alta plasticidad y dentro del límite recomendado del 25%, asegura una adecuada cohesión entre la tierra y el cemento, se comprime lentamente en la fabricación del bloque, mantiene activamente su esencia impermeable, absorbe grandes cantidades de agua y, por lo tanto, aumenta el volumen del bloque al compactarse. [15].

Según los parámetros de granulometría establecidos anteriormente, las proporciones identificadas de los tres elementos de la muestra son ideales para la estabilización de la tierra con reducidos aditivos químicos. Este resultado permite catalogar la muestra de tierra analizada

como un suelo resistente de buena cohesión que no requiere grandes cantidades de aditivos para ser estabilizada, lo que permite la experimentación con menores cantidades de cemento para la fabricación de bloques de tierra comprimida [15].

Fabricación de los bloques

Al identificar el tipo de suelo de donde se tomaron las muestras como uno “arenoso” mediante pruebas organolépticas y granulométricas, se calculó el porcentaje seguro de cemento necesario para estabilizar este tipo de tierra en un 9,10% [15]. Este porcentaje define que para fabricar bloques con este tipo de suelo son necesarias proporciones máximas de doce partes de tierra por una de cemento (una proporción de 12:1), y mínimas de 8 partes de tierra por una de cemento (una proporción de 8:1). Estas proporciones fueron las utilizadas en la fabricación de los bloques de este estudio.

La investigación “*Optimización del proceso de elaboración de Bloques de Tierra Comprimida (BTC) mediante el control granulométrico de las partículas del Suelo*” [14] encontró que un 12% de agua en la composición de la mezcla de tierra para el bloque es ideal para mejorar la resistencia y trabajabilidad. Los estudios identificaron además que un porcentaje del 10% o menor vuelve la mezcla quebradiza, mientras porcentajes superiores al 16% reducen su resistencia mecánica [14]. Mediante una prueba de humedad se confirmó que la consistencia y cohesión de la tierra, el cemento y el agua era adecuada para que al ser comprimida conservara su forma durante la fase de secado al aire. La prueba consistió en comprobar que la mezcla de tierra al ser modelada hasta marcar los dedos de la mano pudiera separarse en dos partes sin desmoronarse.



Figura 6. Prueba manual para verificar la cantidad de agua requerida en la hidratación de la tierra más cemento.

La prueba comprobó que la hidratación de la mezcla de tierra y cemento era la adecuada para conseguir una correcta compactación del material, por lo que se procedió a fabricar bloques de tierra comprimida utilizando una máquina compactadora manual. Para el primer ladrillo, se utilizó una tierra cernida con un filtro de malla fina, lo que significó en esta tierra un contenido menor de arena. Este ladrillo se fabricó utilizando una proporción de tierra de ocho partes de tierra por una de cemento (8:1) En el ladrillo resultante de 30cm x 15cm x 10cm se constató que el bajo contenido de arena y limo provocan deterioros leves en las esquinas y bordes del ladrillo, donde una poca cantidad de agua fue suficiente para erosionar el ladrillo en esos puntos [15]. Sin embargo, la compactación y resultado estructural a los 15 días de secado natural del ladrillo resultó buena.

Una segunda prueba de compactación con tierra sin cernir, con el fin de permitir partículas de arena mayores, y una proporción de doce partes de tierra por una de cemento (12:1) que evidenció mejoras en la cohesión tanto interna como superficial del ladrillo de 30cm x 15cm x 10cm. En este caso, se obtuvieron mejores resultados cuando el contenido de arena de la tierra era mayor, a pesar de que se utilizó menos cemento como estabilizante.



Figura 7. Bloques comprimidos fabricados con tierra de Liberia.

Conclusiones (discusión)

Los suelos muy arenosos o arcillosos requieren más cemento para estabilizarse, mientras que los suelos con limo como constituyente básico reducen sus capacidades estructurales. Los estudios realizados y la experiencia en construcción con bloques de tierra comprimida en el país sugieren que la proporción ideal entre arena y limo-arcilla es de 40% y 60%, respectivamente, mientras la arcilla no supere el 25% del total [15]. La prueba de sedimentación aplicada a la muestra comprueba que el tipo de tierra de Liberia corresponde a un suelo arenoso con proporciones ideales para la fabricación de bloques de tierra comprimida, ya que su componente principal, la arena, es ligeramente superior al 40%, lo que se traduce en buenas propiedades mecánicas, de compactación y de resistencia a la erosión del agua. Por otro lado, su porcentaje de arcilla superior al 10% pero menor que el 25%, proporciona buena cohesión a los componentes del bloque y permite reducir la cantidad de cemento necesaria para su fabricación, permitiendo proporciones de hasta 12:1.

El reducido uso de cemento como agente estabilizador que permite la tierra de Liberia juega un papel fundamental no solo como estabilizador eficiente de la tierra, sino en el ámbito sociocultural y económico respecto a costos adecuados que impacten y den opciones a las comunidades como usuario final, haciendo los suelos de Liberia una excelente opción para su uso en bloques de tierra comprimida optimizando el uso de recursos constructivos y económicos. La abundancia de este recurso, sus propiedades constructivamente sostenibles y su reducido costo económico y material lo convierten en una excelente opción constructiva para ser introducida en la construcción convencional de Liberia.

Al fabricar bloques con esta tierra proveniente de Liberia, debe tenerse en cuenta que una de sus principales virtudes es la suficiente cantidad de arena presente en su composición, por lo que, a la hora de cernir la tierra que se va a utilizar, deben utilizarse filtros con un tamaño de malla no superior a 7 milímetros ni inferior a 5 milímetros, de manera que puedan filtrarse la grava y las piedras sin comprometer el contenido de arena de la tierra. Una adecuada

compactación de los bloques, el cuidado del secado de la tierra cernida, la protección bajo techo de los bloques fabricados durante su fraguado y un riego fino son también cuidados necesarios para un adecuado proceso de elaboración de ladrillos que puedan ser utilizados en la construcción convencional.

Las pruebas y valoraciones realizadas sobre las muestras de suelo y los bloques de tierra comprimida fabricados con esta corresponden al conocimiento empírico de los autores e investigaciones basadas en el conocimiento técnico y las recomendaciones derivadas de normativas internacionales, dando resultados satisfactorios según ambas fuentes. Es recomendable profundizar los resultados de esta investigación mediante la aplicación de pruebas de laboratorio a sus productos que permitan además una extrapolación de ambos resultados.

Referencias

- [1] J. Cid, F. R. Mazarrón, y I. Cañas, “Las normativas de construcción con tierra en el mundo”, *Inf. Constr.*, vol. 63, núm. 523, pp. 159–169, 2011.
- [2] A. Sarker y I. Mahmud, “Compressed Stabilized Earth Block as a Sustainable Building Material”, *Civil and Environmental Research*, vol. 10, núm. 2018, pp. 49–53, 2018.
- [3] CFIA, “Código Sísmico de Costa Rica”, www.cfia.or.cr, 2010. [En línea]. Disponible en: <https://www.cfia.or.cr>. [Consultado: 07-feb-2025].
- [4] H. D. Cañola, A. Builes-Jaramillo, C. A. Medina, y G. E. González Castañeda, Bloques de Tierra Comprimida (BTC) con aditivos bituminosos. *Tecnológicas*, vol. 21, no. 43, pp. 135-145, 2018.
- [5] R. S. Roux Gutiérrez, «Construcción sustentable, análisis de retraso térmico a bloques de tierra comprimidos», *Contexto. Revista de la Facultad de Arquitectura de la Universidad Autónoma de Nuevo León*, vol. 9, n.º 11, pp. 59–71, sep. 2017.
- [6] Portal de Patrimonio de la Dirección de Patrimonio Cultural, “Bienes declarados patrimonio o de interés cultural”, www.patrimonio.go.cr. [En línea]. Disponible en: <https://www.patrimonio.go.cr/busqueda/ResultadoBusquedaInmuebles.aspx>. [Consultado: 28-abr-2025].
- [7] Portal de Patrimonio de la Dirección de Patrimonio Cultural, “Monumentos declarados Patrimonio en el cantón de Liberia”, muniliberia.maps.arcgis.com. [En línea]. Disponible en: <https://muniliberia.maps.arcgis.com/apps/Shortlist/index.html?appid=39a28b6c26e74584bf102f7eb9d0d970>. [Consultado: 28-abr-2025].
- [8] R. Cruz, “Restauran edificio histórico de Liberia con técnicas tradicionales”, vozdeguanacaste.com, 2022. [En línea]. Disponible en: <https://vozdeguanacaste.com/12-carretas-de-barro-y-un-boyero-liberiano-asi-restauran-la-gobernacion-de-liberia/>. [Consultado: 20-jul-2025].
- [9] amàco, “Field tests for earth construction”, amàco - YouTube English channel, 2017. [En línea]. Disponible en: <https://www.youtube.com/channel/UCITEvyA6TZlc3Cib7G-gVsA>. [Consultado: 05-may-2025].
- [10] K. O. Coto, “CIA actualiza Mapa Digital de Suelos de Costa Rica”, www.ucr.ac.cr. [En línea]. Disponible en: <https://www.ucr.ac.cr/noticias/2016/08/04/cia-actualiza-mapa-digital-de-suelos-de-costa-rica.html>. [Consultado: 07-feb-2025].
- [11] M. Elizondo, “Suelos de Costa Rica orden entisol”, [Mag.go.cr](http://mag.go.cr), 2015. [En línea]. Disponible en: <https://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/Av-1822.PDF>. [Consultado: 10-feb-2025].
- [12] Real Academia Española, “Diccionario de la Real Academia Española”, [Rae.es](http://rae.es), 2025. [En línea]. Disponible en: <https://dle.rae.es/humus>. [Consultado: 01-2025].
- [13] K. Arteaga, Ó. Medina, y Ó. Gutiérrez, “Bloque de tierra comprimida como material constructivo”, *Revista Facultad de Ingeniería UPTC*, vol. 20, núm. 31, pp. 55–68, nov. 2011.
- [14] C. A. Guillén Guillén, A. Muciño Vélez, L. F. Guerrero Baca, y F. J. Cruz Farrera, “Optimización del proceso de elaboración de Bloques de Tierra Comprimida (BTC) mediante el control granulométrico de las partículas del Suelo”, *Nova Sci.*, vol. 13, núm. 27, 2021.
- [15] F. Castillo, “La sabiduría del empirismo: lo social del hábitat y la tierra”. 2021.

Declaración sobre uso de Inteligencia Artificial (IA)

Los autores aquí firmantes declaramos que no se utilizó ninguna herramienta de IA para la conceptualización, traducción o redacción de este artículo.