

Tierra estabilizada con biopolímeros como una alternativa sostenible para abordar la crisis de la vivienda urbana de bajo costo

Biopolymer-stabilized soil as a sustainable alternative to address the low-cost urban housing crisis

Luis Enrique Ortega Salinas¹
Laboratorio de arquitectura I +D.
Loja - Ecuador

RESUMEN

La necesidad de una gran cantidad de nuevas viviendas para hacer frente al aumento de la población y el nivel de vida, se contrapone a la necesidad de hacer frente al calentamiento global y la disminución de la biodiversidad. Para superar este doble desafío, existe una necesidad urgente de evaluar materiales y técnicas de construcción alternativos que sean asequibles y sostenibles. La tierra estabilizada es un material de construcción que es comparativamente más económico que los materiales de construcción convencionales en la construcción de viviendas urbanas de bajo costo. Además, la construcción con tierra estabilizada reduce emisiones de CO_2 y es ambientalmente sostenible. A pesar de todos los beneficios de este material, existen muchos inhibidores que influyen en la adopción generalizada de la construcción con tierra, e impiden que esta tecnología sea universalmente aceptada. En este contexto, esta investigación está dirigida a ampliar el conocimiento sobre las ventajas que ofrece la construcción en tierra para satisfacer las crecientes necesidades de vivienda y plantea como los polímeros naturales pueden ayudar a cambiar la percepción de este material dado el potencial de estos aditivos para reducir la permeabilidad del suelo, aumentar la resistencia y mejorar su durabilidad.

Palabras clave: Construcción en tierra, biopolímeros, sostenibilidad, vivienda de bajo costo, tierra estabilizada.

ABSTRACT

The need for a large amount of new housing to cope with rising population and living standards is set against the need to address global warming and declining biodiversity. To overcome this dual challenge, there is an urgent need to evaluate alternative building materials and techniques that are affordable and sustainable. Stabilized earth is a building material that is comparatively cheaper than conventional building materials in low-cost urban housing construction. In addition, building with stabilized earth reduces CO_2 emissions and is environmentally sustainable. Despite all the benefits of this material, there are many inhibitors that influence the widespread adoption of earth construction, and prevent this technology from being universally accepted. In this context, this research aims to broaden the understanding of the advantages of earth construction in meeting the growing housing needs and discusses how natural polymers can help change the perception of this material given the potential of these additives to reduce soil permeability, increase strength and improve durability.

Keywords: Earth construction, biopolymers, sustainability, low-cost housing, stabilized earth.

¹ Arquitecto. Laboratório de arquitetura I +D. Loja – Ecuador

Línea de investigación: Población y Desarrollo sostenible / Aprovechamiento sostenible de los recursos naturales. <http://bancodeideas.gob.ec/usuario/view?data=aWQ9MTEwMTg%3D>

EMAIL: ortega.luis1305@gmail.com

1. INTRODUCCIÓN

Existe una enorme demanda de viviendas en las crecientes áreas urbanas del sur global, que debe ser atendida en un corto período de tiempo. La construcción con tierra se plantea como una alternativa económica y amigable con el medio ambiente debido al creciente aumento de costos e impactos ambientales de los materiales de construcción convencionales (Morel et al, 2021). Sin embargo, la construcción de viviendas en tierra ha disminuido significativamente a nivel mundial y, por lo tanto, es necesario implementar mecanismos mediante los cuales la tierra se constituya en un material de construcción atractivo que pueda hacer una contribución significativa a la escasez de viviendas contemporánea (Kulshreshtha et al., 2020).

Múltiples estudios sugieren que el desconocimiento de las ventajas y los prejuicios con respecto a la construcción en tierra son la barrera clave contra una amplia aceptación; Las construcciones en tierra, son consideradas frágiles, perecederas y hechas para los pobres, considerándose no compatibles con la “ideología de progreso” actual (Morel et al, 2021). Por ello las investigaciones sugieren que la demostración exitosa de estructuras duraderas y confortables de tierra en diversos lugares y contextos sociales puede actuar como catalizador para cambiar la imagen de la tierra y convertirla en un material deseable para la construcción de viviendas (Kulshreshtha et al., 2020).

Los materiales de construcción de tierra tienen baja energía incorporada, excelentes propiedades higrotérmicas y potencial de reciclaje. Sin embargo, sin los elementos constructivos adecuados (aleros, cimientos piedra, revocos, etc.) y estabilizantes, el material es susceptible a deterioro frente a la entrada de agua y las cargas sísmicas. Generalmente los sistemas tradicionales empleaban estabilizantes naturales como fibras, resinas, almidones, látex y diversidad de polímeros naturales para fortalecer la estructura de este material, sin embargo, por lo general los modernos sistemas de construcción con tierra emplean estabilizadores químicos como el cemento para mejorar su durabilidad y rendimiento mecánico (Losini et al., 2021).

La estabilización de suelos ha sido una importante innovación que no sólo ha mejorado la resistencia y durabilidad de las construcciones con tierra, también ha ayudado a cambiar la percepción de que los sistemas constructivos en tierra son inferiores (Muguda, 2019). No obstante, el uso de cemento conduce a un alto impacto ambiental, compromisos en las propiedades higroscópicas y potencial de reciclabilidad. En esta situación, es imperativo buscar alternativas al cemento, que pueden abordar estos problemas sin comprometer los beneficios de la construcción con tierra (Losini et al., 2021).

El legado histórico en conjunto con investigaciones recientes muestra que la mejora de la tierra con polímeros naturales es una alternativa que puede contribuir a la mejora substancial de este material constructivo. Recientes investigaciones incluso evidencian la superioridad de algunos de estos polímeros naturales frente al cemento, para reducir la permeabilidad del suelo, aumentar la resistencia y mejorar su durabilidad (Chang et al., 2015). Por ello se considera que los biopolímeros son estabilizadores de suelo potenciales prometedores debido a su facilidad de obtención, aplicación y eficacia de estabilización incluso en pequeñas cantidades. En este contexto, la revalorización del empleo de biopolímeros, supone un avance significativo para mejorar la calidad y durabilidad de las construcciones de tierra y con ello se abre una brecha que permita que este material se constituya paulatinamente en una alternativa para la construcción de viviendas urbanas de bajo costo en todo el mundo.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Actuales desafíos ambientales del sector de la construcción.

La reducción del impacto ambiental de las actividades antrópicas es uno de los desafíos más importantes de nuestro siglo y la industria de la construcción juega un papel significativo en este contexto (Losini et al., 2021). A nivel mundial, los edificios representan alrededor del 35 % de

los recursos utilizados, el 40 % del uso total de energía, consumen el 12 % del agua potable del mundo, producen casi el 40 % de las emisiones mundiales de dióxido de carbono y generan alrededor de un tercio de todos los residuos destinados al vertedero (Bertino, et al 2021).

Sumado a ello, dada la creciente demanda de vivienda y las oportunidades de inversión que acompañan a la urbanización, las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) a través de la construcción podrían duplicarse para 2050 (Adegun & Adedeji, 2017). Por ello es necesario (re)considerar la promoción de materiales que resulten en menores impactos para el medio ambiente.

En la actualidad los edificios se desmantelan cada pocos años y, a menudo, se derriban mucho antes de su vida útil prevista, sin que casi ningún producto o material se recupere para su reutilización. Este modelo lineal de "tomar, hacer y desechar" está agotando los limitados recursos del mundo y está creando montañas de desechos con muy pocas posibilidades de recuperación. En lugar de diseñar edificios como si no hubiera un mañana, debemos pensar en el futuro de las edificaciones y sus usuarios.

La actitud derrochadora que hasta ahora hemos aplicado a los recursos de construcción no será compatible con las prioridades de las generaciones futuras. Ya es hora de que abordemos esta problemática y reconozcamos nuestro papel de administración sobre los recursos finitos del planeta. El reto de reducir el impacto de los edificios durante su vida útil exige nuevos materiales eficientes, sostenibles y reutilizables. En este contexto, la tierra cruda como material de construcción tiene varias ventajas: disponibilidad local, reciclabilidad y baja energía incorporada (Losini et al., 2021). Los bloques de adobe, por ejemplo, no se someten a ningún proceso de cocción que consuma mucha energía, ya que simplemente se secan al sol y, por lo tanto, aprovechan la energía solar directamente.

Para poner esto en contexto, la energía requerida para producir un bloque de adobe es de solo 5 (kWh) / metro cúbico en comparación con aproximadamente 1000 (kWh) / metro cúbico para un ladrillo cocido y 400-500 (kWh) / metro cúbico para concreto (Galán et al., 2013).

Los sistemas constructivos basados en tierra son responsables con el medio ambiente y desempeñan un papel fundamental en la lucha contra las emisiones de gases de efecto invernadero, desequilibrios en los ecosistemas, el cambio climático, entre otros temas. Por lo tanto, la construcción con tierra se está convirtiendo en un material de construcción natural cada vez más valorado y sus beneficios también se están reconociendo progresivamente, particularmente en los países industrializados (Galán et al., 2013).

2.2. Vivienda de bajo costo en tierra una necesidad urgente.

Las ciudades del sur global han experimentado en las últimas décadas, un crecimiento sin precedentes en términos de desarrollo espacial y aumento de la población, en América Latina el 81% de la población ya es urbana (ONU, 2018). Desafortunadamente las ciudades, particularmente en los países del sur global no están planificadas para estas magnitudes de crecimiento y de la afluencia de población, ni cuentan en realidad con los puestos de trabajo y las instalaciones necesarias para soportar tal expansión. Particularmente, las crecientes urbes no han logrado satisfacer la explosiva demanda de vivienda de las poblaciones que habitan en condiciones pobreza y desempleo (Zami & Lee, 2011).

Existe una gran presión sobre los gobiernos para atender la demanda de viviendas. Se sabe que la vivienda tiene un impacto significativo en el desarrollo económico, se estima que el 80 % del PIB (Producto Interno Bruto) depende del 54 % de la población mundial que vive en áreas urbanas (Kulshreshtha et al., 2020). Por lo tanto, existe una necesidad urgente de evaluar

materiales y técnicas de construcción alternativos que sean asequibles y sostenibles para hacer frente a esta creciente escasez de viviendas (Kulshreshtha et al., 2020).

La construcción con materiales convencionales como el hormigón o los ladrillos cocidos a menudo se considera plausible debido a su amplia disponibilidad y estandarización en el uso. Sin embargo, los precios de estos materiales han aumentado significativamente a lo largo de los años por encima del aumento proporcional de los ingresos (Kulshreshtha et al., 2020). Y esta tendencia de aumento tiende a acrecentarse dado el declive de los combustibles fósiles, con el correspondiente aumento de precio y, por lo tanto, de los costos de transporte y fabricación.

Los desafíos asociados con la dotación de viviendas adecuadas y asequibles a las personas de bajos ingresos generalmente están relacionados con el tema de los materiales y la tecnología de construcción (Adegun & Adedeji, 2017). Los análisis de costos en regiones del sur global evidencian que los materiales constituyen el principal componente de los costos en la construcción de viviendas, representando entre el 60 y el 70 % del costo total (Adegun & Adedeji, 2017). De ello deriva que varios estudios académicos han establecido el hecho de que el costo creciente de los materiales de construcción es uno de los principales factores responsables de la creciente brecha entre la oferta y la demanda de viviendas asequibles y adecuadas (Adegun & Adedeji, 2017; Kulkarni et al., 2014; Assaf et al., 2010).

La tierra estabilizada es un material de construcción alternativo que es comparativamente más económico que los materiales de construcción convencionales en la construcción de viviendas urbanas de bajo costo. Se estima que las casas de tierra son hasta un 35 % más baratas que las de hormigón (Kulkarni et al., 2014). Adicionalmente a ello, es un material de construcción sostenible, que no solo produce edificios de bajo impacto ambiental, sino que también mejoran la vida de las personas. Los beneficios de este material atraviesan las esferas ambiental, financiera y social: Reducción de costo de construcción, mejora de la salud humana, minimización de desechos, protección del medio ambiente, protección contra el ruido y la mejora de la calidad de vida son los principales beneficios la tierra como material de construcción (Nwaki, & Eze, 2022).

De esta forma, múltiples investigaciones alrededor del mundo han evidenciado que la construcción con tierra puede ser una alternativa muy exitosa para abordar proyectos de vivienda de bajo costo y a la vez satisfacer la demanda de vivienda sostenible y confortable en muchos países del sur (como India, Sudán, Zimbabue, Sudáfrica) y norte global (como EEUU, Alemania, Francia) (Zami & Lee, 2011). Sin embargo, la pregunta sigue siendo, ¿por qué la construcción con tierra estabilizada aún no se adopta ampliamente para abordar la crisis de viviendas urbanas de bajo costo (Zami & Lee, 2011).

El deseo y el acceso a materiales de construcción modernos, como el hormigón y los ladrillos cocidos, han provocado una disminución del interés por la construcción con tierra. A nivel mundial, las viviendas de tierra están en declive en relación con las viviendas que no son de tierra, impulsadas por los cambios demográficos y las percepciones negativas de la construcción con tierra (Marsh, & Kulshreshtha, 2022). Los sistemas de construcción en tierra están asociados con la pobreza y son ampliamente considerados como un material para los pobres. Se estima que la proporción de hogares que viven en viviendas de tierra en todo el mundo es del 8% al 10%, y el promedio en los países del sur global es del 20% al 25%. Existiendo una correlación negativa entre el nivel de desarrollo de los países y la prevalencia de viviendas de tierra (Marsh, & Kulshreshtha, 2022).

Hay diversidad de factores que han llevado a una disminución tanto en la demanda como en la oferta de este material en la industria de la construcción a nivel mundial. Sin embargo, como

evidencian algunos estudios científicos, la falta de conocimiento de los beneficios y de técnicas constructivas adecuadas que permitan brindar a la construcción en tierra una mayor resistencia y durabilidad, son las razones básicas de la aparente infrautilización de la tierra como en distintos contextos (Nwaki, & Eze, 2022).

Dado que las viviendas de tierra de alta calidad pueden ser una contribución transversal para garantizar una vivienda adecuada, mejorar los resultados de salud y mitigar el cambio climático. Es prioritario implementar mecanismos a fin de promocionar este material de construcción, para ello es necesario: implementación y desarrollo de mejoras asequibles y de alta calidad a las viviendas de tierra existentes que se encuentran en mal estado, construcción de viviendas de tierra de alta calidad a pequeña escala que permita apreciar las ventajas y el potencial de este material, creación de módulos de arquitectura de tierra enseñados en escuelas de construcción y universidades; así como, desarrollo de manuales instructivos y estándares nacionales, que cubran una variedad de técnicas de construcción con tierra y formas arquitectónicas.

3. RESULTADOS Y DISCUSIONES

3.1. Polímeros orgánicos una alternativa para mejorar la calidad de la construcción en tierra.

Muchos de las edificaciones en tierra (hechos de suelo sin estabilizantes y elementos constructivos adecuados) suelen ser vulnerables al agua y a las cargas sísmicas (Chang et al., 2015). Para ser competitivos en la construcción moderna, las propiedades mecánicas y de durabilidad de los materiales de tierra necesitan alcanzar rangos comparables a otros materiales empleados para la edificación de viviendas con estándares contemporáneos.

Para lograrlo la estabilización de suelos ha sido un importante mecanismo para mejorar las características desfavorables. Históricamente, la estabilización se lograba mediante el uso de diferentes tipos de biopolímeros (almidones, celulosa, polisacáridos, etc.) incorporados a la matriz de tierra (Losini et al., 2021).

Los biopolímeros se producen a partir de organismos vivos y pueden tener características y propiedades muy diferentes según su origen vegetal o animal. De forma general los polímeros orgánicos añadidos como estabilizantes comúnmente tienen como objetivo reducir la aparición de las grietas por contracción, la estabilización contra la erosión del agua, la mejora de las fuerzas de unión, el incremento de la resistencia a la compresión y tracción, la resistencia a la abrasión, el incremento del aislamiento térmico o la mejora de sus cualidades estéticas (Nakamatsu et al., 2017).

El interés y la importancia de los polímeros naturales en la construcción de edificios está aumentando notablemente con la difusión y aceptación de la conciencia ambiental. En consecuencia, los biopolímeros naturales están recibiendo una gran atención como materiales de construcción sostenibles y ecoeficientes (Nakamatsu et al., 2017). Estos han sido estudiados ampliamente para optimizar las propiedades de la tierra como material de construcción.

Los biopolímeros se obtienen de fuentes naturales renovables reduciendo la dependencia de los combustibles fósiles con la consiguiente reducción de las emisiones de dióxido de carbono. A continuación, se detallan brevemente algunos trabajos recientes sobre la influencia de algunos polímeros en la estabilización de la tierra:

Almidón: La adición de varias concentraciones de hidrogel de almidón retrogradado (2.5, 5, 7.5 y 10%) de diferentes tratamientos térmicos (3 o 5 h) tiende a aumentar la resistencia a la compresión del compuesto de arcilla hasta en un 80% (Trambitski et al., 2023).

Carragenina: Tanto la durabilidad frente agua como la resistencia mecánica mejoraron cuando se incorporó este polímero. La evaluación física mostró que la carragenina brinda protección contra el agua a las muestras tratadas en términos de permeabilidad y resistencia a la erosión. Los resultados de las pruebas mecánicas también muestran una mejora considerable en la resistencia a la tracción y la compresión cuando se incorpora el bioaditivo durante el proceso de fabricación de bloques (Nakamatsu et al., 2017).

Alginato: La adición de alginato aumenta la resistencia a la compresión de 2,23 a 3,77 MPa, si se combina con fibra de lana aumenta la resistencia a la compresión en un 37%. Es decir, añadiendo alginato y reforzando con fibra de lana se duplica la resistencia a la compresión del suelo.

Gomas gelan y xantana: Tanto los suelos tratados con goma xantana al 1 % como con goma gelán al 1 % muestran valores de resistencia a la compresión más altos que las muestras mezclado con cemento al 10 %. La resistencia del suelo mezclado con 1% de goma xantana fue de 6,31 MPa, que es más de 2,3 veces mayor que la del suelo mezclado con 10% de cemento Portland ordinario (es decir, 2,65 MPa). Un estudio anterior muestra que el 0,5 % de goma xantana en la mezcla de suelo podría aumentar su resistencia por encima del nivel del suelo mezclado con un 10 % de cemento. Esto significa que se necesitarían 100 kg de cemento (10 % del suelo) o 5 kg de goma xantana (0,5 % del suelo) para hacer 1 tonelada de suelo con una resistencia superior a 2,5 MPa (Chang et al., 2015).

Fibras vegetales: Sharma y sus colegas publicaron varios trabajos con fibras naturales como *Grewia Optiva* y *Pinus Roxburghii*, a fin de mejorar la durabilidad de las viviendas en tierra, obteniendo como resultado un aumento notable tanto en la resistencia mecánica como en la durabilidad (Sharma et al., 2015; Sharma et al., 2016). Así mismo, otros trabajos de investigación han demostrado que la contracción higrométrica y su agrietamiento asociado en materiales a base de tierra pueden reducirse en gran medida mediante la introducción de fibras (Galán et al., 2013).

4. CONCLUSIONES

En diferentes contextos, los sistemas de construcción en tierra están asociados con la pobreza y son ampliamente considerados como un material para los pobres. Sin embargo, se puede argumentar que el problema no se encuentra en las tecnologías de construcción en tierra en sí mismas, sino en la mala calidad de construcciones existentes; y, por el uso inadecuado de este material o el desconocimiento de mecanismos que permitan la construcción de estructuras en tierra de alta calidad (como es el caso del uso de biopolímeros).

Ello ha conllevado, al desprestigio de este noble material de construcción, con la consecuente disminución tanto en la demanda como en la oferta, en la industria de la construcción a nivel mundial. Por tal motivo, es necesaria la promoción de los beneficios de la construcción con tierra; y por ende de técnicas constructivas adecuadas que ofrezcan una mayor resistencia y durabilidad. Los numerosos estudios sobre la aplicación de polímeros naturales para optimizar las propiedades de la tierra para su uso en la construcción, señalan el potencial de estos recursos como aditivos para mejorar significativamente las cualidades de las construcciones en tierra. Tal es así que, las viviendas de tierra de alta calidad pueden ser una contribución eficaz para garantizar una vivienda adecuada, mejorar las condiciones de salud de las poblaciones y mitigar el cambio climático.

Los materiales de construcción sostenibles, como es la tierra, no solo producen edificios de bajo impacto ambiental, sino que también mejoran la calidad de vida de las personas. Finalmente, los beneficios de este material abarcan las esferas ambiental, financiera y social.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Assaf, S. A., Bubshaitr, A. A., & Al-Muwasheer, F. (2010). Factors affecting affordable housing cost in Saudi Arabia. *International Journal of Housing Markets and Analysis*, 3(4), 290-307.
- Adegun, O. B., & Adedeji, Y. M. D. (2017). Review of economic and environmental benefits of earthen materials for housing in Africa. *Frontiers of Architectural Research*, 6(4), 519-528.
- Bertino, G., Kisser, J., Zeilinger, J., Langergraber, G., Fischer, T., & Österreicher, D. (2021). Fundamentals of building deconstruction as a circular economy strategy for the reuse of construction materials. *Applied sciences*, 11(3), 939.
- Chang, I., Jeon, M., & Cho, G. C. (2015). Application of microbial biopolymers as an alternative construction binder for earth buildings in underdeveloped countries. *International journal of polymer science*, 2015, 1-9.
- Galán-Marín, C., Rivera-Gómez, C., & Bradley, F. (2013). Ultrasonic, molecular and mechanical testing diagnostics in natural fibre reinforced, polymer-stabilized earth blocks. *International Journal of Polymer Science*, 2013.
- Kulkarni, O., Jakhar, S., & Hudnurkar, M. (2014). A comparative study of relation between the national housing & building material cost and economic gap in India. *Procedia Economics and Finance*, 11, 695-709.
- Kulshreshtha, Y., Vardon, P. J., Du, Y., Habert, G., Vissac, A., Morel, J. C., ... & Jonkers, H. M. (2022). Biological stabilisers in earthen construction: a mechanistic understanding of their response to water-ingress. *Construction Technologies and Architecture*, 1, 529-539.
- Losini, A. E., Grillet, A. C., Bellotto, M., Woloszyn, M., & Dotelli, G. (2021). Natural additives and biopolymers for raw earth construction stabilization—a review. *Construction and Building Materials*, 304, 124507.
- Marsh, A. T., & Kulshreshtha, Y. (2022). The state of earthen housing worldwide: how development affects attitudes and adoption. *Building Research & Information*, 50(5), 485-501.
- Morel, J. C., Charef, R., Hamard, E., Fabbri, A., Beckett, C., & Bui, Q. B. (2021). Earth as construction material in the circular economy context: practitioner perspectives on barriers to overcome. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 376(1834), 20200182.
- Muguda-Viswanath, Sravan (2019) Biopolymer Stabilised Earthen Construction Materials, Durham theses, Durham University. Available at Durham E-Theses Online: <http://etheses.dur.ac.uk/13444/>

- Nakamatsu, J., Kim, S., Ayarza, J., Ramírez, E., Ellegren, M., & Aguilar, R. (2017). Eco-friendly modification of earthen construction with carrageenan: Water durability and mechanical assessment. *Construction and Building Materials*, 139, 193-202.
- Nwaki, W., & Eze, E. (2022). Rejuvenating the Market for Earth-Based Building Construction Materials in a Developing Economy. *Civil and Sustainable Urban Engineering*, 2(2), 110-127.
- Sharma, V., Vinayak, H. K., & Marwaha, B. M. (2015). Enhancing compressive strength of soil using natural fibers. *Construction and Building Materials*, 93, 943-949.
- Sharma, V., Marwaha, B. M., & Vinayak, H. K. (2016). Enhancing durability of adobe by natural reinforcement for propagating sustainable mud housing. *International Journal of Sustainable Built Environment*, 5(1), 141-155.
- Trambitski, Y., Kizinievič, O., & Kizinievič, V. (2022). Modification of clay materials with retrograded starch hydrogel. *Construction and Building Materials*, 314, 125619.
- Trambitski, Y., Kizinievič, O., & Kizinievič, V. (2023). The influence of modified biopolymer on mechanical, hygrothermal properties and durability of ecological clay materials. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 2423, No. 1, p. 012004). IOP Publishing.
- Zami, M. S., & Lee, A. (2011). Inhibitors of adopting stabilised earth construction to address urban low-cost housing crisis: An understanding by construction professionals. *Journal of Building Appraisal*, 6, 227-240.