



*Identificación de materiales alternativos y sostenibles utilizados en la construcción de vivienda social en Manabí*

*Identification of alternative and sustainable materials used in the construction of social housing in Manabí*

*Identificação de materiais alternativos e sustentáveis utilizados na construção de habitação social em Manabí*

Luis Alberto Cobacango Schettini <sup>I</sup>  
[lualcosc95@gmail.com](mailto:lualcosc95@gmail.com)  
<https://orcid.org/0009-0001-1030-2913>

María Gertrudys Alcívar Loor <sup>II</sup>  
[maria.alcivar@utm.edu.ec](mailto:maria.alcivar@utm.edu.ec)  
<https://orcid.org/0000-0002-0776-4666>

María Giuseppina Vanga Arvelo <sup>III</sup>  
[maria.vanga@utm.edu.ec](mailto:maria.vanga@utm.edu.ec)  
<https://orcid.org/0000-0003-0143-8381>

**Correspondencia:** [lualcosc95@gmail.com](mailto:lualcosc95@gmail.com)

Ciencias Técnicas y Aplicadas  
Artículo de Investigación

\* **Recibido:** 26 de octubre de 2024 \* **Aceptado:** 24 de noviembre de 2024 \* **Publicado:** 26 de diciembre de 2024

- I. Universidad Técnica de Manabí, Ecuador.
- II. Universidad Técnica de Manabí, Ecuador.
- III. Universidad Técnica de Manabí, Ecuador.



## Resumen

La creciente necesidad de viviendas sociales en la provincia de Manabí, Ecuador, plantea un desafío significativo para la sostenibilidad ambiental. Las construcciones convencionales generan un alto impacto ambiental debido al uso de materiales no renovables y procesos industriales contaminantes. En este contexto, el uso de materiales alternativos y sostenibles emerge como una solución viable para reducir la huella ambiental y promover el desarrollo de viviendas accesibles. Este artículo revisa la literatura existente sobre los principales materiales sostenibles aplicados en la construcción de viviendas sociales en Manabí, incluyendo la caña guadua, el ladrillo ecológico, la madera, el cáñamo y los bloques de tierra comprimida. El objetivo principal es identificar los beneficios y desafíos asociados a estos materiales, así como proporcionar recomendaciones para su aplicación efectiva en la construcción de viviendas sociales sostenibles. La metodología utilizada fue una revisión documental basada en fuentes de datos confiables como artículos científicos, tesis e informes, seleccionados por su relevancia y rigor académico. Los principales hallazgos destacan que la caña guadua es un material resistente y económico con bajo impacto ambiental, aunque su uso enfrenta barreras culturales y técnicas. Los ladrillos ecológicos y los bloques de tierra comprimidos ofrecen soluciones económicas y sostenibles, pero su limitada disponibilidad y falta de estandarización presentan desafíos. La madera y el cáñamo, por su parte, destacan por sus propiedades térmicas y estructurales, aunque requieren una mayor industrialización y capacitación técnica. Se concluye que la adopción de materiales alternativos es crucial para enfrentar los retos de sostenibilidad en la construcción de viviendas sociales en Manabí, y se recomienda fomentar programas de capacitación, investigación y producción local para maximizar su efectividad.

**Palabras Clave:** construcción sostenible; construcción de vivienda social; materiales alternativos de construcción; sostenibilidad en construcción de viviendas; vivienda social sostenible.

## Abstract

The growing need for social housing in the province of Manabí, Ecuador, poses a significant challenge to environmental sustainability. Conventional constructions generate a high environmental impact due to the use of non-renewable materials and polluting industrial processes. In this context, the use of alternative and sustainable materials emerges as a viable solution to reduce the environmental footprint and promote the development of affordable housing. This

article reviews the existing literature on the main sustainable materials applied in the construction of social housing in Manabí, including guadua cane, ecological brick, wood, hemp and compressed earth blocks. The main objective is to identify the benefits and challenges associated with these materials, as well as to provide recommendations for their effective application in the construction of sustainable social housing. The methodology used was a documentary review based on reliable data sources such as scientific articles, theses and reports, selected for their relevance and academic rigor. The main findings highlight that guadua cane is a resistant and economic material with low environmental impact, although its use faces cultural and technical barriers. Eco-bricks and compressed earth blocks offer economical and sustainable solutions, but their limited availability and lack of standardization present challenges. Wood and hemp, on the other hand, stand out for their thermal and structural properties, although they require greater industrialization and technical training. It is concluded that the adoption of alternative materials is crucial to face the challenges of sustainability in the construction of social housing in Manabí, and it is recommended to promote training, research and local production programs to maximize their effectiveness.

**Keywords:** sustainable construction; social housing construction; alternative construction materials; sustainability in housing construction; sustainable social housing.

## Resumo

A crescente necessidade de habitação social na província de Manabí, no Equador, representa um desafio significativo para a sustentabilidade ambiental. As construções convencionais geram um elevado impacto ambiental devido à utilização de materiais não renováveis e processos industriais poluentes. Neste contexto, a utilização de materiais alternativos e sustentáveis surge como uma solução viável para reduzir a pegada ambiental e promover o desenvolvimento de habitações acessíveis. Este artigo faz uma revisão da literatura existente sobre os principais materiais sustentáveis aplicados na construção de habitações sociais em Manabí, incluindo a cana-de-guadua, o tijolo ecológico, a madeira, o cânhamo e os blocos de terra comprimida. O principal objetivo é identificar os benefícios e desafios associados a estes materiais, bem como fornecer recomendações para a sua aplicação eficaz na construção de habitações sociais sustentáveis. A metodologia utilizada foi uma revisão documental baseada em fontes de dados fidedignas como artigos científicos, teses e relatórios, selecionados pela sua relevância e rigor académico. As principais conclusões realçam que a cana-guadua é um material resistente, económico e de baixo impacto

ambiental, embora a sua utilização enfrente barreiras culturais e técnicas. Os tijolos ecológicos e os blocos de terra compactada oferecem soluções económicas e sustentáveis, mas a sua disponibilidade limitada e a falta de normalização apresentam desafios. A madeira e o cânhamo, por sua vez, destacam-se pelas suas propriedades térmicas e estruturais, embora exijam uma maior industrialização e formação técnica. Conclui-se que a adoção de materiais alternativos é crucial para enfrentar os desafios da sustentabilidade na construção de habitações sociais em Manabí, sendo recomendado promover programas de formação, investigação e produção local para maximizar a sua eficácia.

**Palavras-chave:** construção sustentável; construção de habitação social; materiais de construção alternativos; sustentabilidade na construção de habitação; habitação social sustentável.

### Introducción

La construcción sostenible, en el contexto de la vivienda social, se distingue por su compromiso con el medio ambiente y su enfoque en la eficiencia de los recursos, así como en la reducción de impactos ambientales. Esta perspectiva no se limita a las estructuras de vivienda en sí, sino que también abarca cómo estas viviendas se integran en entornos urbanos. El objetivo del desarrollo urbano sostenible es crear comunidades que respeten el medio ambiente y proporcionen condiciones de vida óptimas para sus habitantes, incluso en el ámbito de la vivienda social (Ramírez, 2002a).

Es esencial priorizar la adopción de materiales sostenibles y la utilización de procesos constructivos basados en productos y energías renovables. En un mundo que continúa experimentando un crecimiento demográfico constante, el agotamiento de los recursos naturales y su impacto en las futuras generaciones se convierten en preocupaciones inminentes (*id.*).

En Ecuador, al igual que en otros países de América Latina, la vivienda social se ha diseñado a menudo para abordar necesidades inmediatas de muchas familias, sin considerar plenamente las condiciones climáticas locales ni la disponibilidad de materiales sostenibles. Esto requiere un enfoque adaptado a la región que considere tanto el bienestar de los habitantes como la reducción del impacto ambiental. Es esencial abordar esta problemática, ya que la industria puede tener efectos negativos en el medio ambiente debido al consumo de recursos y a la contaminación resultante (Delgado-Gutiérrez *et al.*, 2022). Según la Organización de Naciones Unidas (ONU), el

proceso de construcción de edificios genera el 38% del total de las emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas con la energía (CCQ, 2023).

Uno de los aspectos fundamentales en la búsqueda de soluciones habitacionales sostenibles es la selección de materiales ecológicos y su implementación en la construcción de viviendas de interés social (VIS). La construcción sostenible abarca todo el ciclo de vida de una edificación, desde su diseño hasta su finalización, teniendo en cuenta consideraciones ambientales, culturales y económicas. En este contexto, se enfatiza la utilización de materiales que sean capaces de reponerse en la naturaleza de manera eficiente y que minimicen los impactos ambientales asociados a su producción y uso. Estos materiales sostenibles no solo son respetuosos con el medio ambiente, sino que también evitan la presencia de tóxicos artificiales que puedan afectar la salud de los habitantes de las viviendas (Moreira, Toala & Loor, 2019).

Al hablar sobre materiales que sean ecológicos, económicamente viables y amigables con el medio ambiente, se hace referencia a los materiales sostenibles; estos ayudan a satisfacer las diversas necesidades que afectan a la humanidad sin generar impactos negativos en el ambiente y optimizando los recursos naturales (Silva & Zumaran, 2021).

Diversas investigaciones se han centrado en el uso de materiales alternativos en la construcción de viviendas. Un estudio reciente realizado por Sornoza y otros autores (2022), proporciona una revisión de estos materiales empleados en la construcción en Ecuador. La investigación se centró en determinar los principales materiales alternativos utilizados en el país, clasificándolos en las categorías de materiales naturales u orgánicos y materiales combinados de naturales con inorgánicos. Entre los materiales naturales se incluyen la tierra, la madera, la tapia, el adobe, el bahareque, los bambúes y la caña guadua. Por otro lado, los materiales combinados incluyen bloques o ladrillos fabricados con elementos naturales en combinación con desechos inorgánicos como el plástico. El estudio concluye que el desafío de las nuevas construcciones radica en la incorporación de materiales ecoamigables que promuevan prácticas más sustentables en la industria de la construcción, considerando la calidad y el precio para lograr competitividad.

Los autores Alcívar, Torres y Panchana (2023), destacan la urgencia de abordar el crecimiento poblacional acelerado y su impacto ambiental negativo, especialmente en el contexto de la necesidad de viviendas. Su investigación se basó en analizar la huella de carbono de la construcción tradicional en comparación con un enfoque alternativo que emplea madera de Manabí como material estructural para viviendas de interés social en Chone. Los resultados revelaron una huella

de carbono significativamente menor para el enfoque alternativo, lo que sugiere su viabilidad como una opción más sostenible desde el punto de vista ambiental.

Por otro lado, Malavé y Jativa (2023) abordan la problemática del sector de la construcción, destacando su impacto negativo en el consumo de recursos naturales y las emisiones de CO<sub>2</sub>. El estudio se enfocó en identificar materiales de construcción sostenibles y sustentables en la provincia de Santa Elena, Ecuador, con el objetivo de fomentar el desarrollo sostenible y reducir el impacto ambiental. Mediante una investigación documental y visitas de sitio, identificaron materiales alternativos como el bambú, bloques de arcilla y paneles de yeso, cuya producción local contribuye a la economía regional. Además, mediante análisis presupuestario, demostraron una reducción significativa de costos en la construcción de viviendas utilizando estos materiales ecoamigables. Concluyen que el uso de materiales alternativos en la construcción ofrece beneficios ambientales y económicos, y sugieren investigaciones futuras para evaluar el impacto a largo plazo y explorar nuevas tecnologías para su producción.

La construcción convencional a menudo utiliza materiales que tienen un alto impacto ambiental debido a su extracción y transporte, y a su transformación energéticamente costosa. Además, la incorporación de sustancias químicas en estos materiales sin considerar las consecuencias ambientales puede perjudicar tanto a los ecosistemas como a la salud humana (Hernández-Zamora, Jiménez-Martínez & Sánchez-Monge, 2021). El sector de la construcción es uno de los principales sectores que emiten CO<sub>2</sub> con el proceso constructivo de la vivienda convencional, así como también los materiales que se utilizan y el proceso de fabricación de los mismos, generando un alto impacto ambiental (Palomino & Zamora, 2021). El acelerado crecimiento poblacional y la creciente necesidad de vivienda han contribuido significativamente al deterioro ambiental y sus graves consecuencias en todos los aspectos de la vida (Vanga *et al.*, 2021).

En Ecuador, se está empezando a investigar de manera incipiente nuevas propuestas que promuevan la sostenibilidad ecológica, ofreciendo así una alternativa al problema habitacional que enfrenta la nación. En este mercado, además de buscar proporcionar viviendas de mayor calidad, se busca integrar la participación de la comunidad, considerar la pertinencia cultural y priorizar la sostenibilidad ambiental dentro de un marco ético de cuidado. La idea es crear viviendas que sean holísticas, utilizando materiales naturales, locales, saludables y respetuosos con el medio ambiente (Garzón, 2015). Es por ello que esta investigación pretende analizar, mediante el estudio de la literatura existente, los materiales alternativos y sostenibles utilizados en la construcción de

vivienda social en Manabí, con el fin de identificar los beneficios y desafíos asociados a esta práctica y proporcionar recomendaciones para su aplicación efectiva.

La urgente necesidad de resolver el déficit de vivienda social en la provincia de Manabí, Ecuador, ha puesto de manifiesto el impacto ambiental que genera la construcción tradicional. El uso de materiales no renovables y los procesos industriales convencionales no solo incrementan la huella ecológica, sino que también agotan los recursos naturales, afectando la sostenibilidad a largo plazo. En este contexto, resulta imperativo explorar soluciones constructivas que armonicen con el entorno, utilizando materiales alternativos que reduzcan el consumo energético, las emisiones de CO<sub>2</sub> y los residuos generados durante el proceso de edificación. La identificación y el análisis de estos materiales emergen como una respuesta necesaria para enfrentar los desafíos ambientales y sociales que plantea la construcción masiva de viviendas para poblaciones vulnerables.

Esta investigación se justifica no solo por la urgencia de proponer alternativas más ecológicas en la construcción de vivienda social, sino también por su potencial para transformar las prácticas constructivas en la región. Al integrar materiales sostenibles como la caña guadua, el ladrillo ecológico, la madera, el cáñamo y los bloques de tierra comprimida, es posible reducir significativamente el impacto ambiental de la industria de la construcción y generar modelos habitacionales más accesibles y respetuosos con el medio ambiente. Además, este estudio busca sentar las bases para la implementación de políticas públicas que promuevan la adopción de estos materiales, fomentando así una cultura de sostenibilidad que involucre a las comunidades locales en el desarrollo y la preservación de sus entornos.

## **METODOLOGÍA**

Para este estudio se aplicará una investigación documental, definida como una técnica de investigación exploratoria y analítica, que se utiliza para recopilar información relevante sobre un tema específico a partir de fuentes documentales (Acosta, 2023). En este caso, sirvió para comprender la implementación de tecnologías sostenibles en la construcción de vivienda social. Esta aproximación permite examinar críticamente la literatura científica y académica relacionada con el tema, identificar tendencias, analizar experiencias previas y generar conocimiento significativo para el estudio.

Las fuentes de información seleccionadas para la investigación se limitaron a artículos científicos publicados en revistas académicas, tesis de grado y libros oficiales publicados entre los años 2002



y 2024. Esta selección se basó en la relevancia y la rigurosidad académica de dichas fuentes, asegurando la calidad y la confiabilidad de la información recopilada para el análisis.

Para llevar a cabo el estudio, su primera fase consistió en el arqueo de fuentes, donde se realizará una selección inicial del material relevante relacionado con la implementación de tecnologías sostenibles en la construcción de vivienda social. Posteriormente, se llevará a cabo una revisión para descartar el material poco útil a los objetivos de la investigación. Luego, se procederá al cotejo y comparación del material seleccionado para obtener citas textuales y referencias que sustenten las interpretaciones del estudio. La interpretación del material se realizará mediante un análisis crítico, donde se formularán interpretaciones y deducciones sobre la viabilidad y efectividad de estas tecnologías.

Finalmente, se extraerán conclusiones, recogiendo los puntos importantes y su posible significado en el contexto de la construcción de vivienda social con enfoque sostenible. Se evaluarán los beneficios del uso de los materiales estudiados en términos de sostenibilidad ambiental. Se examinan aspectos como la reducción del impacto ambiental, la eficiencia energética, la gestión de recursos naturales y durabilidad. Se identificarán los desafíos asociados al uso de materiales alternativos y sostenibles en la construcción de vivienda social, considerando aspectos técnicos, normativos y socioeconómicos. Finalmente, se proponen estrategias y medidas específicas para la implementación efectiva de materiales alternativos y sostenibles en la construcción de vivienda social en Manabí.

La selección de los cinco materiales – caña guadua, ladrillo ecológico, madera, cáñamo y bloques de tierra comprimida (BTC) – se fundamenta en su disponibilidad local, su bajo impacto ambiental y su potencial para ofrecer soluciones sostenibles en la construcción de vivienda social en Manabí. Estos materiales no solo son renovables, sino que también cuentan con propiedades técnicas que los hacen aptos para enfrentar los retos estructurales y climáticos de la región. La caña guadua, por ejemplo, destaca por su resistencia mecánica y capacidad de absorción de carbono, mientras que el ladrillo ecológico, elaborado con materiales reciclados, reduce significativamente las emisiones contaminantes en su fabricación, al tiempo que proporciona un aislamiento térmico y acústico eficiente.

Cada uno de estos materiales fue escogido por sus ventajas específicas en términos de sostenibilidad y viabilidad económica. La madera, ampliamente disponible en la región, es un material versátil que combina ligereza y resistencia, lo que facilita la construcción rápida y

eficiente. El cáñamo, por su parte, es reconocido por su capacidad de aislamiento térmico y por su contribución a la captura de CO<sub>2</sub>, mientras que los bloques de tierra comprimida (BTC) ofrecen una opción económica y accesible, con un bajo costo de producción y excelentes propiedades térmicas. Al considerar estos factores, la investigación busca integrar estas soluciones en la construcción de viviendas sociales, no solo para reducir el impacto ambiental, sino también para ofrecer opciones habitacionales con materiales más accesibles y sostenibles para la población vulnerable de Manabí.

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

Una de las ventajas fundamentales de utilizar materiales sostenibles en la construcción de viviendas es la capacidad de aprovechar los recursos disponibles en la región (Silva & Zumaran, 2021). La integración de materiales alternativos en la construcción es esencial para desarrollar viviendas ecoamigables y reducir la huella ambiental. La investigación de materiales sostenibles y la adopción de nuevas técnicas constructivas ofrecen la oportunidad de mitigar el cambio climático y promover un futuro más sostenible (Zairul & Zaremohzzabieh, 2023).

Los materiales seleccionados para este estudio fueron elegidos debido a su potencial para abordar los desafíos específicos de la construcción de vivienda social en la región de Manabí. La caña guadua, el ladrillo ecológico, la madera, el cáñamo y los bloques de tierra comprimida fueron seleccionados por su disponibilidad local, su bajo impacto ambiental y su capacidad para proporcionar soluciones viables y sostenibles en términos de costo y eficiencia energética. A continuación, la recopilación de los datos de cada uno de los materiales.

### **1. Caña Guadua**

La descripción de la familia botánica de la guadua abarca una amplia variedad de especies que poseen gran relevancia y múltiples aplicaciones. La caña guadua, un material ampliamente utilizado en diversas construcciones, es especialmente común en regiones tropicales. Debido a su resistencia a ciertos tipos de fuerzas, se le conoce como el acero vegetal, lo que lo convierte en una opción atractiva por su capacidad para resistir movimientos sísmicos (Cevallos, 2020).

El estado actual del uso de la caña guadua en la construcción de vivienda social en Manabí muestra un creciente interés y reconocimiento de este material como una opción viable y sostenible. Se han llevado a cabo estudios de viabilidad, como el de Monge y Polanco (2021), para evaluar su

implementación en la parroquia Picoazá en Manabí. Dicho estudio subraya la efectividad de la caña guadua para la construcción de viviendas, destacando sus propiedades óptimas para la edificación a partir de sus características técnicas que lo hace un material viable en este tipo de construcciones. La caña guadua presenta numerosos beneficios en términos de sostenibilidad ambiental. Como recurso renovable, su cultivo y utilización tienen un bajo impacto ambiental en comparación con materiales convencionales como el hormigón. Además, su capacidad para absorber dióxido de carbono durante su crecimiento contribuye a la reducción de gases de efecto invernadero. Su versatilidad y durabilidad también permiten una amplia gama de aplicaciones en la construcción (Delgado, 2017b).

En el estudio realizado por La Tegola y otros (2016), se determinan las propiedades mecánicas de la caña Guadua cuando está sometida a fuerzas axiales y demuestra que la resistencia a la compresión es de aproximadamente 39.58 MPa, lo que equivale a 403.61 kg/cm<sup>2</sup>. Comparado con la resistencia del hormigón común de 280 kg/cm<sup>2</sup>, esto indica que la caña guadua es aproximadamente 1.44 veces más resistente que el hormigón común.

En otro estudio realizado por Sapuyes y otros (2018), la resistencia a la flexión de la caña guadua se sitúa alrededor de los 13.85 MPa, mientras que su módulo de elasticidad alcanza aproximadamente los 15483 MPa. Estos valores resaltan aún más la robustez y versatilidad de este material en aplicaciones estructurales y de construcción, brindando una opción sostenible y resistente para diversos proyectos arquitectónicos y de ingeniería. En cuanto a las propiedades térmicas, es de 0.15 W/mK (Elizondo-Mata *et al.*, 2015).

En la costa ecuatoriana, una caña de seis metros de largo tiene un costo al por mayor de \$1,00 por unidad, mientras que una correa de hierro de 10 cm de ancho y seis metros de largo tiene el valor de \$20,00 por unidad. Esta diferencia de precios muestra la ventaja económica de la caña guadua en comparación con materiales convencionales como el hierro, lo que la convierte en una opción atractiva para la construcción de vivienda social en áreas con recursos limitados (Delgado, 2017b). La caña guadua destaca por su bajo impacto ambiental en términos de emisiones de CO<sub>2</sub>. En su producción, se genera aproximadamente 0.225 kg de CO<sub>2</sub>, lo cual es considerablemente bajo en comparación con otros materiales de construcción (Ecohabitar, 2023).

A pesar de sus ventajas, la construcción con caña guadua enfrenta desafíos técnicos significativos. La técnica constructiva requiere de mano de obra especializada y demanda tiempo, lo que puede aumentar el costo. La falta de conocimientos técnicos en la comunidad profesional y la escasez de

infraestructura de producción dificultan la industrialización y la implementación a gran escala de esta técnica constructiva. Además, la asociación cultural del material con la pobreza y la falta de confianza en métodos constructivos no convencionales que no sean basados en hormigón pueden obstaculizar su aceptación y adopción en la industria de la construcción.

Para promover la construcción de vivienda social utilizando caña guadua, se pueden implementar diversas estrategias. Esto incluye el desarrollo de proyectos sostenibles a largo plazo que integren la caña en diseños innovadores y eficientes desde el punto de vista energético. Además, la capacitación de mano de obra especializada y la creación de programas de educación y concienciación sobre los beneficios ambientales y socioeconómicos de la caña guadua pueden ayudar a superar las barreras técnicas y culturales asociadas con su uso en la construcción de vivienda social.

## **2. Ladrillo ecológico**

Los ladrillos ecológicos se caracterizan por su composición de materiales que no causan daño ambiental y su proceso de fabricación es amigable con el entorno, a diferencia de los ladrillos convencionales cuya producción y componentes pueden tener un impacto negativo en el medio ambiente (Zambrano & Zambrano, 2018).

Un ejemplo del uso actual de este tipo de ladrillo elaborado con plástico reciclado se encuentra en la ciudad de Manta, Manabí. En el año 2020 se inauguró la primera aula construida con ladrillos de plástico reciclado, marcando un hito en la construcción sostenible. Con la participación de 335 estudiantes de la Unidad Educativa Santa Marianita, se recolectaron 18,000 botellas plásticas para obtener 900 bloques, transformando residuos en recursos. Esta iniciativa, liderada por Petroecuador y Tritubot, no solo contribuyó a la conservación del entorno natural, sino que también concientizó sobre la importancia del reciclaje. La unidad educativa promovió la campaña Construye y no destruye, destacando su compromiso con la sostenibilidad. Además de su impacto ambiental positivo, el aula equipada con diez computadoras ofrece a los estudiantes acceso a la tecnología necesaria para su formación. Petroecuador resalta que esta iniciativa no solo ayudó a construir el aula, sino que también evitó que las botellas plásticas contaminaran el mar (Espinoza, 2020).

Los ladrillos ecológicos tienen muchos beneficios ya que son fundamentales en la arquitectura sostenible. Aunque el término abarca una variedad de opciones, cada una con sus propias características y beneficios, comparten ciertas ventajas ambientales (Isan, 2024).

El proceso de fabricación es sostenible. Su endurecimiento se logra mediante prensado y fraguado, sin necesidad de cocción, lo que elimina la emisión de gases contaminantes asociados con la producción de ladrillos convencionales en hornos. Mientras que un ladrillo tradicional requiere hasta 40 días de cocción en el horno, el ladrillo ecológico se fragua en aproximadamente siete días, lo que reduce significativamente el tiempo y los costos de producción. En términos económicos, un ladrillo ecológico resulta entre un 25% y un 40% más económico que su contraparte tradicional (Zambano & Zambrano, 2018).

Estos ladrillos son sismorresistentes, ya que, durante el proceso de construcción, se permite la fundición de mini columnas cada metro de distancia desde los cimientos hasta la viga de amarre. Esta técnica garantiza una estructura sólida y robusta. Los ladrillos interconectados optimizan el desempeño mecánico estructural y disminuyen los efectos ambientales en comparación con los ladrillos tradicionales (Zhang & Biswas, 2021).

Ofrecen beneficios térmicos y acústicos. La clave radica en el entrelazado de los huecos, lo que facilita la transferencia de ventilación a través de los tubos formados. Esto permite conservar el calor en climas fríos y disiparlo en climas cálidos. Además, estos tubos de ventilación también son eficaces para disipar el sonido. Los ladrillos interconectados aumentan la eficiencia mecánica estructural, acortan el tiempo de construcción, reducen los costos de mano de obra y mejoran el desempeño mecánico, convirtiéndolos en una opción ecoeficiente (*id.*).

Los mismos autores señalan que una vivienda edificada con este tipo de ladrillos resulta entre un 30% y 40% más económica que las construcciones convencionales. Esto se debe a que los ladrillos ecológicos están diseñados con una concepción arquitectónica integral, tanto externa como internamente. Como resultado, no es necesario aplicar revestimientos adicionales, sino que los acabados pueden aplicarse directamente sobre las paredes. Además, en el proceso de construcción, no se utiliza la mezcla tradicional de pegado entre ladrillos, lo que elimina la necesidad de "dilataciones innecesarias" y conlleva un ahorro en el consumo de materiales.

Los ladrillos ecológicos cuentan con la presencia de "tubos" entre ellos, que permiten la inserción de tuberías sin la necesidad de realizar cortes o romper paredes. Esto significa que el proceso de instalación de fontanería y electricidad puede llevarse a cabo de manera simultánea durante la construcción, lo que resulta en un considerable ahorro de tiempo (Vera, Rosales & Chauca, 2021). Son livianos. Debido a los huecos presentes en el ladrillo, las construcciones realizadas con estos son entre un 30% y 40% más livianas que aquellas hechas con ladrillos tradicionales. Mientras que

un ladrillo convencional pesa aproximadamente 9 libras, un ladrillo ecológico tiene un peso de alrededor de 4 libras. Esta característica facilita el transporte y manejo durante la construcción y reduce la carga estructural sobre la edificación (Zambrano & Zambrano, 2018).

En cuanto a los estudios hechos, existen varios tipos de ladrillos ecológicos, entre ellos están los de cenizas de carbón, que representan una buena solución para reutilizar las cenizas producidas en las centrales térmicas de carbón. Aprovechando las altas temperaturas presentes en el proceso, estos ladrillos se fabrican de manera eficiente, ofreciendo una alternativa sostenible para la industria de la construcción (Isan, 2024).

El ladrillo ecológico elaborado con cañamo y paja ha sido adoptado por varias empresas españolas. A pesar de la percepción inicial de fragilidad debido a sus materiales, su resistencia es comparable a la de los ladrillos convencionales. Aunque su costo es más elevado, ofrecen un excelente aislamiento térmico, lo que resulta en un ahorro significativo en el consumo de energía para calefacción y aire acondicionado. Esta eficiencia energética permite amortizar rápidamente su precio inicial. Los ladrillos hechos con cañamo presentan beneficios ambientales, tales como la mejora de la calidad del aire, la reducción de la humedad y la capacidad de aislamiento térmico. (Alvites *et al.*, 2023).

Los ladrillos elaborados a partir de plástico reciclado y cáscaras de cacahuete son una innovación desarrollada por el Centro Experimental de la Vivienda Económica de Argentina. Se caracterizan por su resistencia, ligereza y capacidad aislante, además de ser una opción económica. Estos ladrillos no solo contribuyen al ahorro energético, sino que también promueven el reciclaje de residuos al utilizar materiales reutilizados en su fabricación (Zambrano & Zambrano, 2018).

En el estudio realizado por Reinoso y Vergara (2018) se elaboraron ladrillos ecológicos a base de polietileno que alcanzaron una resistencia a la compresión 3.81 MPa y una resistencia a la flexión de 1.72 MPa. Adicional, en el estudio de Cotrina y Lander (2023) mediante ensayos de laboratorio, se obtuvo un módulo de elasticidad de 4060 MPa. En cuanto a las propiedades térmicas, los ladrillos ecológicos producidos con residuos presentan 0.53 W/mk (Villaquirán-Caicedo *et al.*, 2021).

En términos de costo por unidad, el ladrillo ecológico se lo puede encontrar alrededor de los 60 centavos de dólar (Velásquez, 2024). En cuanto a las emisiones de CO<sub>2</sub>. El ladrillo ecológico se presenta como una alternativa innovadora y sostenible, ya que no solo es producido de manera

100% eco-amigable, sino que también tiene la capacidad de absorber emisiones contaminantes (Grupo Promesa, 2021).

En cuanto a los desafíos, una de las principales desventajas es su disponibilidad limitada en el mercado. Debido a su reciente introducción, en algunas áreas aún no son fácilmente accesibles y es necesario solicitarlos específicamente. Además, dado que son un producto relativamente nuevo, actualmente carecen de variedades decorativas comparables a los ladrillos convencionales, lo que limita las opciones para decorar fachadas, muros, jardines, entre otros aspectos arquitectónicos.

Relacionado a las estrategias y medidas, una posible solución para la disponibilidad limitada de los ladrillos ecológicos en el mercado sería promover su producción a mayor escala e incentivar a más empresas a incursionar en su fabricación. Se lograría con programas de capacitación sobre las ventajas de los ladrillos ecológicos y cómo pueden integrarse de manera efectiva en proyectos de construcción. Esto podría aumentar su demanda y motivar a más empresas a producirlos y distribuirlos en el mercado. Además, se podría trabajar en el desarrollo de tecnologías de producción más eficientes y económicas para reducir los costos de fabricación y hacer que los ladrillos ecológicos sean más accesibles.

### 3. Madera

La madera es un material constructivo con propiedades estructurales destacadas, siendo resistente, flexible y con una notable capacidad de absorción de energía y CO<sub>2</sub>, lo que la convierte en una opción ambientalmente amigable. Sus fibras naturales brindan resistencia comparable a elementos estructurales como la caña guadua, siendo útil en la construcción de diversos elementos como losetas, aglomerados, laminados, pisos, paredes y módulos, entre otros. Construir con madera es una alternativa prometedora para mitigar el cambio climático, ya que es un recurso renovable y ofrece diversos beneficios para disminuir las emisiones de carbono (Tupénaité *et al.*, 2023).

Actualmente la madera ha ganado protagonismo como una alternativa sostenible en la construcción, especialmente en áreas donde los recursos locales permiten su aprovechamiento. Un ejemplo de esto es el uso de madera proveniente de Manabí, Ecuador, en proyectos de viviendas sociales. Investigaciones recientes han demostrado que este material reduce significativamente la huella de carbono en comparación con los métodos constructivos tradicionales, generando hasta un 27.71% menos emisiones de CO<sub>2</sub>. Esto subraya su potencial no solo como una opción viable en términos económicos, sino también como una solución ecológica frente al aumento de

construcciones, mitigando el impacto ambiental sin sacrificar eficiencia estructural (Alcívar, Torres & Panchana, 2023).

Una de las principales ventajas de construir una casa de madera es su costo inferior en comparación con otras tecnologías de construcción. Esta ventaja no se limita únicamente al proceso de construcción, sino que también se extiende al mantenimiento. Las casas de madera, ya sea construidas en el lugar o prefabricadas, son estructuras más livianas, lo que significa que requieren obras preliminares y cimientos de menor dimensionamiento (Delgado, 2017a).

Estas características hacen que la madera sea una excelente opción para la construcción de vigas o columnas estructurales, resaltando su capacidad para disipar la energía sísmica. La madera en construcciones altas y comerciales, por ejemplo, mejora el rendimiento sísmico y físico del edificio (Zhang *et al.*, 2022). Además de estos beneficios, las construcciones con madera forman parte de la identidad de la vivienda tradicional y ancestral de la provincia. Es importante destacar la amplia disponibilidad de esta materia prima, especialmente en variedades de madera estructural como guayacán, laurel y caoba.

El tiempo de construcción es una ventaja significativa, ya que las casas de madera prefabricadas pueden erigirse en un período que va desde las dos semanas hasta los 40 días, siempre y cuando todas las instalaciones estén completamente preparadas, incluyendo electricidad, agua y gas. El material mismo ofrece otra ventaja destacada al actuar como un aislante acústico y térmico, lo que conlleva a una reducción en el consumo de energía (Delgado, 2017a).

En el estudio de Guerrero y Sánchez (2019), se destaca que, estructuralmente, la madera exhibe una resistencia a la compresión que varía entre 16 y 23 N/mm<sup>2</sup> (MPa), mientras que el hormigón armado presenta una resistencia que oscila entre 20 y 30 N/mm<sup>2</sup>. En términos de flexión, la madera tiene un rango de resistencia de 14 a 30 N/mm<sup>2</sup>, comparado con el hormigón que registra entre 1.5 y 5 N/mm<sup>2</sup>.

La madera de forma natural es buen aislamiento térmico y acústico en la construcción. Su conductividad térmica varía entre: 0.29 y 0.13 W/mK (Maderea, 2015). Presenta un módulo de elasticidad característico de aproximadamente 12160 MPa, lo que indica su capacidad para resistir deformaciones cuando se le aplica una carga. Este valor de elasticidad es uno de los factores que contribuyen a su desempeño estructural, haciendo de la madera un material versátil y confiable (Ramírez, 2002b). El costo de un tablón de madera es de aproximadamente \$10 (Madersec, 2024) y su producción tiene la ventaja de generar un saldo negativo en emisiones de CO<sub>2</sub> (Linn, 2019).



Pero las casas de madera también presentan desafíos. En primer lugar, la disponibilidad constante y sostenible de madera de calidad a precios accesibles puede ser un obstáculo. Además, las condiciones climáticas de la región, que incluyen altos niveles de humedad y la presencia de insectos xilófagos, plantean preocupaciones sobre la durabilidad y el mantenimiento de las estructuras de madera. Otro desafío importante radica en la necesidad de educar y capacitar a los profesionales de la construcción y a la comunidad local en las técnicas de construcción adecuadas y en el manejo responsable de la madera. Asimismo, garantizar que las viviendas construidas cumplan con las normativas y regulaciones locales y nacionales es fundamental para garantizar la seguridad y la calidad de las estructuras. Por último, superar la percepción negativa o los estigmas asociados con la construcción de vivienda social con madera y fomentar una actitud positiva hacia este material como una opción sostenible y viable también representa un desafío importante en el proceso de implementación de proyectos de vivienda social en la región.

Para abordar estos desafíos en primer lugar se debe establecer una gestión forestal sostenible que garantice la disponibilidad continua de madera mediante la promoción de prácticas de reforestación. Además, se pueden desarrollar tratamientos y productos especializados para proteger la madera contra la humedad y la infestación de insectos, aumentando así su durabilidad. Es fundamental brindar capacitación técnica y educación sobre técnicas de construcción adecuadas fomentando el uso eficiente y sostenible de este material. Se deben establecer y hacer cumplir normativas para garantizar la seguridad y la calidad de estas estructuras, así como promover la investigación y el desarrollo de tecnologías innovadoras en el sector de la construcción de madera. Por último, se requiere una campaña promoción para cambiar la percepción negativa hacia la construcción de viviendas sociales con madera, destacando sus ventajas en términos de sostenibilidad, eficiencia y confort.

#### **4. Cádiz**

El cádiz es una de las plantas cultivadas conocidas por la humanidad más antiguas (Terreros & Carvajal, 2016). Es notable por su versatilidad única en el reino vegetal. Gracias a su capacidad para aprovechar su fibra, paja, semillas, hojas y flores, se han desarrollado aproximadamente 10,000 derivados de esta planta. Estos derivados abarcan una amplia gama de productos, desde medicamentos, biocombustibles, papel, textiles y una variedad de materiales para la construcción (Brümmer, 2015).

En cuanto a actualidad, desde hace dos décadas, el cáñamo ha comenzado a utilizarse en la construcción en Europa, con Francia a la vanguardia de esta tendencia. Estas técnicas están empezando a ganar reconocimiento en otros países del mundo que están legalizando variedades industriales de cannabis sativa con niveles muy bajos de cannabinoides. Este movimiento se enmarca en el desarrollo sostenible, promoviendo el uso de materiales vegetales como alternativa a los recursos fósiles (*id.*).

Ofrece múltiples beneficios, ya que los materiales derivados del cáñamo requieren menos energía en su fabricación en comparación con los procesados con calor, como los ladrillos y bloques de hormigón, lo que resulta en una reducción de la contaminación. Cuando se utilizan en la construcción, el cáñamo ayuda a capturar o incluso reducir los gases de efecto invernadero durante toda la vida útil del edificio. Por ejemplo, el citado autor señala que las emisiones de CO<sub>2</sub> debidas a los materiales en una casa unifamiliar aislada de nueva construcción varían significativamente dependiendo de los materiales utilizados:

. Con sistemas convencionales como hormigón, cerámica, etc., las emisiones pueden oscilar entre 30 y 50 toneladas de CO<sub>2</sub>.

. Utilizando paredes de mortero con cáñamo-cal, se logra una huella de carbono neutra, es decir, cero toneladas de CO<sub>2</sub>.

. Con tapias de mortero de cáñamo-tierra o bloques Cannabric, se puede obtener una huella negativa de hasta -8 toneladas de CO<sub>2</sub>, lo que implica un secuestro de carbono durante la vida útil del edificio.

El cáñamo posee cualidades destacadas en términos de aislamiento térmico, gracias a su baja conductividad térmica. Además, es libre de nutrientes para parásitos, lo que elimina la necesidad de tratamientos previos para protegerlo contra plagas. Es un material respetuoso con el medio ambiente debido a su rápido crecimiento y su capacidad para reemplazar materiales de construcción basados en recursos no renovables. Su adaptabilidad a diferentes suelos, climas y altitudes amplía las posibilidades de difundir técnicas de construcción sostenible en condiciones diversas. El cáñamo representa una alternativa viable y sostenible para la construcción en Ecuador. Su habilidad para absorber CO<sub>2</sub> y su bajo requerimiento de recursos reducen considerablemente su impacto ambiental en comparación con los materiales de construcción convencionales (Polo, 2024).

Sus propiedades acústicas, térmicas y bioclimáticas son destacables, ofreciendo un ambiente interior más confortable. Además, su cultivo sin pesticidas ni herbicidas lo hace apto para la

construcción ecológica y seguro para personas con alergias o sensibilidades químicas. También proporciona protección contra ciertos tipos de radiaciones externas y reduce los campos electromagnéticos, contribuyendo así a un entorno habitable más saludable. En cuanto a sus propiedades mecánicas, el Cannabric posee una resistencia a la compresión de entre 1.3 y 1.5 MPa, y su resistencia a la flexión es de 0.6 MPa (Brümmer, 2015). Autores como Abdellatef y otros (2020), sin embargo, indican que los compuestos de cáñamo con una proporción de aglutinante y cáñamo de 1:1 tienen resistencias a la compresión que oscilan entre 0,09 y 0,57 MPa. Y Huatala, Pasila y Pirilä (2004), indican que los compuestos a base de cáñamo con una fracción de masa de fibra del 50-60% tienen resistencias a la flexión de 65-140 MPa, lo que los hace adecuados para la fabricación de pisos y muebles. El cáñamo presenta un módulo de elasticidad que varía entre 3,000 y 5,000 MPa (Villacís 2011).

En el estudio realizado por Morenilla y Martínez (2011) se investiga el Cannabric, siendo un bloque macizo que está compuesto principalmente de cáñamo, cal y arena. Gracias a su composición natural, que incluye materiales vegetales y minerales, este bloque promueve la creación de espacios habitables, confortables y saludables, con una excelente calidad y durabilidad. Su diseño aprovecha las propiedades aislantes del cáñamo, que tiene una conductividad térmica muy baja de 0,048 W/mK. Además, los componentes minerales del bloque aportan resistencia mecánica, densidad y una alta inercia térmica.

Como resultado, el Cannabric es un material de construcción resistente a las cargas, con una baja conductividad térmica de 0,1875 W/mK. El costo por unidad del bloque Cannabric está alrededor de los \$1.82 (Cannabirc, 2024).

Los desafíos asociados de la construcción con cáñamo se asemejan notablemente a los ya mencionados: la caña guadua y la madera. La falta de regulaciones, la variabilidad en la disponibilidad y calidad del material, así como la necesidad de educar a los profesionales y a la comunidad sobre sus propiedades y aplicaciones, son aspectos comunes que deben abordarse para su implementación exitosa en proyectos de vivienda social en Manabí. A pesar de estas similitudes, cada material presenta sus propias particularidades que requieren atención individualizada para su integración efectiva en la construcción sostenible.

De igual manera, para abordar estos desafíos, es crucial establecer normativas de calidad específicos para cada material, así como fomentar la investigación y el desarrollo de técnicas de producción más eficientes. Además, la colaboración entre empresas e instituciones puede facilitar

la creación de programas de capacitación para profesionales promoviendo una mayor comprensión y aceptación de este material.

### **5. Bloques de tierra comprimida (BTC)**

El Bloque de Tierra Comprimida, es un componente prefabricado utilizado en la construcción que está compuesto por una mezcla de tierra arcillosa, arena, agregados y estabilizantes, los cuales son compactados individualmente en forma de bloques mediante el uso de una máquina de compresión. Esta técnica de construcción surgió en Colombia en los años cincuenta bajo la dirección del ingeniero Raúl Ramírez. Desde entonces, ha sido reconocida como una alternativa económica para materiales de construcción. Con el tiempo, el BTC ha sido utilizado en la construcción de numerosas viviendas y edificios, ganando popularidad en varios países de Latinoamérica, Europa y África (Angulo & Carreño, 2017).

En cuanto al estado actual, se está haciendo uso de este tipo de bloque en la construcción de viviendas en la parroquia Píntag del cantón Quito (Calderón, 2023). Para seleccionar el material de construcción, se revisan los materiales empleados en el sector para evaluar sus beneficios y de ahí surge la propuesta de un modelo de gestión para promover la construcción de viviendas que fomente el uso sostenible de recursos y garantice la calidad, confort y seguridad habitacional. El uso de este material indica que la sustitución del bloque de hormigón convencional por el bloque de tierra comprimida en la mampostería reduce los costos en un aproximado del 20%. Por ejemplo, una vivienda de 62m<sup>2</sup> podría construirse por \$19.902 utilizando esta técnica.

El BTC tiene múltiples beneficios y ventajas, en primer lugar, está su disponibilidad, la tierra es un material que se encuentra fácilmente, pero es necesario que tenga una calidad específica la cual no es difícil de encontrar. Su proceso de producción es simple y ofrece posibilidades de industrialización, lo que permite su fabricación a gran escala en un corto período de tiempo y de manera más rápida y económica. En general, ofrecen una alternativa más económica y ambientalmente sostenible a los materiales de construcción tradicionales, con aglutinantes que mejoran la resistencia a la compresión y la durabilidad, y fibras que mejoran el rendimiento térmico y de flexión (Raj *et al.*, 2023).

La inercia térmica es una característica clave de los bloques de tierra comprimida como material de construcción. Esta propiedad se refiere a su capacidad para retener el calor durante el día y liberarlo lentamente durante la noche. Esto es beneficioso en climas fríos, ya que ayuda a mantener

temperaturas confortables en el interior de las construcciones. Por otro lado, en climas cálidos, se puede aprovechar esta cualidad ajustando el grosor y la densidad de los muros para evitar que el calor excesivo se acumule en el interior durante el día. A grandes rasgos, los bloques de tierra comprimida reforzados con fibras naturales presentan una mejor estabilidad térmica y son una excelente alternativa a los materiales convencionales (Subramanian, Balasubramanian & Kumar, 2021).

El BTC ofrece beneficios para la salud de los ocupantes de las construcciones. La tierra, al ser el componente principal, regula naturalmente el ambiente interior, neutraliza el humo del tabaco y evita la formación de hongos (Angulo & Carreño, 2017).

La producción de un metro cúbico de BTC genera solo 0.114 toneladas de CO<sub>2</sub>, ya que se estabiliza con un bajo porcentaje de cemento o cal. En comparación, un metro cúbico de ladrillo cocido emite aproximadamente 2.5 toneladas de CO<sub>2</sub>, y un metro cúbico de bloque de concreto emite alrededor de 2.9 toneladas de CO<sub>2</sub>. Además, la fabricación de bloques de tierra comprimida requiere solo el 1% de la energía necesaria para producir otros materiales de construcción, y no genera desperdicios durante su proceso de fabricación (*id.*).

Estudios realizados por el citado autor, indican que el BTC brinda propiedades acústicas destacadas al garantizar una reducción de los niveles de presión sonora de hasta 40 decibeles con un muro de tan solo 20 centímetros de espesor. También presenta notables propiedades de resistencia al fuego y al impacto balístico. Su resistencia a la compresión varía entre 2.7 y 3.8 MPa, y presenta una resistencia a la flexión que oscila entre 2.8 y 3.6 MPa (Mejía, 2019). El módulo de elasticidad del bloque de tierra comprimida es de 2400 MPa (Cañola *et al.*, 2018). La conductividad térmica del bloque de tierra comprimida es de 0.72 W/mK (Goure *et al.*, 2017). Su costo por unidad es de 9 centavos de dólar (Molina *et al.*, 2015). La producción de BTC genera aproximadamente 0.04 kg de CO<sub>2</sub> por unidad, lo que representa un impacto ambiental mínimo en comparación con materiales convencionales (Osman *et al.*, 2024).

Por último, respecto a los desafíos, el BTC también presenta ciertas desventajas, como su falta de estandarización en la composición, ya que esta puede variar dependiendo del lugar de extracción, lo que resulta en diferentes propiedades. Además, tiende a contraerse al secarse, lo que puede provocar la aparición de fisuras. Por otro lado, no es impermeable y requiere protección contra la lluvia y las heladas, especialmente cuando está húmedo (Roux, 2016).

Para abordar estas desventajas se pueden implementar medidas de control de calidad durante su producción, estableciendo estándares de composición y capacitando a los productores en técnicas estandarizadas. Para mitigar la contracción al secarse y la aparición de fisuras, se puede agregar estabilizantes a la mezcla de suelo y compactar adecuadamente durante la fabricación. Respecto a la impermeabilidad, es posible aplicar selladores y recubrimientos impermeables en la superficie de los bloques, además de diseñar cimientos adecuados y sistemas de drenaje para prevenir la infiltración de agua en las estructuras. Estas soluciones contribuirían a mejorar la calidad y la durabilidad de las construcciones con bloques de tierra comprimida, fomentando su uso en proyectos de vivienda en la provincia de Manabí.

A continuación, en la tabla 1 se muestra un resumen comparativo de estos cinco materiales.

Tabla 1: Comparativa de materiales

<b>Material</b>	<b>Propiedades mecánicas</b>			<b>Propiedades térmicas</b>
	<b>Compresión (MPa)</b>	<b>Flexión (MPa)</b>	<b>Elasticidad (MPa)</b>	<b>Conductividad térmica (W/mK)</b>
Caña Guadua	39,58	13,85	15483,00	0,15
Ladrillo Ecológico	3,81	1,72	4060,00	0,53
Madera	19,50	22,00	12160,00	0,21
Cáñamo	1,50	0,60	5000,00	0,19
BTC	3,25	3,20	2400,00	0,72

## 6. Comparativa de costos, recursos y emisiones en la construcción

La industria de la construcción enfrenta crecientes desafíos relacionados con la sostenibilidad económica y ambiental. En este contexto, resulta esencial evaluar tanto el costo como el impacto de los materiales y procesos involucrados. Se presenta a continuación, comparativas clave que permiten analizar la viabilidad económica, las emisiones de CO<sub>2</sub> y el consumo de recursos de diferentes materiales y actividades asociadas a la construcción. Estos análisis no solo ilustran las implicaciones ambientales y económicas actuales, sino que también ofrecen un marco para la toma de decisiones orientadas a un desarrollo más sostenible en el sector (figura 1 a la 4).

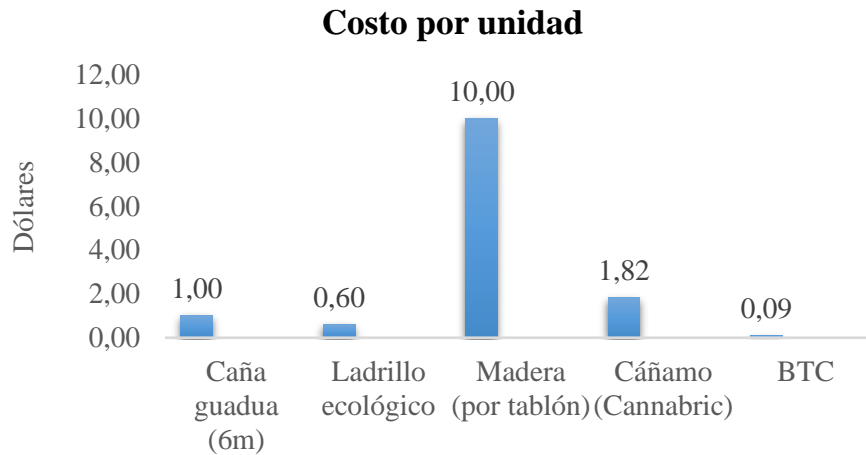


Figura 1: Comparativa de costo por unidad.

Fuente: elaborado a partir de Delgado (2017b), Velásquez (2024), Madersec (2024), Cannabric (2024), y Molina y otros autores (2015).

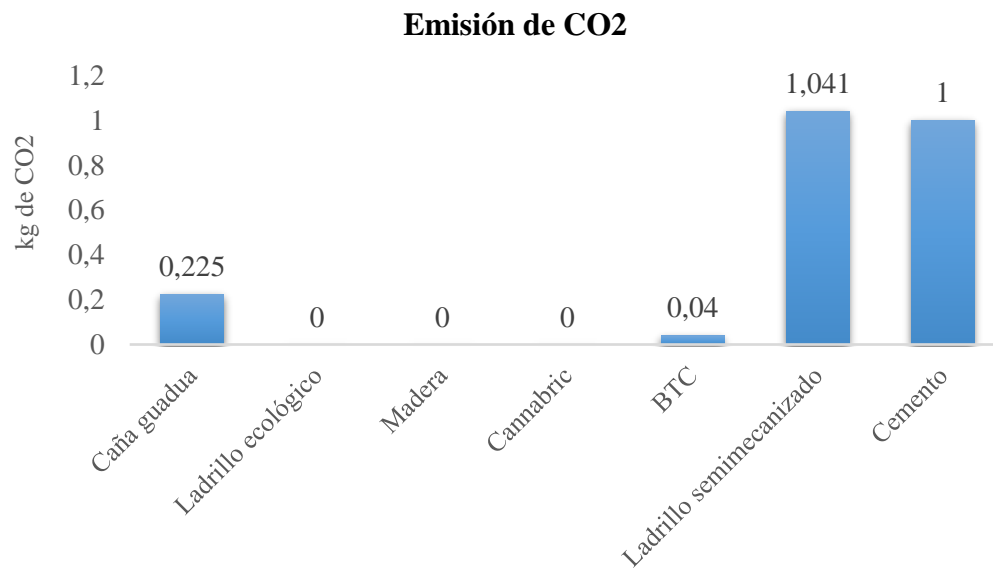


Figura 2: Comparativa de emisión de CO2 en producción de elementos.

Fuente: elaborado a partir de Ecohabitar (2023), Grupo Promesa (2021), Linn (2019), García (2024), Osman y otros (2024), Venegas (2018), Britez y otros autores (2015).

Además de analizar los materiales sostenibles, es crucial comprender el impacto global de la industria de la construcción tradicional en el consumo de energía y las emisiones de CO2. Las figuras presentadas a continuación (6 y 7), muestran el consumo de energía de la industria de la construcción y sus sectores asociados, así como el total de CO2 emitido anualmente a la atmósfera.

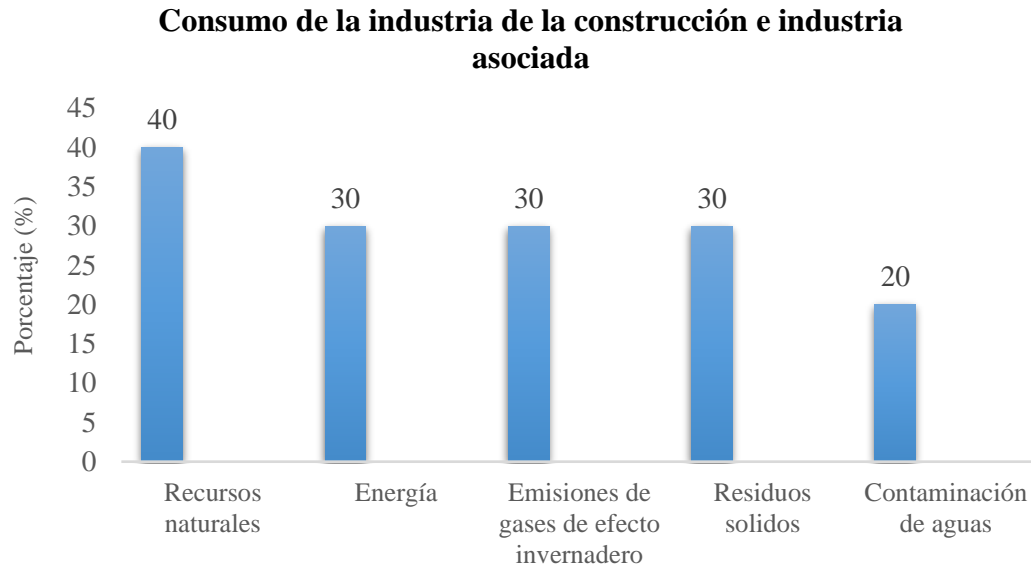


Figura 3: Comparativa de consumo de recursos de la industria de la construcción e industria asociada.

Fuente: elaborado a partir de Linn (2019).

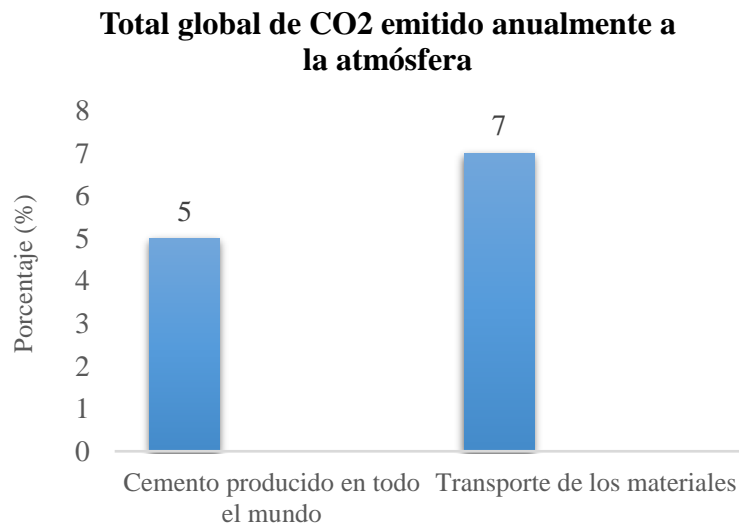


Figura 4: Emisiones globales de CO2 emitidas anualmente a la atmósfera relacionadas con el cemento y el transporte de materiales.

Fuente: elaborado a partir de Linn (2019).



## CONCLUSIONES

Este estudio demuestra que la selección de materiales sostenibles y localmente disponibles es crucial para abordar los desafíos de la construcción de vivienda social en Manabí. Estos materiales fueron seleccionados por su capacidad para enfrentar estos desafíos de manera efectiva y se destacan por su disponibilidad local, bajo impacto ambiental y capacidad para ofrecer soluciones sostenibles en términos de costo y eficiencia energética.

La caña guadua se revela como un material de construcción viable y sostenible, apto para viviendas sociales en Manabí. Sus destacadas propiedades mecánicas, comparables e incluso superiores a materiales tradicionales como el hormigón, junto con su bajo costo y beneficios ambientales, la posicionan como una alternativa atractiva. No obstante, su implementación enfrenta desafíos técnicos y culturales que requieren capacitación especializada y un cambio en la percepción comunitaria. Con estrategias adecuadas, la caña guadua puede jugar un papel crucial en la construcción sostenible y económica de viviendas.

Los ladrillos ecológicos también se destacan como una opción viable para la construcción. Su producción, sin cocción, reduce emisiones de gases contaminantes, y su uso de materiales reciclados, como el plástico, promueve la conservación del medio ambiente. Ofrecen ventajas estructurales, térmicas y acústicas, y son más económicos y ligeros que los ladrillos tradicionales. No obstante, la limitada disponibilidad y la falta de opciones decorativas son desafíos a superar para su adopción masiva. Con un impulso adecuado en producción y educación, los ladrillos ecológicos tienen el potencial de transformar prácticas constructivas hacia una mayor sostenibilidad.

La madera, con su destacada capacidad estructural y sostenibilidad ambiental, se presenta como una opción factible para la construcción de viviendas sociales. Sus propiedades, como resistencia a la flexión y compresión, aislamiento térmico y acústico, y rápida construcción, la hacen competitiva frente a materiales tradicionales. A pesar de desafíos como la durabilidad en condiciones climáticas adversas y la percepción cultural negativa, la implementación de prácticas de manejo forestal sostenible y la capacitación técnica pueden mitigar estos problemas.

El cáñamo emerge como un material innovador en la construcción sostenible, ofreciendo una alternativa ecológica y eficiente a los recursos convencionales. Sus propiedades únicas, como su capacidad para reducir las emisiones de CO<sub>2</sub>, su excelente aislamiento térmico y acústico, y su versatilidad en aplicaciones estructurales, lo convierten en una opción atractiva para la vivienda

social. A pesar de los desafíos asociados con su disponibilidad y percepción cultural, la implementación de regulaciones específicas y programas de capacitación puede allanar el camino para su adopción exitosa en proyectos de construcción sostenible en la región de Manabí.

El Bloque de Tierra Comprimida surge como otra alternativa sostenible y económica, ofreciendo ventajas significativas en términos de disponibilidad de materiales, eficiencia energética y beneficios para la salud de los ocupantes. Aunque presenta desafíos relacionados con la estandarización de la composición y la necesidad de protección contra la humedad, se pueden implementar medidas de control de calidad y técnicas de construcción adecuadas para abordar estas preocupaciones y promover su uso en proyectos de vivienda social.

En resumen, la exploración de estos materiales revela un panorama prometedor para el futuro de la construcción. Cada uno ofrece beneficios que abordan tanto las preocupaciones ambientales como las necesidades prácticas de la construcción moderna. A medida que se avanza hacia un enfoque más consciente y responsable en la edificación de comunidades, estos materiales surgen como catalizadores de un cambio positivo hacia un futuro más sostenible y habitable. Con el compromiso continuo de la investigación, la innovación y la aplicación práctica en proyectos de vivienda social en Manabí, se puede transformar la forma en que se construyen las comunidades, asegurando su sostenibilidad y armonía con el entorno natural, para el beneficio de las generaciones presentes y futuras en la provincia.

## Referencias

- Abdellatef, Y.; Khan, M.; Khan, A.; Alam, M. & Kavgic, M. (2020). Mechanical, Thermal, and Moisture Buffering Properties of Novel Insulating Hemp-Lime Composite Building Materials. *Materials*, 13, 1-18. DOI: <https://doi.org/10.3390/ma13215000>
- Acosta, S. (2023). Los enfoques de investigación en las Ciencias Sociales. *Revista Latinoamericana Ogmios*, 3(8), 82–95. DOI: <https://doi.org/10.53595/rlo.v3.i8.084>
- Alcívar, M.; Torres, J. & Panchana, R. (2023). La madera procedente de Manabí como material alternativo para la construcción de vivienda social en Chone. *Domino de las Ciencias*, 9(2), 185-207. DOI: <https://doi.org/10.23857/dc.v9i1>
- Alvites, K.; Solorzano, D.; Ramon, J. & Casaño, R. (2023). Review of the hemp-based brick that purifies air pollution, reduces humidity and is a thermal insulator: An innovative solution to reduce environmental pollution in the construction industry. *Journal of Project Management*, 8, 81-90. DOI: <https://doi.org/10.5267/j.jpm.2023.1.001>
- Angulo, D. & Carreño, A. (2017). El Bloque de Tierra Comprimido o BTC Una alternativa de Construcción para la Arquitectura Contemporánea. *Nodo: Arquitectura. Ciudad. Medio Ambiente*, 12(23), 31-37. DOI: <https://doi.org/10.54104/nodo.v12n23.140>
- Britez, C.; Pacheco, J.; Levy, S. & Helene, P. (2015). Uso del hormigón de altas prestaciones en columnas estructurales con vistas a la sostenibilidad. *Revista ALCONPAT*, 5(1), 74-83. <https://www.scielo.org.mx/pdf/ralconpat/v5n1/2007-6835-ralconpat-5-01-00074.pdf>
- Brümmer, M. (2015). El cáñamo en la construcción: Antecedentes, materiales y técnicas. [http://www.cannabric.com/media/documentos/dda1c\\_ecoconstruccionmayo2015.pdf](http://www.cannabric.com/media/documentos/dda1c_ecoconstruccionmayo2015.pdf)
- Calderón, S. (2023). Modelo de gestión para el diseño y construcción de viviendas con materiales alternativos, que fomente el uso sostenible de recursos naturales en la parroquia Píntag del cantón Quito (Tesis de maestría). Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/25116>
- Cannabric. (2024). Bloque de cáñamo. [http://www.cannabric.com/catalogo/cannabric\\_bloque\\_de\\_canamo\\_autoportante\\_portante\\_/](http://www.cannabric.com/catalogo/cannabric_bloque_de_canamo_autoportante_portante_/)
- Cañola, H.; Builes, A.; Medina, C. & González, G. (2018). Bloques de Tierra Comprimida (BTC) con aditivos bituminosos. *TecnoLógicas*, 21(43), 135-145. DOI: <https://doi.org/10.22430/22565337.1061>

- CCQ - Cámara de Comercio de Quito. (2023). La construcción y operación genera el 38% de gases de efecto invernadero a nivel mundial. <https://ccq.ec/la-construccion-y-operacion-genera-el-38-de-gases-de-efecto-invernadero-a-nivel-mundial/>
- Cevallos, C. (2020). La caña Guadua y su uso en la arquitectura: Intervención en la arquitectura vernácula y la arquitectura contemporánea en varios cantones de la Provincia de Manabí, Ecuador (Tesis de maestría). Universidad de Valladolid, España. <https://uvadoc.uva.es/handle/10324/44384>
- Cotrina, S. & Lander, E. (2023). Evaluación de las propiedades mecánicas del ladrillo ecológico elaborado con arcillas de la ciudad de Jaén, 2022 (Tesis de grado). Universidad Nacional de Cajamarca, Perú. <http://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/5978>
- Delgado, C. (2017a). Casas de madera. Conoce sus ventajas y desventajas. [https://www.homify.pe/libros\\_de\\_ideas/2747955/casas-de-madera-conoce-sus-ventajas-y-desventajas](https://www.homify.pe/libros_de_ideas/2747955/casas-de-madera-conoce-sus-ventajas-y-desventajas)
- Delgado, G. (2017b). Ecología y ambiente. Diseño y sustentabilidad en construcciones con caña guadúa. *Diseño, arte y arquitectura*, 1(2), 75-93. DOI: <https://doi.org/10.33324/daya.v1i2.32>
- Delgado-Gutiérrez, E.; Canivell J.; Bienvenido-Huertas, D. & Rubio-Bellido, C. (2022). Improvement Options of a Social Housing Prototype in Different Climate Zones in Ecuador. *Buildings*. 12(7), 1-20. DOI: <https://doi.org/10.3390/buildings12070989>
- EcoHabitar. (2023). El papel captador de CO2 de la Guadua como material alternativo. EcoHabitar. <https://ecohabitar.org/el-co2-derivado-de-la-construccion-y-el-papel-captador-del-bambu-guadua-como-material-alternativo/>
- Elizondo-Mata, M.; Ojeda, J.; Gómez, A. & Esparza, C. (2015). Evaluación térmica de materiales compuestos como aislante térmico para casas habitación en el Estado de Colima a partir de bambú y tierra cruda. En S. Martínez, *Memorias del XXI Congreso Internacional Anual de la Sociedad Mexicana de Ingeniería Mecánica*, pp. 0670. [https://www.researchgate.net/publication/282577276\\_Evaluacion\\_termica\\_de\\_materiales\\_compuestos\\_como\\_aislante\\_termico\\_para\\_casas\\_habitacion\\_en\\_el\\_estado\\_de\\_Colima\\_a\\_partir\\_de\\_bambu\\_y\\_tierra\\_cruda](https://www.researchgate.net/publication/282577276_Evaluacion_termica_de_materiales_compuestos_como_aislante_termico_para_casas_habitacion_en_el_estado_de_Colima_a_partir_de_bambu_y_tierra_cruda)
- Espinoza, D. (2020). Primera aula ecuatoriana construida con plástico reciclado. <https://www.inti.tv/primera-aula-ecuatoriana-construida-con-plastico-reciclado/>

- García, D. (2024). Adiós a los ladrillos en la construcción: Este sustituto regula su temperatura y absorbe 2 toneladas de CO<sub>2</sub>. <https://www.ecoticias.com/hoyeco/ladrillos-construccion-canamo/4456/>
- Garzón, L. (2015). Prototipo de vivienda social sostenible. Bahareque prefabricado con tierra. Una alternativa técnica, cultural y ecológica. Ecuador: Siacot Ecuador. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/6086016.pdf>
- Goure, H.; Niamien, A.; Koffi, L.; Tognonvi, M. & Oyetola, S. (2017). Thermal Conductivity of Compressed Earth Bricks Strengthening by Shea Butter Wastes with Cement. *Materials Sciences and Applications*, 8(12), 848-858. DOI: <https://doi.org/10.4236/msa.2017.812062>
- Grupo Promesa. (2021). Ladrillos que absorben CO<sub>2</sub>: una alternativa para la infraestructura sostenible. <https://grupopromesa.mx/ladrillos-que-absorben-co2-una-alternativa-para-la-infraestructura-sostenible/>
- Guerrero, P. & Sánchez, J. (2019). Revisión Teórica de Características Físicas y de la Huella de Carbono de la Madera en Aplicaciones Estructurales. *ÑAWPAY Revista Técnica Tecnológica*, 1(2), 13-20. [https://www.researchgate.net/publication/338239323\\_Revision\\_Teorica\\_de\\_Caracteristicas\\_Fisicas\\_y\\_de\\_la\\_Huella\\_de\\_Carbono\\_de\\_la\\_Madera\\_en\\_Aplicaciones\\_Estructurales](https://www.researchgate.net/publication/338239323_Revision_Teorica_de_Caracteristicas_Fisicas_y_de_la_Huella_de_Carbono_de_la_Madera_en_Aplicaciones_Estructurales) esta publicación ya no está disponible
- Hernández-Zamora, M.; Jiménez-Martínez, S. & Sánchez-Monge, J. (2021). Materiales alternativos como oportunidad de reducción de impactos ambientales en el sector construcción. *Revista Tecnología en Marcha*, 34(2), 3-10. DOI: <https://doi.org/10.18845/tm.v34i2.4831>
- Hautala, M.; Pasila, A., & Piriälä, J. (2004). Use of hemp and flax in composite manufacture: a search for new production methods. *Composites Part A-applied Science and Manufacturing*, 35, 11-16. DOI: <https://doi.org/10.1016/J.COMPOSITESA.2003.09.023>
- Isan, A. (2024). Ladrillos ecológicos: Qué son, tipos y ventajas. <https://www.ecologiaverde.com/ladrillos-ecologicos-que-son-tipos-y-ventajas-456.html>
- La Tegola, A.; Yépez, L.; Mera, W. & Córdova, P. (2016). Determinación de las propiedades mecánicas de la caña *Guadua Angustifolia* del Ecuador cuando está sometida a fuerzas axiales. *Alternativas*, 17(1), 54-61. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7344672>

- Linn. (2019). Construcción y emisiones CO2 a la atmósfera - Growing Buildings. <https://growingbuildings.com/construccion-y-emisiones-co2-a-la-atmosfera/>
- Maderea. (2015). La energía más barata es la que no se consume. <https://www.maderea.es/madera-y-ahorro-de-energia/>
- Madersec. (2024). Tablones, tablas de seike, colorado, madera seca. [https://articulo.mercadolibre.com.ec/MEC-517868854-venta-de-tablones-tablas-de-seike-colorado-madera-seca-\\_JM](https://articulo.mercadolibre.com.ec/MEC-517868854-venta-de-tablones-tablas-de-seike-colorado-madera-seca-_JM)
- Malavé, M. & Jativa, A. (2023). Estudio de materiales sostenibles y sustentables para la construcción de edificaciones ecoamigables en la provincia de Santa Elena (Tesis de grado). Universidad Estatal Península de Santa Elena, Ecuador. <https://repositorio.upse.edu.ec/bitstream/46000/10587/1/UPSE-TIC-2023-0040.pdf>
- Mejía, A. (2019). Resistencia a la compresión, flexión y absorción en bloques de tierra comprimida con adición de fibra de seudotallo de plátano, Cajamarca (Tesis de grado). Universidad Privada del Norte, Perú. <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/23080>
- Monge, F. & Polanco, J. (2021). Factibilidad técnica de unidades habitacionales sociales con materiales no tradicionales como la Caña Guadúa: Parroquia Picoazá. Polo del Conocimiento, 6(11), 980-1003. DOI: 10.23857/pc.v6i11.3311
- Molina, G.; Arenas, M.; Londoño, A.; Parra, O. & Vallejo, L. (2015). Bloques de tierra comprimidos con suelos derivados de cenizas volcánicas y materiales reciclables - Una alternativa ecológica. En M. Achig (coord.), Arquitectura y construcción con tierra, pp. 112-121. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6085969>
- Moreira, E.; Toala, M. & Loor, J. (2019). Construcciones sostenibles: Materiales ecológicos en viviendas de interés social (VIS) como aporte al hábitat urbano. DAYA, Diseño, Arte y Arquitectura, 1(7), 67-81. DOI: <https://doi.org/10.33324/daya.v1i7.248>
- Morenilla, J. & Martínez, F. (2011). Materiales para la bioconstrucción. Cercha, Revista de los Aparejadores y Arquitectos Técnicos, 108, 68-73. <https://www.riarte.es/handle/20.500.12251/458>
- Osman, A.; Farghali, M.; Dong, Y.; Kong, J.; Yousry, M.; Rashwan, A.; Chen, Z.; Al-Fatesh, A.; Rooney, D. & Yap, P. (2024). Reducing the carbon footprint of buildings using biochar-based bricks and insulating materials: A review. Environmental Chemistry Letters, 22(1). DOI: 71-104. <https://doi.org/10.1007/s10311-023-01662-7>

- Palomino, O. & Zamora, S. (2021). Vivienda de interés social con materiales sostenibles para mitigar la contaminación ambiental (Tesis de grado). Universidad Ricardo Palma. Perú. <https://repositorio.urp.edu.pe/handle/20.500.14138/4831>
- Polo, L. (2024). Evaluación del uso del cañamo en la construcción ecológica ecuatoriana (Tesis de maestría). Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil, Ecuador. <http://repositorio.ulvr.edu.ec/bitstream/44000/7435/1/TM-ULVR-0692.pdf>
- Raj, A.; Sharma, T.; Singh, S.; Sharma, U.; Sharma, P.; Singh, R.; Sharma, S.; Kaur, J.; Kaur, H.; Salah, B.; Ullah, S. & Alkhatib, S. (2023). Building a Sustainable Future from Theory to Practice: A Comprehensive PRISMA-Guided Assessment of Compressed Stabilized Earth Blocks (CSEB) for Construction Applications. *Sustainability*, 15, 9374. DOI: <https://doi.org/10.3390/su15129374>
- Ramírez, A. (2002a). La construcción sostenible. *Física y sociedad*, (13), 30-33. <https://arqsust.wordpress.com/wp-content/uploads/2009/07/la-construccion-sostenible.pdf>
- Ramírez, J. (2002b). Módulo de Elasticidad - Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto - Más resistentes pero menos robustos. <https://www.imcyc.com/cyt/julio02/resistentes.htm>
- Reinoso, E. & Vergara, L. (2018). Elaboración de ladrillos ecológicos a base de Polietileno para la Empresa Fudesma del cantón Latacunga, Provincia de Cotopaxi en el periodo Abril 2017— Febrero 2018 (Tesis de grado). Universidad Técnica de Cotopaxi, Ecuador. <https://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/4513#:~:text=Los%20resultados%20obtenidos%20son%20ladrillos,flexi%C3%B3n%20de%201%2C72%20Mpa.> VERIFICAR DIRECCIÓN ELECTRÓNICA
- Roux, R. (2016). Construcción sustentable, análisis de retraso térmico a bloques de tierra comprimidos. *Contexto: Revista de la Facultad de Arquitectura Universidad Autónoma de Nuevo León*, 9(11), 59-71. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6336495>
- Sapuyes, E.; Osorio, J.; Takeuchi, C.; Duarte, M. & Erazo, W. (2018). Resistencia y elasticidad a la flexión de la guadua angustifolia Kunth de Pitalito, Huila. *Revista de Investigación*, 11(1), 97-111. DOI: <https://doi.org/10.29097/2011-639X.182>
- Silva, J. & Zumaran, W. (2021). Materiales sostenibles en la construcción de viviendas. Revisión sistemática entre 2009-2019 (Tesis de grado). Universidad Privada del Norte, Perú. <http://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/4725351>

- Sornoza, J.; Zambrano, R., Caballero, B. & Véliz, J. (2022). Materiales alternativos empleados en la construcción de viviendas en Ecuador: Una revisión. *Polo del Conocimiento*, 7(4), 1072-1097. DOI: 10.23857/pc.v7i4.3875
- Subramanian, G.; Balasubramanian, M. & Kumar, A. (2021). A Review on the Mechanical Properties of Natural Fiber Reinforced Compressed Earth Blocks. *Journal of Natural Fibers*, 19, 7687-7701. DOI: <https://doi.org/10.1080/15440478.2021.1958405>
- Velásquez, F. (2024). Terram Colombia - Ladrillo Estructural Prensado Ecológico. <https://terram.com.co/tienda/ladrillos-ecologicos/ladrillo-estructural-prensado-lego/>
- Terreros, L. & Carvajal, I. (2016). Análisis de las propiedades mecánicas de un concreto convencional adicionando fibra de cáñamo (Tesis de grado). Universidad Católica de Colombia, Colombia. <https://repository.ucatolica.edu.co/entities/publication/7cf94860-21d1-4fbd-b81c-cffc204cce12>
- Tupėnaitė, L.; Kanapeckiene, L.; Naimaviciene, J.; Kaklauskas, A. & Gečys, T. (2023). Timber Construction as a Solution to Climate Change: A Systematic Literature Review. *Buildings*, 13, 1-23. DOI: <https://doi.org/10.3390/buildings13040976>
- Vanga, G.; Briones, O.; Zevallos, I. & Delgado, D. (2021). Bioconstrucción de vivienda unifamiliar de interés social con caña Guadua angustifolia Kunth. *Novasinerгия*, 4(1), 53-73. DOI: <https://doi.org/10.37135/ns.01.07.03>
- Venegas, A. (2018). Evaluación de la energía contenida, emisiones de CO2 y material particulado en la fabricación del ladrillo semi-mecanizado tochano en Cuenca, a través del análisis de ciclo de vida (Tesis de maestría). Universidad de Cuenca, Ecuador. <https://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/29319>
- Vera, A.; Rosales, R. & Chauca, M. (2021). Prototype of Prefabricated Brick with Special Passes for Functional and Safe Electrical and Sanitary Installations on Confined Masonry. *Materials Science Forum*, 1047, 158-162. DOI: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.1047.158>
- Villacís, H. (2011). Obtención de materiales compuestos híbridos de matriz poliéster reforzados con fibra de vidrio y abacá mediante estratificación (Tesis de grado). Escuela Politécnica Nacional, Ecuador. <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/4036>
- Villaquirán-Caicedo, M.; Hernández-Rengifo, E.; Agudelo, K.; Arias, J.; Viera, M. & Carvajal, D. (2021). Evaluación del desempeño térmico de ladrillos ecoamigables con incorporación de



residuos de mullita. Ingeniería y Desarrollo, 39(1), 25-43. DOI: <https://doi.org/10.14482/inde.39.1.624.181>

Zairul, M.; Zaremohzzabieh, Z. (2023). Thematic Trends in Industry 4.0 Revolution Potential towards Sustainability in the Construction Industry. Sustainability, 15, 1-21. DOI: <https://doi.org/10.3390/su15097720>

Zambrano, G. & Zambrano, M. (2018). Materiales de construcción alternativos: Ladrillo ecológico en la construcción de vivienda económica en el cantón Chone (Tesis de grado). Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, Ecuador. <https://repositorio.ulead.edu.ec/handle/123456789/2083>

Zhang, X. & Biswas, W. (2021). Development of Eco-efficient bricks – A Life Cycle Assessment Approach. Journal of building engineering, 102429. DOI: <https://doi.org/10.1016/J.JOBE.2021.102429>

Zhang, X.; Xuan, L.; Huang, W.; Yuan, L. & Li, P. (2022). Structural Design and Analysis for a Timber-Concrete Hybrid Building. Frontiers in materials, 9, 844398. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmats.2022.844398>.

© 2024 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).