




ARTÍCULO DE REVISIÓN

Influencia de aditivos no convencionales en las propiedades físicas y mecánicas de ladrillos ecológicos: Una revisión sistemática

Influence of unconventional additives on the physical and mechanical properties of eco-bricks: A systematic review

Luis Bustamante ¹, José Sánchez ² y Manuel Laurencio ³

RESUMEN

En este estudio se realizó una revisión sistemática de literatura sobre la influencia de aditivos no convencionales en las propiedades físicas y mecánicas de ladrillos ecológicos. La búsqueda se llevó a cabo en bases de datos como ScienceDirect, Scopus, SpringerLink y MDPI, considerando publicaciones entre 2016 y 2025. Luego del proceso de selección, se analizaron más de 50 estudios que evaluaron el uso de residuos como plásticos reciclados, fibras vegetales, cenizas agroindustriales y otros materiales alternativos. Los resultados muestran que ciertos aditivos permiten mejoras significativas, como incrementos en la resistencia a compresión de hasta 76.85 MPa en ladrillos con PET, reducciones de absorción de agua de hasta 90% en mezclas con plásticos y disminuciones de densidad entre 8% y 30% dependiendo del material empleado. Sin embargo, también se identificó que el uso excesivo de estos aditivos puede generar efectos negativos, como aumento de porosidad o pérdida de resistencia. En conclusión, los aditivos no convencionales presentan un alto potencial para el desarrollo de ladrillos más sostenibles, siempre que se controlen adecuadamente las proporciones y condiciones de fabricación.

Palabras clave: Ladrillos ecológicos; aditivos no convencionales; residuos reciclados; resistencia a compresión y cenizas agroindustriales.

ABSTRACT

In this study, a systematic literature review was conducted on the influence of unconventional additives on the physical and mechanical properties of eco-friendly bricks. The search was carried out using databases such as ScienceDirect, Scopus, SpringerLink, and MDPI, considering publications from 2016 to 2025. After the selection process, more than 50 studies were analyzed, evaluating the use of waste materials such as recycled plastics, plant fibers, agro-industrial ashes, and other alternative materials. The results show that certain additives provide significant improvements, including increases in compressive strength of up to 76.85 MPa in PET-based bricks, reductions in water absorption of up to 90% in plastic mixtures, and density reductions ranging from 8% to 30%, depending on the material used. However, it was also identified that excessive use of these additives may generate negative effects, such as increased porosity or loss of strength. In conclusion, unconventional additives present high potential for the development of more sustainable bricks, provided that the proportions and manufacturing conditions are properly controlled.

Keywords: Eco-friendly bricks; unconventional additives; recycled waste; compressive strength and agro-industrial ashes.

* Autor para correspondencia

¹ Universidad Católica Sedes Sapientiae, Perú. Email: 2020100643@ucss.pe, 2021102335@ucss.pe, mllaurencio@ucss.edu.pe

INTRODUCCIÓN

El crecimiento sostenible del sector construcción en las últimas décadas ha generado un impacto significativo sobre el medio ambiente, principalmente debido al alto consumo de recursos naturales y a la emisión de gases de efecto invernadero asociado a procesos tradicionales como la fabricación de ladrillos y bloques de hormigón. Frente a esta problemática, han surgido alternativas como los ladrillos ecológicos, los cuales incorporan materiales reciclados o subproductos agrícolas con el objetivo de reducir el impacto ambiental sin comprometer su desempeño estructural.

Muchos investigadores han probado agregar materiales poco comunes a estos ladrillos, como fibras vegetales, plásticos reciclados, cenizas de origen agrícola o cáscaras orgánicas. Lo interesante es que no solo ayudan a cuidar el ambiente, sino que también mejoran cosas como la resistencia a la compresión (Kumar et al., 2024), la absorción de agua (Suganya et al., 2016), o la densidad del ladrillo (Naresh Kumar et al., 2024). Incluso hay quienes han estudiado cómo estos materiales influyen en la capacidad de aislamiento térmico, como Gómez et al. (2023) o Karshoğlu et al. (2021).

Algunos resultados llaman bastante la atención. Por ejemplo, añadir plásticos reciclados como PET o HDPE puede hacer que los ladrillos duren más y resistan mejor el calor (Kumar et al., 2022). Ameen et al. (2023) también encontraron que eso ayuda a que absorban menos agua. De hecho, Bello et al. (2022) reportaron niveles de absorción menores al 1 %. Otro estudio de Alan et al. (2015) mostró que, al usar tiras de plástico dentro de ladrillos con ceniza volante, la resistencia alcanzó casi 19 N/mm², mucho más de lo que ofrece un ladrillo común.

En este trabajo, se recopilamos más de 50 estudios de los últimos diez años que probaron distintos residuos como aditivos en diversos tipos de ladrillo, como adobe, geo-polímeros, tierra-cemento, entre otros. A diferencia de otras revisiones, aquí no se enfoca en un solo tipo de material, sino que se compara un conjunto amplio y diverso. Solo se consideraron trabajos que presentaran datos experimentales medibles, como resistencia, absorción, densidad o conductividad.

En resumen, lo que se busca con esta revisión es entender mejor cómo afectan estos materiales no convencionales al comportamiento físico y mecánico de los ladrillos ecológicos. Se clasificaron según su origen, se compararon sus efectos más importantes, se analizaron las cantidades que funcionaron mejor y se dejaron claras las áreas donde aún falta investigar más.

En este contexto, el objetivo principal de esta investigación es analizar la influencia de distintos aditivos no convencionales en las propiedades físicas y mecánicas de los ladrillos ecológicos, a partir de una revisión sistemática de la literatura científica reciente. Como objetivos específicos, se plantea: (i) identificar los tipos de aditivos más utilizados en la fabricación de ladrillos ecológicos, (ii) evaluar su efecto en propiedades como resistencia a la compresión, absorción de agua, densidad y conductividad térmica, y (iii) comparar los rangos de dosificación más eficientes reportados en los estudios analizados.

MATERIALES Y MÉTODOS

La presente revisión sistemática se desarrolló siguiendo los lineamientos del método PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses), el cual permite organizar de manera transparente el proceso de búsqueda, selección y análisis de la literatura científica.

En este estudio se realizó una revisión sistemática de literatura sobre la influencia de aditivos no convencionales en las propiedades físicas y mecánicas de ladrillos ecológicos. La búsqueda se llevó a cabo en bases de datos como ScienceDirect, Scopus, SpringerLink y MDPI, considerando publicaciones entre 2016 y 2025. Luego del proceso de selección, se analizaron más de 50 estudios que evaluaron el uso de residuos como plásticos reciclados, fibras vegetales, cenizas agroindustriales y otros materiales alternativos.

Los resultados muestran que ciertos aditivos permiten mejoras significativas, como incrementos en la resistencia a compresión de hasta 76.85 MPa en ladrillos con PET, reducciones de absorción de agua de hasta 90% en mezclas con plásticos y disminuciones de densidad entre 8% y 30% dependiendo del material empleado. Sin embargo, también se identificó que el uso excesivo de estos aditivos puede generar efectos negativos, como aumento de porosidad o pérdida de resistencia. En conclusión, los aditivos no convencionales presentan un alto potencial para el desarrollo de ladrillos más sostenibles, siempre que se controlen adecuadamente las proporciones y condiciones de fabricación.

La búsqueda se hizo en varias plataformas académicas como ScienceDirect, Scopus, MDPI, SpringerLink, ResearchGate. Se usaron combinaciones de palabras clave como ladrillos ecológicos, fibras naturales, residuos plásticos, cenizas en ladrillos y otras similares. Para mejorar los resultados, se utilizaron conectores booleanos como AND, OR y NOT.

Para la búsqueda de información se utilizaron combinaciones de palabras clave en inglés y español mediante operadores booleanos. Entre los principales strings empleados se incluyen:

- “eco-friendly bricks” AND “recycled waste”
- “brick” AND “plastic waste” AND “mechanical properties”
- “natural fibers” AND “bricks”
- “ash” AND “eco bricks”
- “ladrillos ecológicos” AND “residuos reciclados”

Las siguientes combinaciones presentadas permitieron ampliar la cobertura de resultados en las diferentes bases de datos consultadas.

La búsqueda bibliográfica se realizó entre enero y marzo de 2025, considerando publicaciones comprendidas en el periodo 2016-2025.

Se baso por criterios tales como.

Criterios de inclusión:

- Artículos científicos con acceso a texto completo
- Publicados entre 2016 y 2025
- En idioma inglés y español
- Estudios experimentales con resultados medibles (resistencia, absorción, densidad, etc.)
- Que especifique tipo de ladrillo y porcentaje de aditivo

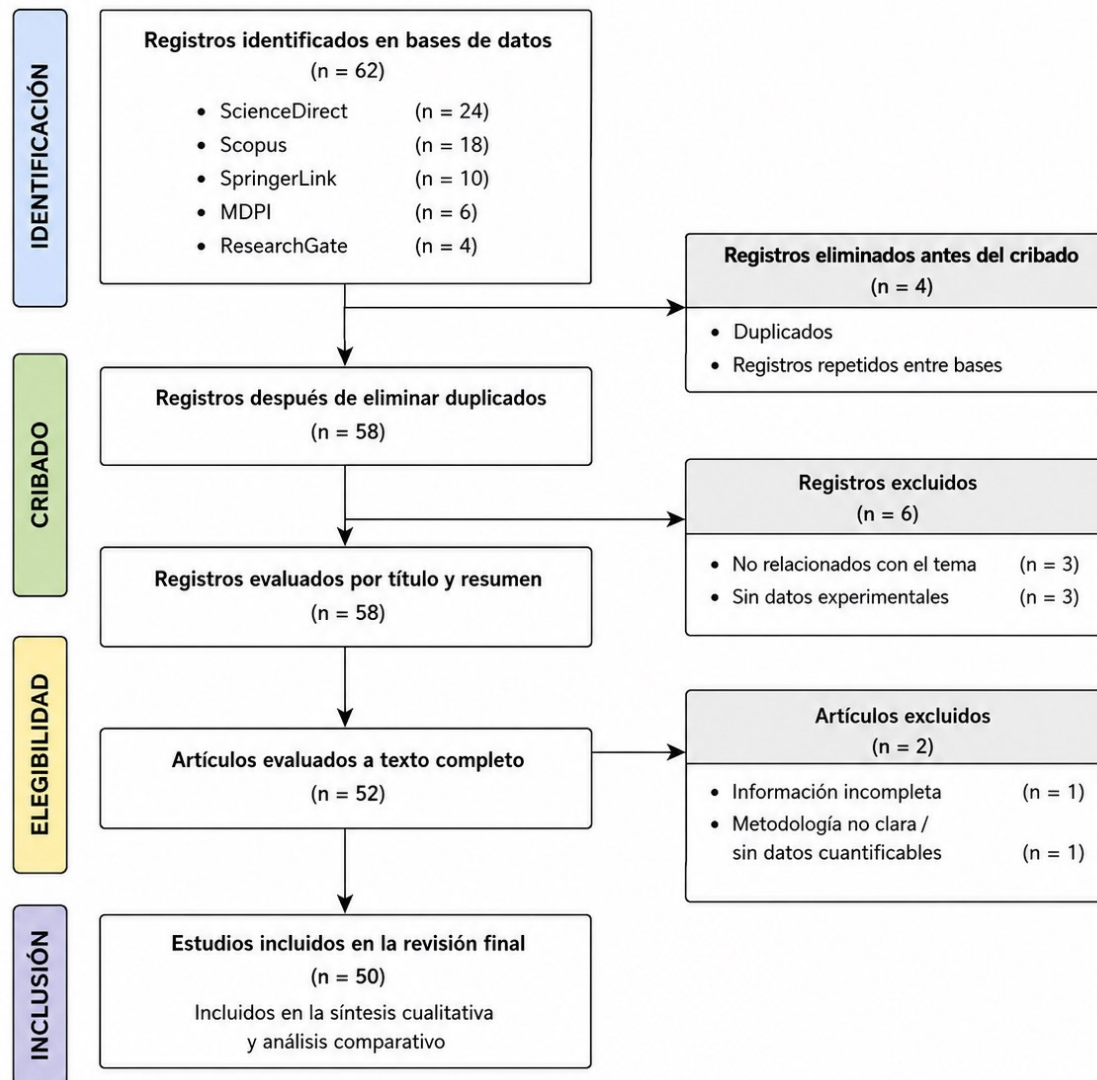
Criterios de exclusión:

- Estudios teóricos o de revisión
- Artículos duplicados
- Investigaciones sin datos cuantificables
- Estudios con información incompleta o poco clara

El proceso de selección de artículos se sistematizo mediante un diagrama de flujo basado en la metodología PRISMA, el cual permitió organizar las etapas de identificación, cribado, elegibilidad e inclusión de los estudios analizados.

Figura 1

Diagrama de flujo del proceso de selección de estudios (adaptado de PRISMA 2020).



En un primer filtro, se encontraron una cierta cantidad de publicaciones. Luego, tras revisar bien los títulos, resúmenes y textos completos, se seleccionaron poco más de 50 trabajos relevantes.

Con la información reunida se elaboraron tablas comparativas que permitieron analizar aspectos como el tipo de ladrillo, el aditivo usado, su proporción, los métodos de ensayo y los resultados obtenidos. También se tomaron en cuenta las condiciones específicas de cada estudio, como el tipo de prueba utilizada y los valores más altos y bajos para cada propiedad.

En todo el proceso se respetaron los principios de ética científica. Solo se usaron datos confiables, provenientes de fuentes académicas reconocidas, y se citaron correctamente todos los autores.

Además, se buscó que la información fuese reproducible y verificable, para garantizar la seriedad del análisis.

RESULTADOS

Los resultados se ordenan por tipo de aditivo para crear una base comparativa clara. Esto permite identificar los comportamientos comunes, los beneficios específicos y las limitaciones técnicas de cada material alternativo utilizado en la creación de ladrillos ecológicos. Esta agrupación facilita la comparación de los resultados y ofrece normas imparciales para estudios posteriores o aplicaciones en el mundo real.

Plásticos reciclados

Dentro del conjunto de estudios analizados, los trabajos enfocados en el uso de plásticos reciclados destacan por su frecuencia y consistencia en los resultados reportados. En total, se revisaron 18 trabajos donde usaron materiales como PET, HDPE, bolsas plásticas, botellas recicladas, entre otros, para fabricar ladrillos ecológicos. Estos estudios coinciden bastante en que además de ser una buena forma de reutilizar residuos plásticos, también mejoran la resistencia del ladrillo y reducen la absorción de agua.

Por ejemplo, Karslıoğlu y Balaban (2021) encontraron que los ladrillos bajaban su densidad en un 20 % y también mejoraba su aislamiento térmico hasta en un 40 %. En el caso de Saravanan y Rao (2023), ellos vieron un aumento de la resistencia entre 10 y 28 %, y que la absorción de agua se redujo bastante (entre 15 % y 35 %), dependiendo de cuánto plástico se agregaba. Helmy (2021) también observó algo parecido: mejoró la estabilidad de la mezcla (15 %) y la absorción bajó un 20 %.

Cumpa (2024), por su parte, dijo que los ladrillos hechos con plásticos pesaban hasta un 30 % menos, lo cual puede ser útil cuando se necesita reducir cargas en obra. Otro autor, Biradar (2022), encontró que la absorción de agua se redujo en un 90 %, y además subió la resistencia a la flexión en 22 %. Yadav (2022) también encontró que la durabilidad en ambientes húmedos mejoró un 35 %, lo que es importante para zonas con lluvias.

Otro estudio que llamó la atención fue el de Ghorpade (2022), que usó mezclas de arena con plástico reciclado y obtuvo resistencias entre 9.72 y 14.72 MPa, con absorción de agua menor al 1 %, mucho mejor que un ladrillo común. Ashraf (2024) incluso llegó más lejos, con 76.85 MPa en ladrillos tipo Lego con PET, y 38.65 MPa usando HDPE, lo que muestra un gran potencial para estos materiales.

También se revisaron propiedades térmicas y acústicas. Bello (2022) explicó que la conductividad térmica bajó a 0.31 W/m·K, y Alan (2015) dijo que la absorción acústica superó

el 75 %, lo cual también es valioso en zonas con mucho ruido. Finalmente, Kulkarni (2022) encontró que además de tener muy poca absorción de agua, los bloques eran resistentes al impacto y abrasión, parecidos a los industriales.

En resumen, estos trabajos muestran que los plásticos reciclados pueden ser muy útiles en la construcción, sobre todo en elementos no estructurales. Aunque sí se recomienda tener cuidado cuando se usa más del 60 % de plástico, ya que eso puede volver el material frágil o difícil de curar si no se mezcla bien con arena.

Tabla 1

Estudios que emplean plásticos reciclados como aditivo en ladrillos ecológicos.

Autor	Aditivo	Tipo de ladrillo	Resultados clave	% Aditivo en mezcla
(KARSLIOĞLU & Balaban, 2021)	Caucho y plástico	Híbrido	Reducción de densidad del 20%, mejora del aislamiento térmico hasta 40%.	10%–30%
(Saravanan & Rao, 2023)	Varios residuos (fibras, plásticos, cenizas)	Ecológico no cocido	Incremento de resistencia de 10 a 28%, reducción de absorción de agua entre 15 y 35% (según el aditivo).	Variable (5%–30%)
(Biradar et al., 2024)	Plástico reciclado	Plástico fundido	Reducción de absorción 90%, incremento de resistencia a flexión 22%.	100%
(Vagestan et al., 2024)	Plásticos varios	Plástico fundido	Incremento de durabilidad en ambientes húmedos 35%.	100%
(Ereño et al., 2025)	Residuos plásticos	Ecobrick	Reducción de residuos hasta 70%.	100%
(Cirino et al., 2023)	Plástico reciclado	Ecológico/	Reducción de absorción 80%, mejora de trabajabilidad en 15%.	Variable
(Acamma & Baisakhi D, 2023)	Plástico fundido LDPE	Compuesto	Resistencia a flexión 3.4 MPa, absorción de agua < 2%.	100%
(Tambunan et al., 2024)	Multicapas de plástico reciclado	Plástico fundido	Densidad baja (0.9 g/cm ³), buena rigidez superficial, resistencia de 3 a 5 MPa.	100%

(Sahani et al., 2022)	Plástico reciclado (HDPE, LDPE)	Ladrillo arena-plástico	Compresión: 9.72–12.28 N/mm ² ; absorción de agua: 0 %; resistencia a tracción: 737–804 MPa.	20–25 % plástico
(Kulkarni et al., 2022)	Plástico reciclado (HDPE, PP)	Ladrillo plástico	HDPE: 11.19 N/mm ² ; PP: 10.02 N/mm ² ; convencional: 10.5 N/mm ² ; absorción agua: HDPE 0.75%, PP 0.37%.	100 % plástico reciclado
(Amjad & Diaz-Elsayed, 2024)	Plástico reciclado	Diversos	Reducción de consumo de agua 26%, ecotoxicidad terrestre reducida 59%.	100%
(Ashraf et al., 2024)	Plástico reciclado (PE, PET)	Ladrillo tipo Lego	Compresión: hasta 76.85 MPa (PET), 38.65 MPa, 26.64 MPa (PE+PET); absorción de agua: 0–0.35 %; densidad: 1.39–1.64–1.46 g/cm ³ .	30–40 % plástico reciclado

Nota: PET: tereftalato de polietileno; HDPE: polietileno de alta densidad; PP: polipropileno.

Los porcentajes de aditivo corresponden a proporciones en masa o volumen según lo reportado en cada estudio analizado.

Fibra de coco

Entre los materiales más usados en los estudios revisados, la fibra de coco tuvo una presencia importante. En total se analizaron 10 investigaciones donde se usó este aditivo en diferentes cantidades, desde 0.2 % hasta 4 %, mayormente en ladrillos de adobe, tierra estabilizada o suelo-cemento.

Por ejemplo, Martinelli et al. (2023) indicaron que la resistencia a tracción mejoró hasta en un 25 %, y también se logró reducir la absorción de agua en un 18 %. Esto se debe a que las fibras se adhieren bien a la mezcla. En el caso de Abdullah y Lee et al. (2017), ellos encontraron que la resistencia a compresión subió un 20 % y la absorción bajó 12 %, lo cual es beneficioso en zonas húmedas. Además, Rajapakse et al. (2022) notaron que la densidad del ladrillo bajó entre 8 y 12 %, y que la mezcla fue más uniforme con dosis moderadas.

Ahmad et al. (2022) también observaron mejoras: la durabilidad aumentó 20 %, la resistencia a compresión subió 12 %, y la absorción disminuyó un 10 %. Lo mismo encontró Gagan et al. (2023), con mejoras de 18 % en compresión y –12 % en absorción. Ferreira et al.

(2022) resaltaron que, con este tipo de fibra, la resistencia a flexión subió un 12 %, y el ladrillo era más resistente a fisuras.

Velasco-Aquino et al. (2020) reportaron que al usar 0.5 % de fibra, la resistencia aumentó de 8.7 a 11.7 MPa (34 %), se redujo la conductividad térmica en un 12 %, y el hinchamiento bajó 2 %. También Hasan et al. (2021) mencionaron una mejora del 18 % en ductilidad y del 20 % en impacto, ideal en zonas donde hay movimientos sísmicos.

Un caso especial fue el de Sanou et al. (2024), quienes encontraron un buen rendimiento usando 0.6 % de fibra y 4 % de cemento, alcanzando una conductividad térmica baja (0.302 W/m·K). Aunque también reportaron una absorción altísima (610 %) cuando no se trataba la fibra. Finalmente, Malayali et al. (2024) concluyeron que los bloques con fibra de coco superaban a los ladrillos normales en resistencia y absorción.

En general, se puede decir que usar fibra de coco ayuda bastante, pero también depende de cuánto se use y de cómo esté tratada. Los mejores resultados se obtuvieron cuando la fibra estaba entre 0.5 % y 1 %, y también fue clave el tipo de mezcla base.

Tabla 2
Estudios que emplean fibra de coco como aditivo en ladrillos ecológicos.

Autor	Aditivo	Tipo de ladrillo	Resultados clave	% Aditivo en mezcla
(Martinelli et al., 2023)	Fibra de coco	Cemento	Incremento de resistencia a tracción hasta 25%, reducción de absorción de agua hasta 18%.	2% a 5%
(Abdullah & Lee, 2017)	Fibra de coco tratada	Cemento	Incremento de resistencia a compresión hasta 20%, reducción de absorción 12%.	1% a 3%
(Rajapakse et al., 2022)	Fibra de coco	Cemento y arcilla	Reducción de densidad de 8–12%, mejora en cohesión del material.	3%–5%
(Ahmad et al., 2022)	Fibra de coco	Concreto	Mejora de durabilidad 20%, aumento de resistencia a compresión 12%, reducción de absorción 10%.	1%–4%
(Gagan et al., 2023)	Fibra de coco	Arcilla cocida	Incremento de resistencia a compresión hasta 18%, reducción de absorción 12%.	0.05
(Ferreira et al., 2022)	Fibra de coco	tierra-cemento	Incremento de resistencia a flexión 12%, cohesión mejorada.	2%–8%

(Velasco-Aquino et al., 2020)	Fibra de coco + aloe vera + cal	Ladrillo de arcilla	Flexión: aumenta 12% con fibra de coco; hinchamiento: reduce 2% (0.5% fibra); conductividad térmica reducida: 12%.	0.5% fibra coco
(Hasan et al., 2021)	Fibra de coco	Compuestos de cemento	Aumento de ductilidad 18%, resistencia a impacto mejorada 20%.	2%–6%
(Malayali et al., 2024)	Fibra de coco	Ladrillo ecológico	Mejora resistencia compresión, absorción reducida; resultados “superiores” a ladrillos convencionales	variado

Nota: Los porcentajes de fibra de coco corresponden a las proporciones utilizadas en cada estudio experimental, expresadas en masa o volumen según la metodología reportada.

Otras fibras naturales

En varios de los artículos revisados se probó el uso de fibras vegetales como sisal, fonio, alfa y Arundo donax. Estas fibras son comunes en regiones rurales y tienen la ventaja de ser baratas y fáciles de conseguir. En total, se encontraron 7 estudios que usaron estos materiales, casi siempre en porcentajes menores al 1 %.

Un estudio de Wang y Abuel-Naga (2025) mostró que con fibras tratadas se logró una mejora de hasta 25 % en compresión y menos agrietamiento superficial (–15 %). Algo similar dijeron Salih et al. (2020), que vieron una resistencia mejorada entre 12 y 28 %, además de menos grietas en el bloque (20 %), lo cual es útil en construcciones rurales. Khriissi y Tilioua (2025) también encontraron buenos resultados: la resistencia a compresión estuvo entre 1.6 y 10.5 MPa, bajó la absorción de agua en 32 % y hubo mejoras térmicas y acústicas en varios casos.

Kasie y Mogne (2025) lograron una resistencia de 13.44 MPa con solo 0.9 % de fibra de sisal, y también una resistencia a flexión de 0.097 MPa, que supera varias veces a ladrillos normales. Además, mencionaron que el costo bajó en un 75 % y que había buena relación entre compresión y flexión ($R^2 = 0.87$). En otro trabajo, Manniello (2022) utilizó hasta 70 % de fibras naturales, y encontró que la resistencia a tracción subió de 2.2 a 3.4 MPa, con una elongación de 2.4 mm. También reportaron que la fibra tenía un módulo elástico de 2.5 GPa y resistencia de 133.9 MPa.

En cuanto a aislamiento, Ouedraogo (2019) trabajó con 0.4 % de paja de fonio, logrando 2.9 MPa en compresión y 1.3 MPa en flexión, además de una disminución del 67 % en

conductividad térmica. Finalmente, Kallou (2025) usó fibras tratadas con rayos UV y redujo la densidad hasta 17 %, logrando 5.48 MPa de compresión, 1.94 MPa en tracción y porosidades entre 23–31 %.

En resumen, estas fibras ofrecen varias ventajas. Mejoran resistencia, reducen peso, aíslan bien, pero su rendimiento final depende del tipo de suelo y de cómo se preparen las fibras.

Tabla 3
Estudios que emplean otras fibras naturales como aditivo en ladrillos ecológicos.

Autor	Aditivo	Tipo de ladrillo	Resultados clave	% Aditivo en mezcla
(Saravanan & Rao, 2023)	Varios residuos (fibras, plásticos, cenizas)	Ecológico no cocido	Incremento de resistencia de 10 a 28%, reducción de absorción de agua entre 15 y 35%.	Variable (5%–30%)
(Wang & Abuel-Naga, 2025)	Fibras naturales, cal, escorias	ladrillo no cocido	Incremento de resistencia a compresión hasta 25%, reducción de agrietamiento 15%	Variable según el material
(Liu & Fan, 2024)	Silicato, microsilica, fibras	Ladrillo sin cocción de alta resistencia	Mejora de cohesión 20%, incremento de resistencia 18%	Variable
(Khrissi & Tilioua, 2025)	Fibras naturales, residuos agroindustriales (bagazo, cáscara arroz, cenizas, etc.)	Ladrillo a base de tierra	Resistencia a compresión: 1.6–10.5 MPa (según aditivo y tratamiento); reducción de absorción hasta 32%.	Variable según los casos
(Manniello et al., 2022)	Fibra natural de Arundo donax	Ladrillo de concreto cilíndrico	Con AR=30, 50 y 70: resistencia a tracción aumentó de 2.2 a 3.4 MPa (vs. 1.6 MPa sin fibra); elongación aumentó hasta 2.4 mm; módulo de elasticidad fibra: 2.5 GPa; resistencia fibra: 133.9 MPa	1 % en peso
(Kallou et al., 2025)	Fibras naturales de alfa y vidrio	Ladrillo de arcilla	Densidad -17% con UV, conductividad térmica reduce hasta 0.6761 W/m·K, resistencia a compresión: máx. 5.48 MPa.	Fibra: 0.5–3%

Nota: Las fibras naturales analizadas incluyen sisal, alfa y Arundo donax. Las proporciones reportadas corresponden a valores experimentales definidos por cada autor.

Otros aditivos no convencionales

En esta revisión también se identificaron estudios que usaron materiales bastante inusuales, como pelo de cerdo, polvo de cáscara de coco (CSP), biochar, mezclas con residuos orgánicos y otras combinaciones experimentales. Aunque no son tan comunes como los plásticos o fibras vegetales, estos aditivos llaman la atención por su bajo costo y por la posibilidad de aplicarlos en contextos locales donde sobran este tipo de desechos.

Helmy et al. (2023), por ejemplo, indicaron que al incorporar estos materiales se redujo el peso del ladrillo en un 18 %, aunque también bajó la resistencia a compresión entre un 10 y 25 %, y la porosidad aumentó. En otro caso, Surehali et al. (2023) observaron que el módulo elástico bajó un 30 %, pero a cambio la absorción de impacto subió un 50 %, lo que puede ser útil cuando se quiere mayor ductilidad o amortiguación.

García-Troncoso et al. (2022) también vieron que, aunque la resistencia a compresión cayó un 15 %, la tenacidad aumentó 20 % y la deformación un 18 %, lo cual sugiere una buena capacidad de absorción de energía. Un enfoque interesante fue el de Jha & Kewate (2024), donde con un 40 % menos de peso, se logró un ladrillo aceptable para usar en muros divisorios interiores.

En otras investigaciones, como la de Liu & Fan (2024), se encontró que combinar residuos orgánicos con tierra estabilizada permitió una mejora del 20 % en cohesión interna y un 18 % más de resistencia. Sankar et al. (2023) resaltaron la idea de que este tipo de mezclas ayuda a reducir residuos en hasta 30 %, lo que también aporta desde el enfoque ambiental.

Un trabajo de Kumar et al. (2024) propuso una mezcla híbrida con varios residuos: cenizas, estiércol, fibras y restos industriales. Obtuvieron resistencias entre 3.20 y 3.75 MPa, porosidades de 9.4–13.4 %, absorciones de 11.4–12.9 %, y densidades que iban desde 1430 hasta 1850 kg/m³. La mezcla llamada AB-1 fue la que tuvo mejor desempeño.

Sobre el CSP, Moujoud et al. (2023) informaron que con 30 % de polvo de cáscara de coco a 1100 °C, se logró una conductividad térmica baja (0.37 W/m·K) y una resistencia a tracción de 9.88 MPa, aunque también aumentaron la porosidad y la absorción con dosis más altas.

Riedel et al. (2020) probaron el pelo de cerdo como refuerzo y lograron una mejora del 20 % en resistencia a flexión y 15 % menos grietas. De manera similar, Thanushan & Navaratnarajah (2020) observaron un aumento del 25 % en tenacidad y una mejora del 18 % en resistencia a tracción.

En resumen, aunque estos materiales alternativos no siempre mejoran todas las propiedades estructurales, sí ofrecen beneficios como menor peso, mayor tenacidad o mejor comportamiento térmico, lo cual puede ser útil dependiendo del uso que se le quiera dar al ladrillo.

Tabla 4
Estudios que emplean aditivos poco convencionales en ladrillos ecológicos.

Autor	Aditivo	Tipo de ladrillo	Resultados clave	% Aditivo en mezcla
(Helmy et al., 2023)	PET reciclado	Híbrido	Mejora de estabilidad dimensional 15%, reducción de absorción 20%.	5%–15%
(Jha & Kewate, 2024)	Residuos varios	Ecoladrillo PET	Reducción de peso 40%, adecuada resistencia para divisiones interiores.	0-20% según el material
(Li, 2022)	PET, residuos secos	Ecobricks	Reducción de peso 25%, resistencia básica a compresión 1.2 MPa.	100%
(Singh et al., 2023)	PET, PE reciclado	Plástico fundido	Aumento de resistencia a humedad 50%.	100%
(Sankar et al., 2023)	Subproductos del coco (madera, cascara y fibra)	Variado	Aplicabilidad sostenible, reducción de residuos 30%.	variable
(Suganya et al., 2016)	Tiras de PET reciclado	Ladrillo con ceniza volante	Resistencia a compresión: 18.67 N/mm ² (1% PET); módulo de ruptura: 5.57 N/mm (0.5% PET); absorción de agua: 2-10%.	0.5%–2%
(Kumar et al., 2024)	Pinus-Roxburghii, abaca, trigo, estiércol, madera residual, resina fenólica y yeso	Ladrillo híbrido	Resistencia a compresión: 3.20–3.75 N/mm ² ; porosidad: 9.4-13.4 %; absorción agua: 11.4-12.9 %; densidad: 1430-1850 kg/m ³ . A 1100 °C con 30 % CSP: conductividad térmica reducida a 0.37 W/m·K;	Composición variable según el tipo (AB-1 a AB-4)
(Moujoud et al., 2023)	Polvo de cáscara de coco (CSP)	Ladrillo cocido (arcilla)	resistencia a tracción adecuada: 9.88 MPa; incremento de porosidad y absorción con más CSP.	0 %, 10 %, 20 %, 30 %

(Thanushan & Navaratnarajah, 2020)	Banana y coco	Arcilla	Incremento de tenacidad 25%, resistencia a tracción mejorada 18%.	2%–5%
(Rauniyar et al., 2024)	HDPE reciclado	Ladrillo de plástico	Hasta 35% HDPE mantiene buena resistencia compresiva y absorción reducida.	≤35%

Nota: CSP: polvo de cáscara de coco. Los porcentajes de incorporación dependen del diseño experimental reportado en cada investigación.

Fibra de coco con ceniza

Varios estudios también han probado usar la fibra de coco junto con su propia ceniza (CFA) como aditivo para mejorar los ladrillos ecológicos. La idea es aprovechar la resistencia mecánica de la fibra y las propiedades puzolánicas de la ceniza, buscando una mezcla que no solo sea más fuerte, sino también más fácil de trabajar.

Por ejemplo, Vagestan et al. (2024) lograron una resistencia a compresión de 33.77 MPa a los 28 días usando un 5 % de CFA, lo cual es un valor bastante alto comparado con el control. Sin embargo, cuando subieron al 15 % de CFA, la resistencia bajó en un 24.8 %, lo que indica que pasarse de la dosis puede debilitar el material. También reportaron que la trabajabilidad disminuyó, ya que el slump bajó de 120 mm a 90 mm, lo cual complica un poco la colocación de la mezcla.

Nguyen et al. (2025) también obtuvieron buenos resultados. En su caso, al combinar fibra con ceniza de coco, la resistencia a compresión mejoró un 14 % y además el peso total del ladrillo se redujo un 10 %, lo que facilita su uso en obra y reduce la carga en la estructura.

En resumen, la combinación de fibra de coco con CFA parece ser una opción prometedora, siempre que se controle bien la cantidad usada. Esta mezcla mejora varios aspectos clave como resistencia, peso y flexibilidad, y se puede adaptar a diferentes necesidades dependiendo del uso que se le dé al ladrillo.

Tabla 5

Estudios que emplean fibra de coco con ceniza como aditivo en ladrillos ecológicos.

Autor	Aditivo	Tipo de ladrillo	Resultados clave	% Aditivo en mezcla
(Vagestan et al., 2024)	Fibra de coco y ceniza de fibra de coco (CFA)	Hormigón	Resistencia máxima: 33.77 MPa a 28 días con 5% CFA; reducción del 24.8% con 15% CFA)	Ceniza de fibra de coco: 0%, 5%, 10%, 15%

(Nguyen et al., 2025)	Fibra de coco + ceniza	Adobe no cocido	Aumento de resistencia a compresión 14%, reducción de peso 10%	5%–15%
(Ramesh Kumar & Kesavan, 2020)	Ceniza de fibra de coco (CFA)	Ladrillo no cocido	Buena resistencia compresiva, baja resistencia a tracción, mejora ductilidad	5%–15%

Nota: CFA: ceniza de fibra de coco. Las proporciones indicadas corresponden a porcentajes de reemplazo o incorporación reportados por los autores.

Cenizas agroindustriales

En algunos artículos también se exploró el uso de cenizas como aditivo, sobre todo las que vienen de residuos industriales o agrícolas, como la ceniza volante o la de biomasa. Aunque no son tan comunes como otros materiales, los resultados que se encontraron fueron interesantes.

Por ejemplo, Jaramillo et al. (2025) vieron que, al agregar este tipo de ceniza en ladrillos estabilizados, la resistencia a compresión subió un 19 %, y además se obtuvo más estabilidad dimensional. Y lo mejor es que se usaron cantidades pequeñas, lo cual es práctico para ladrillos que no cargan mucho peso.

También está el estudio de Raut et al. (2018), donde con ceniza volante se logró una resistencia de hasta 25.9 MPa (a los 28 días), con absorciones de entre 13 y 16 %, y porosidades del 21.7 al 23.85 %. La densidad de esos ladrillos estuvo entre 1610 y 1860 kg/m³, lo cual es aceptable si se trata de piezas no estructurales que igual deben aguantar humedad.

Aunque no hay demasiados estudios con este tipo de cenizas, la mayoría coincide en que mejoran la resistencia y la cohesión interna del material. Además, al ser un residuo reciclable, ayuda a reducir el impacto ambiental del ladrillo tradicional.

Tabla 1

Estudios que emplean cenizas agroindustriales como aditivo en ladrillos ecológicos.

Autor	Aditivo	Tipo de ladrillo	Resultados clave	% Aditivo en mezcla
(Saravanan & Rao, 2023)	Varios residuos (fibras, plásticos, cenizas)	Ecológico no cocido	Incremento de resistencia de 10 a 28%, reducción de absorción de agua entre 15 y 35%.	Variable (5%–30%)

(Khrissi & Tilioua, 2025)	Fibras naturales, residuos agroindustriales	Ladrillo de tierra	Resistencia a compresión: 1.6–10.5 MPa (según aditivo y tratamiento); reducción de absorción hasta 32%.	Variable (revisión de múltiples casos)
(Jaramillo et al., 2025)	Ceniza de paja y bagazo	Cocido	Mejora de resistencia a compresión 19%, estabilidad dimensional mejorada	10%–25%
(Raut et al., 2018)	Ceniza volante + polvo de cantera	Ladrillo de geo polímero	Compresión: hasta 25.9 MPa (M1, 28 días); absorción de agua: 13% (M1) a 16% (M4); densidad: 1860–1610 kg/m ³ ; porosidad: 21.7–23.85%	FA: 60–75%

Nota: FA: ceniza volante (fly ash). Los porcentajes corresponden a la proporción de ceniza utilizada en cada mezcla experimental.

Caucho reciclado

Cuatro estudios evaluaron el caucho reciclado, fabricado principalmente con neumáticos fuera de uso. Para mejorar la absorción de impactos, la elasticidad y la adsorción acústica y térmica de los cauchos ecológicos, este material se incorpora en forma de partículas o fibras. Además, su inclusión responde a la necesidad de disminuir el impacto ambiental de los residuos de caucho, cuya degradación se considera lenta.

Los resultados muestran una notable mejora de la ductilidad y la resistencia al impacto, sobre todo en los bloques de hormigón y ecobrick. Sin embargo, varios estudios sugieren que, si se aumenta la cantidad de caucho sin un agente estabilizador complementario, puede producirse una reducción del 15% en la resistencia a la compresión.

Destaca el trabajo de Cumpa et al. (2023) que combinó caucho y PET reciclado para producir bloques de liviano con resistencia aceptable y buena integridad estructural. Por otro lado, los estudios de Surehali et al. (2023) y García-Troncoso et al. (2022) reportan comportamientos favorables del hormigón con contenidos de caucho que oscilan entre el 5% y el 15%.

Tabla 2

Estudios que emplean caucho reciclado como aditivo en ladrillos ecológicos.

Autor	Aditivo	Tipo de ladrillo	Resultados clave	% Aditivo en mezcla
(Helmy et al., 2023)	Caucho, vidrio y arcilla reciclada	Concreto ligero	Reducción de peso 18%, incremento de porosidad superficial	10%–20%

(Surehali et al., 2023)	Caucho reciclado	Hormigón	Disminución del módulo elástico en 30%, aumento de deformabilidad	5%–15%
(García-Troncoso et al., 2022)	Caucho reciclado	Hormigón	Disminución de resistencia a compresión 15%, aumento de resistencia a impacto	5%–15%
(Cumpa et al., 2023)	Caucho y PET reciclado	Ecobrick modular	Reducción de peso 30%, buena integridad para uso estructural	15%–30%

Nota: Los porcentajes de caucho reciclado fueron definidos según las condiciones de fabricación de cada estudio analizado.

DISCUSIÓN

El análisis conjunto de los estudios revisados permite identificar tendencias claras en el comportamiento de los ladrillos ecológicos modificados con aditivos no convencionales. En términos generales, estos materiales contribuyen a mejorar propiedades específicas, sin embargo, su efectividad depende tanto del tipo de aditivos como de la proporción empleada y las condiciones de fabricación.

Plásticos y caucho: aligeran, pero hay que tener cuidado

El PET y el HDPE, que son plásticos reciclados, ayudaron a bajar bastante el peso de los ladrillos. En algunos casos hasta en un 40 %. Además, mejoraron cosas como la resistencia al agua y al calor. Pero cuando se usaron más del 30 %, bajó la resistencia a compresión. Lo mismo pasó con el caucho. Da flexibilidad y buena absorción de impacto, pero si se usa mucho, el ladrillo se vuelve débil. Lo ideal fue mezclar estos residuos con otros como vidrio o arcilla para que la mezcla quede más equilibrada.

Fibras vegetales: mejoran la cohesión y la resistencia a tracción

Las fibras como la de coco, banano o sisal ayudaron a que los bloques resistan más la tracción y no se rompan tan fácil. También aportaron algo en la resistencia térmica y la flexión. Pero si se pone mucha fibra, el ladrillo queda poroso y pierde compacidad. Un resultado interesante fue cuando se usó fibra de coco junto con su ceniza. Esa mezcla reforzó bastante el ladrillo y duró más.

Cenizas agroindustriales: buena resistencia y menos absorción

Las cenizas del bagazo, la paja o la cascarilla de arroz funcionaron bien como aditivos.

Algunas mezclas llegaron a más de 25 MPa de resistencia, sobre todo en ladrillos tipo geopolímero. Estas cenizas actúan como relleno fino o como puzolana. Mejoran la mezcla y ayudan a que el ladrillo sea más denso. También aportan en sostenibilidad porque se aprovechan residuos agrícolas. El problema es que no todos los estudios calcinan igual ni analizan bien la composición de las cenizas, así que los resultados no siempre se repiten.

Problemas comunes en los estudios

Hay mucha diferencia entre los trabajos. Algunos usan mezclas distintas, otros aplican métodos diferentes o ni siquiera usan las mismas unidades. Eso hace difícil comparar o sacar una fórmula clara. Además, casi nadie analiza si el ladrillo resiste con el tiempo, ni si soporta cambios de clima o cuál es su impacto ambiental completo.

Contradicciones en la investigación

La evidencia sobre ladrillos ecológicos elaborados con materiales reciclados o alternativos no es uniforme. En propiedades mecánicas, varios estudios informan un aumento de la resistencia a compresión cuando se incorporan plásticos reciclados (PET/HDPE/PP) como fracción de agregado fino mediante compresión y fusión parcial; sin embargo, otros registran disminuciones cuando el polímero se usa por encima de un umbral de reemplazo, cuando no se logra compatibilidad o cuando la presión de compactación no es suficiente para consolidar. En absorción de agua sucede lo inverso, existe estudios que reportan menor absorción por formación de poros cerrados o sellados superficial con polímero, frente a otros que evidencian absorción más alta.

Limitaciones en estudio

Diversos estudios revisados presentan limitaciones que condicionan la aplicabilidad de los resultados. Por ejemplo, Sanou et al. (2024) reportaron absorciones extremadamente altas cuando la fibra de coco no recibió tratamiento, lo que restringe su uso en zonas húmedas. De manera similar, Vagestan et al. (2024) evidenciaron que al superar el 5% de ceniza de coco la resistencia disminuye notablemente, mostrando la sensibilidad a la dosificación. En el caso del caucho reciclado, Helmy et al. (2023) y García-Troncoso et al. (2022) señalaron reducciones en la resistencia a compresión, lo que limita su empleo estructural. Finalmente, Moujoud et al. (2023) y Ramesh Kumar & Kesavan (2020) advirtieron que un exceso de aditivo incrementa la porosidad y reduce la resistencia a tracción, evidenciando la necesidad de estandarizar tratamientos y proporciones.

Qué se puede hacer a futuro

Para avanzar en el desarrollo de ladrillos ecológicos, es fundamental realizar estudios que no solo experimenten con diferentes proporciones de aditivos no convencionales, sino que también exploren la combinación de estos en distintas mezclas. Evaluar rangos precisos, por ejemplo, entre 10% y 40% para plásticos reciclados, 0.5% a 3% para fibras vegetales y 5% a 20% para cenizas agroindustriales, permitirá identificar el equilibrio óptimo que maximice la resistencia, durabilidad y sostenibilidad del material. Además, combinar aditivos como fibras con cenizas o plásticos con fibras vegetales puede generar efectos sinérgicos que mejoran simultáneamente propiedades como la tenacidad, la resistencia a la tracción, la reducción de porosidad y el comportamiento térmico del ladrillo.

Estos enfoques combinados deben estar respaldados por análisis estadísticos y modelaciones predictivas, incluyendo simulaciones e inteligencia artificial, para acelerar la identificación de proporciones eficientes sin tanto ensayo y error. Así, las futuras investigaciones podrán profundizar en la interacción entre diferentes tipos y cantidades de aditivos, estandarizando resultados y promoviendo una producción ecológica realmente optimizada.

Normativa Vigente

Actualmente, no existen normativas específicas que regulen el uso de aditivos no convencionales en ladrillos ecológicos, lo que dificulta su certificación y estandarización. Las regulaciones actuales solo consideran materiales tradicionales y no contemplan las características de plásticos, fibras o cenizas usadas como aditivos. Se necesita urgentemente una actualización que integre criterios normativos técnicos y ambientales para apoyar la aceptación y uso seguro de estos materiales. Además, normas homogéneas a nivel internacional favorecerían la investigación y el desarrollo tecnológico, promoviendo una construcción sostenible basada en la economía circular.

CONCLUSIONES

El presente estudio permitió evidenciar que el uso de aditivos no convencionales en ladrillos ecológicos constituye una alternativa viable para mejorar sus propiedades físicas y mecánicas, así como para reducir el impacto ambiental asociado a los materiales tradicionales.

Los resultados muestran que los plásticos reciclados y el caucho contribuyen significativamente a la reducción de densidad y absorción de agua, aunque su uso en proporciones elevadas puede afectar negativamente la resistencia a compresión. Por su parte,

las fibras vegetales, especialmente la fibra de coco, mejoran la cohesión interna y la resistencia a tracción, siendo más efectivas en bajas proporciones.

Asimismo, las cenizas agroindustriales presentan un comportamiento favorable como material puzolánico, incrementando la resistencia y mejorando la estabilidad del ladrillo. No obstante, la variabilidad en los métodos de preparación limita la comparabilidad de resultados.

Finalmente, se concluye que la combinación de diferentes tipos de aditivos representa una línea prometedora para el desarrollo de materiales más eficientes y sostenibles. Sin embargo, es necesario avanzar hacia la estandarización de metodologías y establecer normativas específicas que permiten validar su uso a nivel técnico e industrial.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abdullah, A. C., & Lee, C. C. (2017). Effect of Treatments on Properties of Cement-fiber Bricks Utilizing Rice Husk, Corncob and Coconut Coir. *Procedia Engineering*, 180, 1266–1273. <https://doi.org/10.1016/J.PROENG.2017.04.288>

Aamma, S., & Baisakhi D. (2023). *Bricks Made Out of Plastic*. www.ijfmr.com

Ahmad, J., Majdi, A., Al-Fakih, A., Deifalla, A. F., Althoey, F., El Ouni, M. H., & El-Shorbagy, M. A. (2022). Mechanical and Durability Performance of Coconut Fiber Reinforced Concrete: A State-of-the-Art Review. *Materials 2022, Vol. 15, Page 3601*, 15(10), 3601. <https://doi.org/10.3390/MA15103601>

Amjad, M. S., & Diaz-Elsayed, N. (2024). Evaluating the environmental impacts of brick production from waste plastic. *Manufacturing Letters*, 41, 1683–1695. <https://doi.org/10.1016/j.mfglet.2024.09.196>

Ashraf, N., El-Monayeri, O. D., & Hassan, H. A. (2024). Lego-like Bricks Manufacturing Using Recycled Polyethylene (PE) and Polyethylene Terephthalate (PET) Waste in Egypt. *Sustainability 2024, Vol. 16, Page 8567*, 16(19), 8567. <https://doi.org/10.3390/SU16198567>

Biradar, S. V., Srujan Kumar, A., Vijaya Gowri, T., & Alisha, S. S. (2024). Comparative Study on Properties of Plastic Bricks with Conventional Bricks. *Journal of Physics: Conference Series*, 2779(1), 012088. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2779/1/012088>

Cirino, E., Curtis, S., Wallis, J., Thys, T., Brown, J., Rolsky, C., & Erdle, L. M. (2023). Assessing benefits and risks of incorporating plastic waste in construction materials.

Frontiers in Built Environment, 9, 1206474.

<https://doi.org/10.3389/FBUIL.2023.1206474/BIBTEX>

- Cumpa, O. O., Lizarzaburu, D., D, J., & Benittes, E. (2023). Recycling of Rubber and Polyethylene Terephthalate (PET) to Produce Ecological Bricks in Perú. *Chemical Engineering Transactions*, 101, 2023. <https://doi.org/10.3303/CET23101034>
- Ereño, J., Cayanan, J. E., Santiago, N., Javier, V. D., Somera, K. A., & Tan, J. (2025). *Eco Bricks and Sustainability: A Scientific Perspective on Waste-Based Materials*. <https://doi.org/10.20944/PREPRINTS202505.0810.V1>
- Ferreira, G. M. G., Cecchin, D., Valadão, I. C. R. P., da Silva, T. R., do Carmo, D. de F., Moll Hüther, C., Ferreira, F., & de Azevedo, A. R. G. (2022). Evaluation of the Technological Properties of Soil–Cement Bricks with Incorporation of Coconut Fiber Powder. *Eng 2022, Vol. 3, Pages 311-324*, 3(3), 311–324. <https://doi.org/10.3390/ENG3030023>
- Gagan, D, N., A, A. J. S., & J, T. (2023). Experimental Investigation on Brick with the Partial Replacement of Coconut Fibre. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*, 11(6), 2773–2778. <https://doi.org/10.22214/IJRASET.2023.54142>
- Garcia-Troncoso, N., Acosta-Calderon, S., Flores-Rada, J., Baykara, H., Cornejo, M. H., Riofrio, A., & Vargas-Moreno, K. (2022). Effects of Recycled Rubber Particles Incorporated as Partial Sand Replacement on Fresh and Hardened Properties of Cement-Based Concrete: Mechanical, Microstructural and Life Cycle Analyses. *Materials 2023, Vol. 16, Page 63*, 16(1), 63. <https://doi.org/10.3390/MA16010063>
- Hasan, K. M. F., Eter, P. ', Gy", G., Horváth, G., Horváth, H., Os Bak, M., Alpár, T., & Alpár, A. (2021). A state-of-the-art review on coir fiber-reinforced biocomposites. *RSC Advances*, 11(18), 10548–10571. <https://doi.org/10.1039/D1RA00231G>
- Helmy, S. H., Tahwia, A. M., Mahdy, M. G., Abd Elrahman, M., Abed, M. A., & Youssf, O. (2023). The Use of Recycled Tire Rubber, Crushed Glass, and Crushed Clay Brick in Lightweight Concrete Production: A Review. *Sustainability 2023, Vol. 15, Page 10060*, 15(13), 10060. <https://doi.org/10.3390/SU151310060>
- Jaramillo, H. Y., Vasco-Echeverri, O., López-Barrios, R., & García-León, R. A. (2025).

- Optimization of Bio-Brick Composition Using Agricultural Waste: Mechanical Properties and Sustainable Applications. *Sustainability* 2025, Vol. 17, Page 1914, 17(5), 1914. <https://doi.org/10.3390/SU17051914>
- Jha, A. K., & Kewate, S. P. (2024). *Manufacturing of Eco Bricks: A Sustainable Solution for Construction*. 28. <https://doi.org/10.3390/ENGPROC2024066028>
- Kallou, A., Debieb, F., & Kenai, S. (2025). Performance of compressed earth blocks reinforced with natural fibres. *Budownictwo i Architektura*, 24(1), 25–49. <https://doi.org/10.35784/bud-arch.6179>
- KARSLIOĞLU, A., & Balaban, E. (2021). Insulation Properties of Bricks with Waste Rubber and Plastic: A Review. *Journal of Nature, Science & Technology*, 1(1), 20–27. <https://doi.org/10.36937/janset.2021.001.004>
- Kasie, Y. M., & Mogne, A. Y. (2025). Improvement of mechanical properties of adobe brick reinforced with sisal fiber. *Discover Materials*, 5(1). <https://doi.org/10.1007/s43939-025-00245-3>
- Khrissi, Y., & Tilioua, A. (2025). Development and characterization of eco-friendly earth bricks stabilized with date palm waste fibers for sustainable construction. *Cleaner Waste Systems*, 11(January), 100283. <https://doi.org/10.1016/j.clwas.2025.100283>
- Kulkarni, P., Ravekar, V., Rama Rao, P., Waigokar, S., & Hingankar, S. (2022). Recycling of waste HDPE and PP plastic in preparation of plastic brick and its mechanical properties. *Cleaner Materials*, 5(April), 100113. <https://doi.org/10.1016/j.clema.2022.100113>
- Kumar, N., Mehta, V., Kumar, S., Singh, J. P., Kumar, R., Sharma, S., Dwivedi, S. P., Kozak, D., Lozanovic, J., & Abbas, M. (2024). An investigation of various properties of hybrid bricks using Natural fibers and waste fiber-based materials. *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*, 19. <https://doi.org/10.1177/15589250241240073>
- Li, Y. (2022). Research on Properties of Ecobricks and its Possible Applications. *Highlights in Science, Engineering and Technology*, 28, 107–114. <https://doi.org/10.54097/HSET.V28I.4095>
- Liu, H. D., & Fan, L. (2024). Optimization and mechanism analysis of a compound additive for unfired bricks made of construction and demolition wastes. *Frontiers in Materials*,

11, 1308884. <https://doi.org/10.3389/FMATS.2024.1308884/BIBTEX>

- Malayali, A. B., R, V., Seikh, A. H., & Iqbal, A. (2024). Investigation and performance analysis of eco-friendly coco fiber concrete hybridized with CNT blend. *Heliyon*, *10*(12), e33031. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e33031>
- Manniello, C., Cillis, G., Statuto, D., Di Pasquale, A., & Picuno, P. (2022). Concrete Blocks Reinforced with *Arundo donax* Natural Fibers with Different Aspect Ratios for Application in Bioarchitecture. *Applied Sciences* 2022, *Vol. 12*, Page 2167, *12*(4), 2167. <https://doi.org/10.3390/APP12042167>
- Martinelli, F. R. B., Ribeiro, F. R. C., Marvila, M. T., Monteiro, S. N., Filho, F. da C. G., & Azevedo, A. R. G. de. (2023). A Review of the Use of Coconut Fiber in Cement Composites. *Polymers* 2023, *Vol. 15*, Page 1309, *15*(5), 1309. <https://doi.org/10.3390/POLYM15051309>
- Moujoud, Z., Harrati, A., Manni, A., Naim, A., El Bouari, A., & Tanane, O. (2023). Study of fired clay bricks with coconut shell waste as a renewable pore-forming agent: Technological, mechanical, and thermal properties. *Journal of Building Engineering*, *68*(December). <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2023.106107>
- Nguyen, D. N., Le, T. T. T., Ngo, S. H., & Nguyen, V. D. (2025). Effect of Coconut Fiber Content on the Properties of Unfired Building Bricks Incorporating Thermal Power Plant Ashes. *Periodica Polytechnica Civil Engineering*, *69*(2), 599–610. <https://doi.org/10.3311/PPCI.38299>
- Rajapakse, A. M., Mudunkotuwa, D. Y., Sanjula, S. N., Nishantha, K., & Bandara, T. R. (2022). Cement and Clay Bricks Reinforced with Coconut Fiber and Fiber Dust. *Advances in Technology*, *2022*(3), 233–248. <https://doi.org/10.31357/AIT.V2I3.5534>
- Ramesh Kumar, G. B., & Kesavan, V. (2020). Study of structural properties evaluation on coconut fiber ash mixed concrete. *Materials Today: Proceedings*, *22*, 811–816. <https://doi.org/10.1016/J.MATPR.2019.10.158>
- Rauniyar, A., Nakrani, R. K., Narpala, S. R., Nehaun, & Arun, S. (2024). An evaluation of the use of plastic waste in the manufacture of plastic bricks. *Discover Civil Engineering*, *1*(1). <https://doi.org/10.1007/s44290-024-00045-3>

- Raut, A., Bhasker, T., Bhasker, S., Sreelatha, D., Ibrahim, S. M., & Thriveni, R. (2018). Experimental investigation on geopolymer brick by using fly ash and quarry dust. *International Journal of Advance Research, Ideas and Innovations in Technology*, 4(2), 1810–1817.
- Sahani, K., Joshi, B. R., Khatri, K., Magar, A. T., Chapagain, S., & Karmacharya, N. (2022). Mechanical Properties of Plastic Sand Brick Containing Plastic Waste. *Advances in Civil Engineering*, 2022. <https://doi.org/10.1155/2022/8305670>
- Sankar, A., Srinivasarao, S. V., Sivasankaran, S., Basha, A. F. K., & Ismail, Z. (2023). Survey on Applications of Coconut Timber, Shell and Coir in Construction Industry. *AIP Conference Proceedings*, 2643(1). <https://doi.org/10.1063/5.0110298/2872886>
- Saravanan, J., & Rao, P. V. (2023). Past investigations on development of sustainable bricks – A comprehensive review. *Sustainable Chemistry for the Environment*, 3, 100030. <https://doi.org/10.1016/J.SCENV.2023.100030>
- Singh, A., Srivastava, A. K., Singh, G., Singh, A. D., Singh, H. K., Kumar, A., & Singh, G. K. (2023). Utilization of Plastic Waste for Developing Composite Bricks and Enhancing Mechanical Properties: A Review on Challenges and Opportunities. *Advances in Polymer Technology*, 2023. <https://doi.org/10.1155/2023/6867755>
- Suganya, S., Alan, S., Professor, A., Student, P., & Student, U. (2016). A Study on Mechanical Properties of fly ash Brick with Waste Plastic Strips. *International Journal of Applied Engineering Research*, 10(53). <https://www.researchgate.net/publication/313030157>
- Surehali, S., Singh, A., & Biligiri, K. P. (2023). A state-of-the-art review on recycling rubber in concrete: Sustainability aspects, specialty mixtures, and treatment methods. *Developments in the Built Environment*, 14, 100171. <https://doi.org/10.1016/J.DIBE.2023.100171>
- Tambunan, L., Mufrida, C., & Larasati, D. (2024). Study of mechanical properties of multilayer composite plastic blocks with various materials. *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*, 23(4), 1329–1338. <https://doi.org/10.1080/13467581.2023.2265139>

- Thanushan, K., & Navaratnarajah, S. (2020). *A Comparative Study on the Influence of Banana and Coconut Fibre on Stabilized Soil Blocks*. <https://doi.org/10.21203/RS.3.RS-122119/V1>
- Vagestan, P. K., Periyasamy, M., Pathikonda, P., Kiran, U., Yadav, S. P., Zahid, M., & Avula, D. (2024). Enhancing the strength properties of concrete using coconut fiber and coconut fiber ash. *AIP Conference Proceedings*, 3037(1). <https://doi.org/10.1063/5.0196073/3280487>
- Velasco-Aquino, A. A., Espuna-Mujica, J. A., Perez-Sanchez, J. F., Zuñiga-Leal, C., Palacio-Perez, A., & Suarez-Dominguez, E. J. (2020). Compressed earth block reinforced with coconut fibers and stabilized with aloe vera and lime. *Journal of Engineering, Design and Technology*, 19(3), 795–807. <https://doi.org/10.1108/JEDT-02-2020-0055>
- Wang, Y., & Abuel-Naga, H. (2025). Unfired Bricks from Wastes: A Review of Stabiliser Technologies, Performance Metrics, and Circular Economy Pathways. *Buildings*, 15(11). <https://doi.org/10.3390/BUILDINGS15111861>