

UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL



Ladrillos de arcilla sin cocción reforzados con fibra de cabuya y cemento tipo I: una alternativa sostenible para la construcción

TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE BACHILLER EN INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL

AUTOR

Angie Tatiana Briones Diaz

ASESOR

Angel Antonio Ruiz Pico

<https://orcid.org/0000-0003-2638-0593>

Chiclayo, 2023

ARTICULO DE INVESTIGACIÓN

INFORME DE ORIGINALIDAD

23%	21%	12%	8%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	2%
2	www.mdpi.com Fuente de Internet	2%
3	hdl.handle.net Fuente de Internet	2%
4	tesis.usat.edu.pe Fuente de Internet	1%
5	dspace.ucuenca.edu.ec Fuente de Internet	1%
6	1library.co Fuente de Internet	1%
7	Yeddula Bharath Simha Reddy, S. Praburanganathan, Minakshi Mishra. "Experimental investigation on the fiber reinforced ash-based geopolymer concrete with Musa basjoo fibers", Materials Today: Proceedings, 2022 Publicación	1%

Índice

Resumen	4
Abstract	5
Introducción	6
Materiales	8
Metodología	8
Ensayos aplicados	9
Ensayo de Variación Dimensional	9
Alabeo	10
Densidad.....	10
Absorción	10
Succión.....	10
Resistencia a la compresión	11
Resultados y discusión	12
Variación Dimensional, Alabeo y Densidad.....	12
Absorción y Succión	12
Resistencia a la Compresión	13
Discusión.....	14
Conclusiones	17
Referencias	18

Resumen

Esta investigación propone una alternativa para la producción de ladrillos de arcilla sin cocer mediante la incorporación de fibra de cabuya y cemento tipo I. El objetivo es evaluar las propiedades físicas y mecánicas de estos ladrillos y compararlos con los ladrillos cocidos convencionales. Los ladrillos propuestos se fabricaron utilizando suelo obtenido de una fábrica de ladrillos, y se agregó fibra de cabuya en proporciones del 10%, 15% y 20%, junto con un 25% de cemento tipo I. Después de ser dejados secar durante 28 días, se determinaron las propiedades físicas y mecánicas de los ladrillos siguiendo la norma ASTM C67. Los ladrillos cocidos convencionales tenían un peso de 2.8 kg, un porcentaje de absorción del 20.2% y una resistencia a la compresión de 1.3 MPa. Los ladrillos propuestos tenían un peso de 3.6 kg, un porcentaje de absorción del 18.65% y una resistencia a la compresión de 5.3 MPa. Se encontró que la mejor dosificación era del 20% de fibra de cabuya y el 25% de cemento tipo I, lo que lo convierte en una alternativa a los ladrillos convencionales en aplicaciones de albañilería, ya que cumple con la norma ASTM C67. Los ladrillos propuestos también tenían un menor porcentaje de absorción, lo que indica una mayor durabilidad y resistencia a la intemperie. En general, esta investigación hace una contribución a los campos técnicos, sociales y ambientales al proponer una alternativa a los ladrillos cocidos convencionales.

Palabras clave: Ladrillos convencionales, Ladrillos de arcilla sin cocción, Fibra de cabuya.

Abstract

This research proposes an alternative for the production of unfired clay bricks by incorporating cabuya fiber and type I cement. The objective is to evaluate the physical and mechanical properties of these bricks and compare them with conventional fired bricks. The proposed bricks were made using soil obtained from a brick factory, and cabuya fiber was added in 10%, 15%, and 20% proportions, along with 25% type I cement. After being left to dry for 28 days, the physical and mechanical properties of the bricks were determined following the ASTM C67 standard. The conventional fired bricks had a weight of 2.8 kg, an absorption percentage of 20.2%, and a compressive strength of 1.3 MPa. The proposed bricks had a weight of 3.6 kg, an absorption percentage of 18.65%, and a compressive strength of 5.3 MPa. The best dosage was found to be 20% cabuya fiber and 25% type I cement, making it an alternative to conventional bricks in masonry applications, as it complies with the ASTM C67 standard. The proposed bricks also had a lower absorption percentage, indicating higher durability and resistance to weathering. Overall, this research makes a contribution to the technical, social, and environmental fields by proposing an alternative to conventional fired bricks.

Keywords: Conventional bricks, Unfired clay bricks, Cabuya fiber

Introducción

La producción de ladrillos convencionales es una actividad económica importante, pero también contribuye significativamente a la contaminación ambiental y a la afectación de la salud humana [1]. La Organización Mundial de la Salud (OMS) [2] señala que la contaminación del aire es uno de los principales riesgos para la salud en todo el mundo, y las emisiones tóxicas producidas por los hornos para la elaboración de ladrillos contribuyen en la contaminación. Además, un estudio realizado por el Programa Regional de Aire Limpio y Ministerio de la Producción [3], indica que la elaboración de ladrillos convencionales utiliza materiales como cáscara de arroz y bagazo de caña de azúcar usados como combustible, lo que genera emisiones contaminantes.

En las investigaciones realizadas por Rodríguez et al. [4] en México y Maldonado et al. [5] en Colombia, la producción de ladrillos genera empleos en todo el país, pero al mismo tiempo afecta gravemente la salud de los trabajadores y las familias que viven cerca de las fábricas, debido a las emisiones tóxicas. Sin embargo, se están llevando a cabo iniciativas para encontrar soluciones más sostenibles y saludables en la producción de ladrillos. [6] [7] [8]

Para abordar esta problemática, se están buscando alternativas en la producción de ladrillos [9], como la fabricación a base de cemento, arena y fibra de coco presentada por Ospina M. [10], la cual obtiene buenas propiedades estructurales, siendo un material alternativo para pobladores de bajos recursos y menor contaminación en su elaboración. López et al. [11] propone la fabricación de unidades de albañilería con incorporación de poliestireno expansivo y hueso de aceituna obteniendo ladrillos livianos.

Sharma et al. [12], estudió la elaboración de bloques de tierra sin cocer con adición de polvo de mármol, fibra de paja de arroz y ceniza de bagazo, obteniendo un material que mejora las propiedades físicas de un ladrillo cocido.

La investigación de Dubale et al. [13] obtuvo resultados acerca del aprovechamiento de la demolición y residuos de mezclas en la construcción, la cual formaría parte de un avance para el desarrollo sostenible y economía circular. Cerqueira et al. [14], propuso una innovación utilizando bloques cerámicos prensados de suelo-cemento que se puede utilizar en construcciones pequeñas por sus propiedades. Thalmaier et al. [15], investiga la adición de caliza en la fabricación de unidades de albañilería obteniendo resultados favorables para la resistencia a la compresión. da Silva et al. [16], propone la incorporación de residuos de tereftalato de polietileno (PET) en ladrillos de suelo-cemento obteniendo una alternativa para unidades no estructurales.

Galán et al. [17], realizaron estudios para la evaluación de muros con ladrillos de arcilla cocida, bloques de hormigón y de suelo estabilizado con fibras naturales y alginatos evaluando su fabricación se afirmó que la fabricación de materiales de construcción es el más importante en relación con la demanda energética y el potencial del calentamiento global.

Jamshaid et al. [18], realizaron una investigación de las propiedades mecánicas del concreto reforzado con fibras naturales como el yute y sisal, obteniendo que el hormigón con fibras se puede utilizar para pavimentos y losas formando parte de los materiales sostenibles en la construcción.

Palacios et al. [19], investigó la resistencia a la compresión de un superadobe usando fibra de cabuya y polipropileno como contenedor, obteniendo un material eco-nómico y seguro para la población rural.

Damiani et al. [20], propone unidades de concreto con fibra de caucho porque es uno de los residuos más contaminantes y abundante, por ello con los resultados se obtuvo un material económico y de calidad que contribuye a disminuir la contaminación.

Getaneh et al. [21], realizaron un material con superficie hidrofóbica reforzada con polipropileno con fibra de sisal, obteniendo un material con propiedades mecánicas aceptables y la presencia de propiedades de autolimpieza.

Veigas et al. [22], propone la utilización de fibra de sisal sin recubrir y recubierta con resina de poliéster y goma laca para mejorar las propiedades de los compuestos cementosos, como resultados se obtuvieron que la adición de fibra de sisal ya sea recubierta o no contribuye a mejorar las propiedades mecánicas.

En este contexto, se plantea la posibilidad de utilizar ladrillos sin cocción elaborados a base de fibra de cabuya y cemento tipo I como una alternativa óptima al uso de ladrillos convencionales. La fibra de cabuya es una materia prima que se encuentra de forma natural y su utilización puede contribuir a reducir los costos de producción.

El objetivo general de esta investigación es evaluar las propiedades físicas y mecánicas de los ladrillos de arcilla sin cocción incorporada con fibra de cabuya y cemento. Se busca identificar y comparar las propiedades físicas y mecánicas obtenidas con los ladrillos convencionales, determinar el diseño de mezcla óptimo de los porcentajes de fibra de cabuya para obtener mejores propiedades mecánicas.

La hipótesis plantea que la utilización de fibra de cabuya y cemento para elaborar ladrillos sin cocción tendrá mejores propiedades mecánicas con respecto al ladrillo convencional y podrá ser utilizada como una alternativa óptima. Esta investigación busca contribuir a la búsqueda de

soluciones más sostenibles y saludables en la producción de materiales de construcción y a mejorar la calidad de vida de las personas.

Materiales

La tierra arcillosa para la fabricación de ladrillos se encuentra en José Leonardo Ortiz (Chiclayo, Perú). Es extraída de manera manual para la elaboración de unidades de albañilería, presentando una composición de 11.4% de arena y 88.6% de arcilla y limo, por lo tanto, es un material apto para la fabricación de las unidades ya que presenta en su mayoría arcilla. Además, deben ser arcillas plásticas para que al contacto con el agua puedan ser moldeables para dar forma a los ladrillos y tener una suficiente adhesión en sus partículas para mantener su forma al momento del desmolde. [23]

La fibra de cabuya es clasificada como una fibra dura y se extrae de la planta de Agave Sisalana que miden 1 a 2 metros de longitud y un ancho de 10 a 15 cm, de donde se puede extraer 1000 filamentos de fibras con una buena resistencia y flexibilidad, con respecto a su cosecha se realiza en intervalos de 6 a 12 meses para poder obtener fibras de una buena calidad [24]. Según estudios realizados por Acevedo et al. [25], nos indican que las propiedades de las fibras dependen del tipo de fibra, clima, suelo y extracción. También, se caracterizan por tener bajas densidades y propiedades mecánicas óptimas para la fabricación de elementos ligeros, además pueden ser utilizadas para la renovación de fachadas y revestimientos para paredes, techos y mobiliarios.

La arena y el cemento se obtuvieron de un proveedor que los vende como materiales de construcción.

Metodología

El procedimiento para la elaboración de los ladrillos sin cocción se muestra en la figura 1, se inicia con la obtención de la fibra es en forma de sogá, por lo que al momento de su incorporación es necesario sumergirla en agua por 12 a 15 horas para facilitar el destrenzado, además de eliminar cualquier partícula que pueda afectar al mezclado del ladrillo. Posteriormente se cortará en longitudes de 5 a 8cm para su adición a la mezcla. Luego, se elaboraron cajas que representan el porcentaje en volumen de la adición de la fibra de cabuya y cemento tipo I. El mezclado fue a mano y utilizando un molde de madera (gavera) con dimensiones de 25cm x 13cm x 10cm porque al momento de dejar secar estos reducen 1cm su tamaño obteniendo unidades de 24cm x 12cm x 9 cm. Luego, la tierra arcillosa se amasa con la fibra de cabuya y cemento agregando paulatinamente el agua, con el objetivo de conseguir una

mezcla homogénea y trabajable. Posteriormente, es colocado en el molde que se encuentra húmedo y cubierto de arena por todas las caras para facilitar la extracción de la unidad, en este proceso se prensa la mezcla con la mano y se nivela con una regla de madera. Luego, se desmolda para dejarlos secar a temperatura ambiente y curarlos por 7 días mediante riego controlado utilizando un rociador.

Fuente: Elaboración propia.

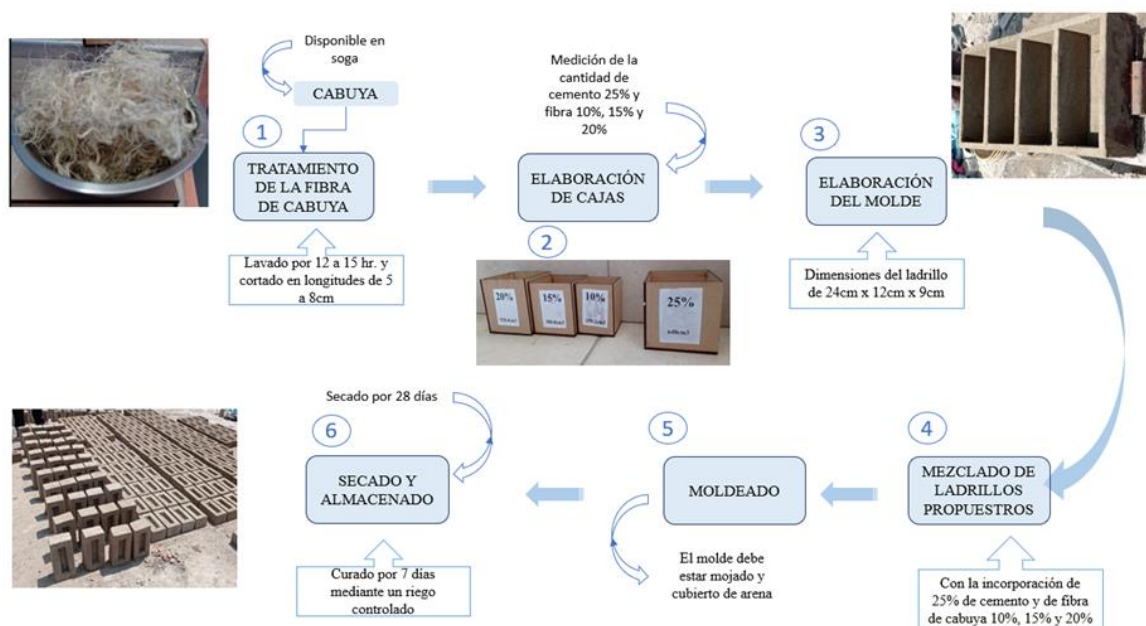


Figura 1: Diagrama de Flujo para la elaboración de los ladrillos propuestos

Para el desarrollo de la investigación se realizaron tres tipos de ladrillos con adiciones de 10%, 15% y 20% de fibra de cabuya y 25% de cemento tipo I en volumen (etiquetados como F1, F2 y F3) y el ladrillo convencional de arcilla cocida (etiquetada como M0).

Ensayos aplicados

Ensayo de Variación Dimensional

Se midió las tres dimensiones (largo, ancho y alto) de cada unidad mediante el uso de la herramienta pie de rey, siguiendo el procedimiento mencionado en la Norma ASTM C 67-05 [26].

Con respecto, a las muestras ensayadas se evaluaron dos muestras por cada adición, de la misma forma para los ladrillos convencionales.

Alabeo

Se midió la concavidad y convexidad mediante el uso de cuñas y regla metálica para obtener las medidas correspondientes de las unidades ensayadas, como se menciona en la Norma ASTM C 67-05 [26].

Para realizar la medición de las unidades de albañilería se utilizaron dos muestras para cada ladrillo propuesto, de igual manera para los ladrillos convencionales.

Densidad

La Norma ASTM C 67-05 [26], indica el procedimiento para este ensayo empezando con el peso de la muestra extraída del horno entre 110°C y 115°C, luego se pesa. Posteriormente, se coloca en un contenedor lleno de agua destilada que se encuentra en proceso de ebullición, se sumerge y se pesa el espécimen sumergido. Finalmente, se seca la unidad con un trapo húmedo y se pesa. Para este ensayo se evaluaron dos muestras del ladrillo propuesto y convencional.

Absorción

El proceso descrito en la Norma ASTM C 67-05 [26], empieza dejando las muestras que en este caso son dos del ladrillo propuesto y convencional en el horno entre 110°C y 115°C por 24 horas, después se pesa y sumerge en agua por otras 24 horas más. Luego, se extrae la unidad sumergida y se pesa. Como se muestra en la figura 2.



(a)



(b)

Figura 2: Ensayo de Absorción de los Ladrillos: (a) Muestras sumergidas en agua por 24 horas y (b) Pesaje de las Muestra

Fuente: Elaboración propia.

Succión

Se coloca las dos muestras del ladrillo propuesto y convencional en el horno entre 110°C y 115°C por 24 horas, después se extrae la unidad y se pesa, posteriormente se coloca una bandeja nivelada y se sumerge el ladrillo en agua de una altura de 2cm hasta que pase 1 min aproximadamente, se observa el procedimiento en la figura 3. Finalmente, se pesa para obtener un aumento de peso, como se menciona en la Norma ASTM C 67-05 [26].

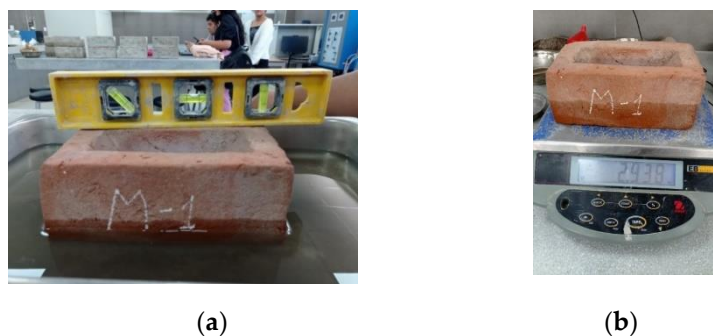


Figura 3: Ensayo de Succión de los Ladrillos: (a) Muestra sumergida y (b) Pesaje de la muestra

Fuente: Elaboración propia.

Resistencia a la compresión

El proceso señalado en la Norma ASTM C 67-05 [26], indica que para llevar a cabo el procedimiento se necesita de una máquina para ensayos de compresión, mostrada en la figura 4. Las unidades a ensayar son tres para los ladrillos propuestos y convencionales, los cuales se ubican en el soporte de la máquina y se descende el vástago que se encuentra unido al cabezal, garantizando que el eje de la unidad esté en concordancia con el eje longitudinal de la misma. Luego, se aplica una carga axial progresiva hasta que se produce la rotura del ladrillo.



Figura 4: Máquina para ensayos de compresión

Fuente: Elaboración propia.

Resultados y discusión

Variación Dimensional, Alabeo y Densidad

Los resultados obtenidos de las propiedades físicas de los ladrillos convencionales y los ladrillos con diferentes porcentajes de fibra y cemento se presentan a continuación en la Tabla 1:

En cuanto a la variación dimensional, se demostró que el ladrillo convencional presentó una variación en largo de 0, en ancho de 1.79 y en alto de 0.89. Por otro lado, los ladrillos con 10%, 15% y 20% de fibra y 25% de cemento presentaron una variación en largo de 0.29, 0 y 0 respectivamente, en ancho de 0.59, 1.19 y 0.59 respectivamente, y en alto de 0.79 en todos los casos.

En relación al alabeo, se encontró que el ladrillo convencional presentó un valor de 3.55 mm. Los ladrillos con 10%, 15% y 20% de fibra y 25% de cemento presentaron valores de 2,75 mm, 2,1 mm y 3,5 mm respectivamente.

En cuanto a la densidad, se acabó que el ladrillo convencional presentó una densidad de 1,38 gr/cm³. Los ladrillos con 10%, 15% y 20% de fibra y 25% de cemento presentaron una densidad de 1,37 gr/cm³, 1,41 gr/cm³ y 1,38 gr/cm³ respectivamente.

En conclusión, se demostró que la adición de fibra y cemento en diferentes porcentajes a los ladrillos convencionales afectó las propiedades físicas de los mismos. Se demostró una disminución en la variación dimensional y alabeo en los ladrillos con aumento de fibra y cemento en comparación con el ladrillo convencional. La densidad de los ladrillos con aumento de fibra y cemento se mantuvo similar a la del ladrillo convencional.

Tabla 1: Resultados de los Ensayos de Variación Dimensional, Alabeo y Densidad

Ensayo		M0	F1	F2	F3
Variación Dimensional (%)	Largo	0	0.29	0	0
	Ancho	1.79	0.59	1.19	0.59
	Alto	0.89	0.79	0.79	0.79
Alabeo (mm)		3.55	2.75	2.1	3.5
Densidad (gr/cm ³)		1.38	1.37	1.41	1.38

Fuente: Elaboración propia.

Absorción y Succión

Se muestran los resultados obtenidos en la Tabla 2. Con respecto a la absorción, se observó que el ladrillo convencional presentó una absorción del 22.16%. Por otro lado, los ladrillos con

10%, 15% y 20% de fibra y 25% de cemento presentaron una absorción del 19.31%, 17.67% y 18.65% respectivamente.

En cuanto a la succión, se observó que el ladrillo convencional presentó una succión de 112 gr/cm². Los ladrillos con 10%, 15% y 20% de fibra y 25% de cemento presentaron una succión de 49 gr/cm², 51 gr/cm² y 45 gr/cm² respectivamente.

En conclusión, se observó que la adición de fibra y cemento en diferentes porcentajes a los ladrillos convencionales afectó las propiedades físicas de los mismos. Se observó una disminución en la absorción y succión en los ladrillos con adición de fibra y cemento en comparación con el ladrillo convencional, como se observa en la Table 2. Estos resultados indican que los ladrillos con adición de fibra y cemento podrían ser una buena opción para mejorar la resistencia a la humedad y la permeabilidad en diferentes aplicaciones constructivas.

Tabla 2: Resultados de Absorción y Succión

Ensayo	M0	F1	F2	F3
Absorción (%)	22.16	19.31	17.67	18.65
Succión (gr/cm ²)	112	49	51	45

Fuente: Elaboración propia.

Resistencia a la Compresión

Se evaluó la resistencia a la compresión del ladrillo convencional obteniendo 1.37 MPa. Con respecto a los ladrillos con 10%, 15% y 20% de fibra y 25% de cemento presentaron una resistencia a la compresión de 3.24 MPa, 4.02 MPa y 5.3 MPa respectivamente, estos resultados se detallan en la Tabla 3.

En conclusión, se observó que la adición de fibra y cemento en diferentes porcentajes a los ladrillos convencionales mejoró significativamente esta propiedad. Por lo tanto, los resultados indican que los ladrillos con adición de fibra y cemento podrían ser una buena opción para aplicaciones constructivas.

Tabla 3: Resultados de Resistencia a la Compresión

Ensayo	Resistencia a la Compresión (MPa)
M0	1.37
F1	3.24
F2	4.02
F3	5.3

Fuente: Elaboración propia.

Discusión

La producción de ladrillos es una industria importante en muchos países, y la demanda de materiales de construcción sostenibles y asequibles está aumentando. En este contexto, el estudio e innovación de nuevos materiales de construcción se ha vuelto cada vez más relevante, y la incorporación de fibras naturales en materiales de construcción es una técnica prometedora.

El propósito de esta investigación es proponer una alternativa para la producción de unidades de arcilla sin cocción, que se encuentra compuesto por la incorporación de fibra de cabuya y cemento tipo I. El objetivo de este estudio es evaluar las propiedades físico-mecánicas de los ladrillos propuestos y compararlo con los ladrillos convencionales.

La incorporación de la fibra de cabuya tiene el potencial de mejorar la resistencia de los ladrillos y su durabilidad en ambientes húmedos, mientras que el cemento tipo I es un material de construcción usado en la industria, lo que hace que la propuesta sea fácilmente implementable. Por lo tanto, en esta investigación, se llevaron a cabo ensayos para determinar las propiedades físico-mecánicas de los ladrillos convencionales y los ladrillos propuestos, con el objetivo de analizar su desempeño y su viabilidad como material de construcción. Para ello se recopila los resultados de las pruebas realizadas en la Table 4.

Tabla 4: Resumen de Resultados

Ensayo	M0	F1	F2	F3	Prasanna (80% suelo+10% cemento+12% de ceniza de bagazo de caña)	da Silva (60% suelo+10% cemento+20% PET)	Calvani (suelo- cemento+5% de Endorcarpio Acrocomia Aculeata)	Cerqueira (Bloques prensados y quemados)
Variación dimensional (%)	1.79	0.79	1.19	0.79	-	-	-	-
Alabeo (mm)	3.55	2.75	2.10	3.50	-	-	-	-
Densidad (gr/cm ³)	1.38	1.37	1.41	1.38	-	-	-	-
Absorción (%)	22.16	19.31	17.67	18.65	-	-	-	20.84
Succión (gr/cm ²)	112.00	49.00	51.00	45.00	-	-	-	-
Resistencia a la Compresión (Mpa)	1.37	3.24	4.02	5.30	2.58	1.80	5.00	5.28

Fuente: Elaboración propia.

En cuanto a la variación dimensional, se demostró que los ladrillos con incorporación de fibra y cemento obtuvieron una menor variación dimensional en comparación con el ladrillo convencional. En particular, el ladrillo con 20% de fibra y 25% de cemento tipo I presentó una variación dimensional de 0.79 mm, que es menos de la mitad de la variación dimensional del ladrillo convencional. Por lo tanto, se observó que al incrementar la fibra y cemento podría

mejorar la estabilidad dimensional de los ladrillos cumpliendo con los porcentajes máximos que presenta la norma ASTM C67, los cuales son 4%.

Por otro lado, se encontró que la densidad de los ladrillos con incremento de fibra y cemento no varió significativamente en comparación con el ladrillo convencional, lo que indica que esta propiedad no se ve afectada significativamente por la incorporación de fibra y cemento, teniendo en cuenta que la densidad mínima es de 1.5 gr/cm³ como está establecido en la norma ASTM C67.

En cuanto a la absorción de agua y la succión, se demostró que los ladrillos con agregados de fibra y cemento obtuvieron una menor absorción y succión en comparación con el ladrillo convencional. Por lo tanto, la adición de fibra y cemento podría mejorar la resistencia al agua de los ladrillos, lo que es importante en aplicaciones constructivas que requieren una resistencia al agua. Con respecto a estas dos propiedades físicas la ASTM C67 tiene parámetros para la succión de 61 gr/cm².

En cuanto a la evaluación de la resistencia a la compresión, el ladrillo convencional tuvo una resistencia de 1.37 MPa, mientras que el ladrillo con 20% de fibra y 25% de cemento tipo I alcanzó una resistencia de 5.3 MPa, lo que representa un aumento del 74%. Esto sugiere que la adición de fibra y cemento podría mejorar significativamente la capacidad de soportar cargas bajo compresión, lo que es importante en aplicaciones constructivas que requieren una alta resistencia mecánica. Además, se cumpliría con lo establecido en la norma ASTM C67, la cual debe ser como mínimo 4.9MPa. Se muestra gráficamente en la figure 5.

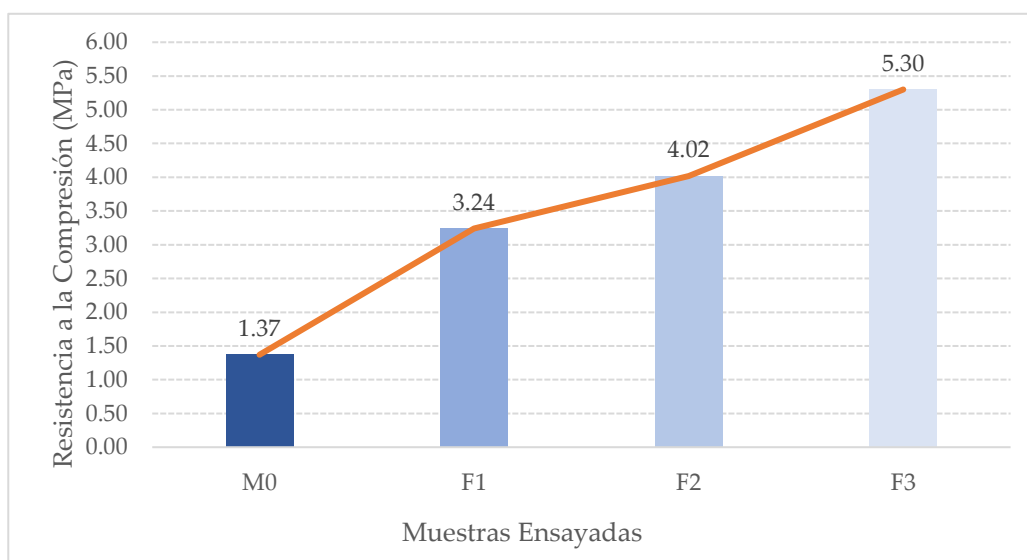


Figura 5: Valores de la Resistencia a la Compresión

Fuente: Elaboración propia.

Con respecto a la proporción óptima de fibra de cabuya y cemento tipo I, se demostró que el ladrillo con 20% de fibra y 25% de cemento presentó la mayor resistencia a la compresión y una buena estabilidad dimensional.

Además, resaltar que el ladrillo con una mayor cantidad de fibra (15% y 20%) y 25% de cemento tipo I presenta una mayor resistencia a la compresión, lo que indica que podría ser una mejor opción para construcciones que requieren mayor resistencia estructural. Por otro lado, el ladrillo con 20% de fibra y 25% de cemento tipo I presenta una menor absorción de agua, por lo tanto, tienen una mayor durabilidad y resistencia a la intemperie.

En consecuencia, los resultados obtenidos indican que la elección de la proporción adecuada de la mezcla de fibra de cabuya y cemento en la fabricación de ladrillos sin cocción debe considerar tanto las propiedades físicas como las mecánicas requeridas para el uso previsto. Se recomienda el uso del ladrillo con un 10% de fibra y 25% de cemento tipo I en construcciones que requiere una menor resistencia estructural, mientras que el uso del ladrillo con una mayor cantidad de fibra 20% y 25% cemento tipo I se debe utilizar en construcciones que requieren mayor resistencia estructural y durabilidad en ambientes de mayor exposición.

Adicionalmente se mencionan algunos estudios similares que se han realizado con otros materiales y que podrían complementar los resultados obtenidos en este estudio.

Prasanna et al. [27], propuso bloques de suelo estabilizado en diferentes proporciones siendo la resaltante la mezcla de 80% suelo, 10% cemento y 12% ceniza de bagazo de caña de azúcar, se obtuvo una resistencia a la compresión de 2.58MPa después de los 28 días. En comparación con los ladrillos propuestos en esta investigación la resistencia del material en promedio es 51% mayor con proporciones de 20% de fibra de cabuya y 25% de cemento tipo I.

da Silva et al. [16], estudio la adición de tereftalato de polietileno (PET) en ladrillos de suelo cemento obteniendo como mejor proporción la composición de 60% suelo, 10% cemento y 20% PET con una resistencia a la compresión de 1.8MPa, comparándola con la resistencia obtenida con los ladrillos de 20% de fibra de cabuya tiene un valor de 66% mayor. Por ende, se puede decir que la adición de la fibra proporciona una mejor resistencia que el PET.

Calvani et al. [28], propuso incorporar los residuos de *Acrocomia aculeata* (AE) que es un fruto de Brasil a los ladrillos de suelo-cemento obteniendo una resistencia a la compresión de 5MPa con una adición del 5% de AE. En comparación con los resultados obtenidos en este estudio, se observó una diferencia del 5.7% en esta propiedad.

Cerqueira et al. [14], estudió el comportamiento de los bloques prensados y quemados obteniendo resultados en las propiedades de resistencia a la compresión de 5.28MPa y absorción

de 20.84%. En comparación a los ladrillos realizados en esta investigación se tiene una diferencia de 0.4% en la resistencia y 10.5% en absorción.

Por ende, la incorporación de la fibra de cabuya para la elaboración de ladrillos de suelo-cemento en comparación a otras adiciones presenta mayores valores en la resistencia a la compresión y absorción.

Conclusiones

En conclusión, este estudio ha demostrado que la incorporación de fibra de cabuya y cemento tipo I mejora significativamente las propiedades mecánicas y físicas de los ladrillos de arcilla sin cocer. En particular, se encontró que los ladrillos con un contenido de fibra del 20% y un 25% de cemento tipo I presentaban una menor variación dimensional, una reducción en la absorción de agua y una mayor resistencia a la compresión en comparación con los ladrillos convencionales. Además, se determinó que la proporción óptima de fibra y cemento para lograr una alta resistencia y durabilidad es del 20% de fibra y un 25% de cemento tipo I. Estos resultados sugieren que los ladrillos propuestos tienen el potencial de ser utilizados como una alternativa a los ladrillos convencionales en aplicaciones de albañilería.

Referencias

- [1] W. Abbass, S. Abbas, F. Aslam, A. Ahmed, T. Ahmed, A. Hashir y A. Mamdouh, «Manufacturing of Sustainable Untreated Coal Ash Masonry Units for Structural Applications,» *Materials*, vol. 15, nº 11, 2022.
- [2] C. Johnson, J. Creswick, L. Linn y A. Muchnik, «Las nuevas Directrices mundiales de la OMS sobre la calidad del aire tienen como objetivo evitar millones de muertes debidas a la contaminación del aire,» *Organización Mundial de la Salud*, 22 Septiembre 2021.
- [3] Programa Regional de Aire Limpio y Ministerio de la Producción, «ESTUDIO DIAGNÓSTICO SOBRE LAS LADRILLERAS ARTESANALES EN EL PERÚ,» Lima, 2018.
- [4] A. A. Berumen Rodríguez, F. J. Pérez Vázquez, F. Días Barriga, L. E. Márquez Mireles y R. Flores Ramírez, «Revisión del impacto del sector ladrillero sobre el ambiente y la salud humana en México,» *Mexican Dricks Factories*, vol. 63, nº 1, pp. 100-108, 2021.
- [5] R. I. Cruz Maldonado, E. Andrea Mora y D. Alfonso Bonilla, «LOS RETOS DE LA INDUSTRIA LADRILLERA EN LA ACTUALIDAD PARA LA ASOCIACIÓN NACIONAL DE FABRICANTES DE LADRILLO Y PRODUCTOS EN ARCILLA,» *Corporación Universitaria Minuto de Dios*, vol. 2, nº 2, pp. 95-101, 2019.
- [6] W. Q. Chin, Y. H. Lee, M. Amran, R. Fediuk, N. Vatin, A. B. H. Kueh y Y. Y. Lee, «A Sustainable Reuse of Agro-Industrial Wastes into Green Cement Bricks,» *Materials*, vol. 15, nº 5, 2022.
- [7] T. Moussa, C. Maalouf, C. Bliard, B. Abbes, C. Badouard, M. Lachi, S. d. S. V. Sodr e, L. Bufalino, F. Bogard, F. Beaumont y G. Polidori, «Spent Coffee Grounds as Building Material for Non-Load-Bearing Structures,» *Materials*, vol. 15, nº 5, 2022.
- [8] C. Anton, S. Curteanu, C. Lisa y F. Leon, «Machine Learning Methods Applied for Modeling the Process of Obtaining Bricks Using Silicon-Based Materials,» *Materials*, vol. 14, nº 23, 2021.
- [9] S. Ghafoor, A. Hameed, S. A. R. Shah, M. Azab, H. Faheem, M. F. Nawaz y F. Iqbal, «Development of Construction Material Using Wastewater: An Application of Circular Economy for Mass Production of Bricks,» *Materials*, vol. 15, nº 6, 2022.

- [10] M. Á. Ospina García, Fabricación de bloques en mortero de cemento para mampostería con adición de la fibra del coco en la isla de providencia y Santa Catalina, Bogotá: Universidad Militar Nueva Granada, 2019.
- [11] M. López Gómez y G. Cultrone, «The Use of Expanded Polystyrene and Olive Stones in the Manufacture of Lightweight Bricks: Evaluation of Their Properties and Durability,» *Materials*, vol. 16, n° 4, 2023.
- [12] T. Sharma, S. Singh, S. Sharma, P. Sharma, A. Gehlot, A. K. Shukla y S. M. Eldin., «The Use of Marble Dust, Bagasse Ash, and Paddy Straw to Improve the Water Absorption and Linear Shrinkage of Unfired Soil Block for Structure Applications,» *Materials*, vol. 15, n° 21, 2022.
- [13] M. Dubale, M. V. Vasić, G. Goel, A. Kalamdhad y L. B. Singh, «Utilization of Construction and Demolition Mix Waste in the Fired Brick Production: The Impact on Mechanical Properties,» *Materials*, vol. 16, n° 1, 2023.
- [14] N. A. Cerqueira, J. A. Victor Souza, G. d. C. Xavier, R. Fediuk, S. N. Monteiro, M. N. Barreto y A. R. d. Azevedo, «Mechanical Feasibility Study of Pressed and Burned Red Ceramic Blocks as Structural and Sealing Masonry,» *Materials*, vol. 15, n° 14, 2022.
- [15] G. Thalmaier, N. Cobîrzan, A.-A. Balog, H. Constantinescu, A. Ceclan, M. Voinea y T. F. Marinca, «Assessment of Limestone Waste Addition for Fired Clay Bricks,» *Materials*, vol. 15, n° 12, 2022.
- [16] T. R. da Silva, D. Cecchin, A. R. G. d. Azevedo, I. Valadão, J. Alexandre, F. C. d. Silva, M. T. Marvila, M. Gunasekaran, F. G. Filho y S. N. Monteiro, «Technological Characterization of PET—Polyethylene Terephthalate—Added Soil-Cement Bricks,» *Materials*, vol. 14, n° 17, 2021.
- [17] C. Galan-Marin, C. Rivera-Gomez y A. Garcia-Martinez, «Use of Natural-Fiber Bio-Composites in Construction versus Traditional Solutions: Operational and Embodied Energy Assessment,» *Materials*, vol. 9, n° 6, 2016.
- [18] H. Jamshaid, R. K. Mishra, A. Raza, U. Hussain, M. L. Rahman, S. Nazari, V. Chandan, M. Muller y R. Choteborsky, «Natural Cellulosic Fiber Reinforced Concrete: Influence of Fiber Type and Loading Percentage on Mechanical and Water Absorption Performance,» *Materials*, vol. 15, n° 3, 2022.

- [19] M. J. Palacios Carvajal, T. O. Castillo Campoverde y C. E. Donosco León, «Resistencia a compresión del superadobe, usando fibras de cabuya y prolipropileno como contenedor,» *Revista Caribeña de Ciencias Sociales*, 2018.
- [20] C. A. Damiani Lazo, S. M. Cáceres Larico y A. G. Mamani Flores, «Concrete bricks with recycled rubber fibers: an alternative material for social housing,» *Ingeniería Social*, vol. 17, n° 3, 2021.
- [21] S. Getaneh Ababayehu y A. Mekonnen Engida, «Preparation of Biocomposite Material with Superhydrophobic Surface by Reinforcing Waste Polypropylene with Sisal (Agave sisalana) Fibers,» *International Journal of Polymer Science*, vol. 2021, 2021.
- [22] M. G. Veigas, M. Najimi y B. Shafei, «Cementitious composites made with natural fibers: Investigation of uncoated and coated sisal fiber,» *Scopus*, vol. 16, 2022.
- [23] J. Barranzuela Lescano, *Proceso Productivo de los Ladrillos de Arcilla producidos en la Región Piura*, Piura: PIRHUA, 2014.
- [24] J. I. Masaco Pinta, *Mortero de cemento y refuerzo de fibra vegetal de cabuya*, Loja: Universidad Técnica Particular de Loja, 2018.
- [25] M. A. Acevedo de la Espriella y M. S. Luna Velasco, *TRATAMIENTOS QUÍMICOS SUPERFICIALES PARA EL USO DE FIBRAS NATURALES EN LA CONSTRUCCIÓN: CONCRETOS Y MORTEROS*, Cartagena: Univesidad de Cartagena, 2021.
- [26] ASTM C 67-05, *Standard Test Methods for Sampling and Testing Brick and Structural Clay Tile*, USA: PA, 2005.
- [27] S. Prasanna, S. Sail, R. Patil, M. De Souza, A. Prasad, A. Gavandalkar y Y. Gaude, «Strength analysis of soil blocks admixed with sugarcane bagasse ash,» *Sustainability, Agri, Food and Environmental Research*, vol. 10, 2021.
- [28] C. Calvani, A.-M. Gonçalves, M. Silva, S. Oliveira, B. Marangoni, D. Reis y C. Cena, «Portland Cement/Acrocomia Aculeata Endocarp Bricks: Thermal Insulation and Mechanical Properties,» *Materials*, vol. 13, n° 9, 2020.