


Artículo original


Efecto de las cenizas de la corteza de Apacharama en las propiedades físico-mecánicas de ladrillo macizo

Effect of Apacharama Bark Ashes on the Physical-Mechanical Properties of Solid Brick

MARCO RAMÍREZ AQUINO¹

 <https://orcid.org/0000-0002-8127-8172>

ALEJANDRO VILDOSO FLORES²

 <https://orcid.org/0000-0003-3998-5671>

Recibido: 9/10/2023

Aceptado: 10/11/2023

Publicado: 30/11/2023

^{1,2}Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Cesar Vallejo, Lima Callao, Perú

E-mail: ¹maramirezaq@ucvvirtual.edu.pe, ²avildosofl@ucvvirtual.edu.pe



Resumen

El creciente interés por encontrar alternativas sostenibles en la industria de la construcción y en el proceso de fabricación de ladrillos ha promovido la eficiente reutilización de fuentes como las cenizas de diversos materiales. Por lo tanto, el estudio tuvo como objetivo determinar el efecto de las cenizas de la corteza de Apacharama (CCA) en las propiedades físico-mecánicas de los ladrillos macizos. La muestra de estudio para los ensayos fue de 72 unidades, variando los porcentajes de adición de CCA (5 %, 7,5 % y 10 %). Se analizaron propiedades físicas y mecánicas, como la absorción de agua, el alabeo, y la resistencia a la compresión axial (por unidad, pila y murete) y diagonal (murete). Los resultados de las pruebas revelaron que la adición de 10 % de CCA mejora la resistencia a la compresión axial y diagonal, también se observó un aumento en el porcentaje de absorción a los 28 días, aunque superaron los estándares establecidos. Sin embargo, el comportamiento del alabeo se mantuvo dentro de límites aceptables. Estos hallazgos fueron posiblemente favorecidos en parte por la composición química. De manera que surge la necesidad de optimizar los porcentajes de adición para equilibrar las propiedades sin comprometer otras características.

Palabras clave: cenizas de la corteza de Apacharama; innovación; ladrillos macizos.

Abstract

The growing interest in finding sustainable alternatives in the construction industry and brick manufacturing process has promoted the efficient reuse of sources such as ashes from various materials. Therefore, the study aimed to determine the effect of Apacharama bark ashes (ABA) on the physical-mechanical properties of solid bricks. The study sample for the tests consisted of 72 units, with varying percentages of ABA addition (5 %, 7.5 %, and 10 %). Physical and mechanical properties, such as water absorption, warping, and axial compressive strength (per unit, stack, and wall), and diagonal compressive strength (wall), were analyzed. The test results revealed that the addition of 10 % ABA improves both axial and diagonal compressive strength. An increase in water absorption percentage at 28 days was also observed, even though it exceeded established standards. However, warping behavior remained within acceptable limits. These findings were possibly favored in part by chemical composition. Hence, there is a need to optimize the addition percentages to balance properties without compromising other characteristics.

Keywords: Apacharama bark ashes; innovation; solid bricks.

1. Introducción

La industria de la construcción representa un sector fundamental en el desarrollo de cualquier sociedad (Fei et al., 2021), desempeñando un papel crucial en la infraestructura y la provisión de viviendas (Chiang et al., 2015). La constante búsqueda de materiales y técnicas constructivas más sostenibles y eficientes ha llevado a la exploración de diversos enfoques innovadores en la producción de materiales de construcción (Vagtholm et al., 2023). Dentro de estos enfoques, la inclusión de materiales alternativos, como cenizas de bagazo de caña (Gamonal, 2023), cenizas volantes (Carlos & Gonzales, 2021), cenizas de bosta (Pancca, 2022), cenizas de horno (Perez, 2021), cenizas de madera (Srisuwan et al., 2020), cenizas de algodón-hojas de palmera datilera (Andía & Sayritupac, 2022), cenizas de carbón (Abbass et al., 2022; Aguilar, 2019; Torres-Agredo et al., 2021) y cenizas de cascarilla de arroz (Rodríguez & Salazar, 2020) ha suscitado interés debido a sus propiedades únicas y su potencial para mejorar la sostenibilidad en la fabricación de ladrillos.

Por otra parte, Akadiri et al. (2012) enfatizan que la demanda de materiales de construcción resistentes, duraderos y respetuosos con el medio ambiente es una preocupación creciente en un mundo que enfrenta desafíos ambientales y de recursos naturales. Además, la extracción y procesamiento de materiales tradicionales, como la arcilla y la caliza, no solo consumen recursos naturales valiosos, sino que también pueden generar emisiones de gases de efecto invernadero (Costa & Ribeiro, 2020; Fernández, Gutierrez & Rojas, 2020). En este contexto, la búsqueda de alternativas viables se ha convertido en un objetivo prioritario.

Las cenizas de la corteza de Apacharama (CCA), como subproducto de ciertos procesos de alfarería (Ministerio de Cultura, 2019), han atraído la atención de los investigadores por su potencial en la fabricación de ladrillos macizos. Estas cenizas, ricas en minerales diversos (Herrera, 2020), ofrecen la posibilidad de influir en las propiedades físicas y mecánicas de los ladrillos, lo que resultaría en un material de construcción más resistente y eficiente. Sin embargo, la incorporación de CCA en la producción de ladrillos plantea desafíos en cuanto a la comprensión de su comportamiento y su impacto en las propiedades finales.

En este contexto, el estudio se centra en evaluar el efecto de la adición de CCA en las propiedades físico-mecánicas de ladrillos macizos. Se abordan aspectos importantes, como la absorción de agua, el alabeo y la resistencia a la compresión axial y diagonal. Los resultados podrían proporcionar una visión general sobre la viabilidad de utilizar CCA como un componente en la producción de ladrillos, con el objetivo de impulsar la sostenibilidad en la industria de la construcción.

2. Metodología

Para obtener las cenizas de la corteza de Apacharama (CCA), se recolectó la corteza del árbol Apacharama de la Comunidad Nativa Shipibo, Nuevo Ceylán, ubicada en el distrito de Masisea, Pucallpa, en la región de Ucayali, y se sometió a un riguroso proceso de limpieza para eliminar impurezas. Luego, el material se dejó secar a temperatura ambiente para facilitar la absorción. Posteriormente, se realizó la molienda con un molino eléctrico de mano, con la finalidad de reducir el tamaño de las partículas y mejorar la manejabilidad. Finalmente, el material procesado se sometió a una incineración controlada en una mufla a temperaturas entre 400 °C y 650 °C, lo que resultó en la obtención de cenizas listas para su posterior uso y análisis.

Por otro lado, el proceso de fabricación de ladrillos macizos siguió como referencia la metodología propuesta por Betancourt, Díaz & Martirena (2013), que comprende cinco etapas: extracción de las materias primas, preparación de las pastas cerámicas, moldeado, secado y cocción. La materia prima consistió en arcilla, arena y CCA, obtenida en las proximidades de la ciudad de Pucallpa. La mezcla se realizó en una proporción de siete partes de arena por cada una de arcilla, con la adición correspondiente de CCA en tres diferentes porcentajes (5 %, 7,5 % y 10 %) según lo requerido para cada muestra. Posteriormente, la mezcla se vertió en moldes de 60 x 60 x 15 cm. Los moldes con la muestra se dejaron secar a temperatura ambiente durante un período de 3 días. Luego, se trasladaron al horno y se sometieron a una temperatura de 800 a 1000 °C durante 5 horas.

Respecto a los ensayos realizados, comprendieron los análisis de las propiedades tanto físicas como mecánicas, que fueron evaluados en relación con los ladrillos macizos y su interacción con las CCA. Dentro de las propiedades físicas comprendieron el análisis de las propiedades de absorción y alabeo, siguiendo la metodología de la norma PNTP 399.613 2017 y el método ASTM C 642.

El porcentaje de absorción, se refiere a la cantidad de agua que un material puede absorber y retener en su estructura. Mientras que el Alabeo, se refiere a la deformación o curvatura que puede experimentar un material, como un ladrillo, debido a cambios en la humedad o la temperatura.

Por otra parte, dentro de las propiedades mecánicas, se evaluó la resistencia a la compresión de acuerdo a la norma NTP 339.621 - 2017 y NTP 399.604, 2002, esta propiedad, mide la capacidad de un material para resistir fuerzas que tienden a comprimirlo. Para el estudio, se evaluó la compresión axial por unidad (resistencia de un solo ladrillo), en pila (ladrillos apilados), en muretes (fuerza aplicada en línea recta), y diagonal (fuerza aplicada en un ángulo diagonal).

Adicionalmente, para caracterizar la composición química de las CCA, se realizó un análisis químico, mediante dos métodos analíticos: el análisis térmico por calorimetría diferencial de barrido (DSC) y el análisis térmico diferencial (DTA), utilizando un Analizador Térmico simultáneo, cumpliendo las normas establecidas de acuerdo a ASTM E967 y ASTM E968. La muestra analizada fue de 45 mg.

3. Resultados

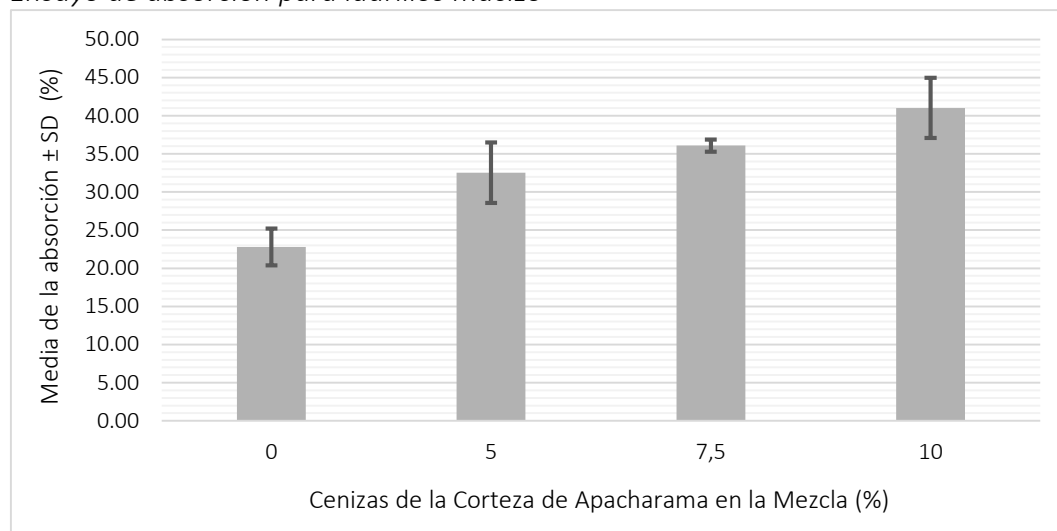
La muestra de estudio para los ensayos físicos consistió en un total de 24 unidades de ladrillos macizos. Asimismo, las muestras destinadas a los ensayos mecánicos comprendieron un total de 48 unidades de ladrillos macizos. Todos los análisis se llevaron a cabo después de 28 días. Las dimensiones de los especímenes fueron de 12 cm de ancho, 23 cm de largo y 9 cm de altura.

En la Figura 1 se presenta el porcentaje de absorción a los 28 días de los ladrillos macizos, calculado a partir de los datos de la masa del espécimen en estado seco y la masa del espécimen saturado. La mezcla sin la adición de cenizas de la corteza de Apacharama (CCA) mostró un porcentaje de absorción de $22,80 \pm 2,40$ %, mientras que con un 5 % de adición fue de $32,52 \pm 3,96$ %. Con un 7,5 %, se obtuvo un valor del $36,08 \pm 0,79$ %, y con un 10 %, el porcentaje alcanzó $41,01 \pm 3,94$ %. Es importante destacar que estos resultados superan los

estándares establecidos por la norma NTP E.070, que establece que el porcentaje de absorción debe ser inferior al 22 %.

Figura 1

Ensayo de absorción para ladrillos macizo



Por otro lado, en la Tabla 1 se muestran las medidas del alabeo después de la adición de CCA. A pesar de la variabilidad observada, estas medidas se sitúan dentro de los límites permitidos por la Norma E – 070, 2019. Además, se destaca que la mayoría de las superficies presentan una configuración cóncava.

Tabla 1

Ensayo de alabeo para ladrillos macizo

ID	Cara A (mm)		Cara B (mm)	
	Cóncavo	Convexo	Cóncavo	Convexo
M1	0,30 ± 0,20	0,10 ± 0,10	0,10 ± 0,10	0,10 ± 0,10
M2	0,13 ± 0,06	0,10 ± 0,10	0,23 ± 0,25	0,10 ± 0,10
M3	0,10 ± 0,10	0,10 ± 0,10	0,10 ± 0,10	0,10 ± 0,10
M4	0,10 ± 0,10	0,03 ± 0,06	0,10 ± 0,10	0,07 ± 0,12

Nota. M1: se refiere a la mezcla control sin adición de cenizas de la corteza de Apacharama CCA (0 %); M2, es la mezcla con 5 % de CCA; M3, con 7,5 % de CCA y M4 con 10 % de CCA.

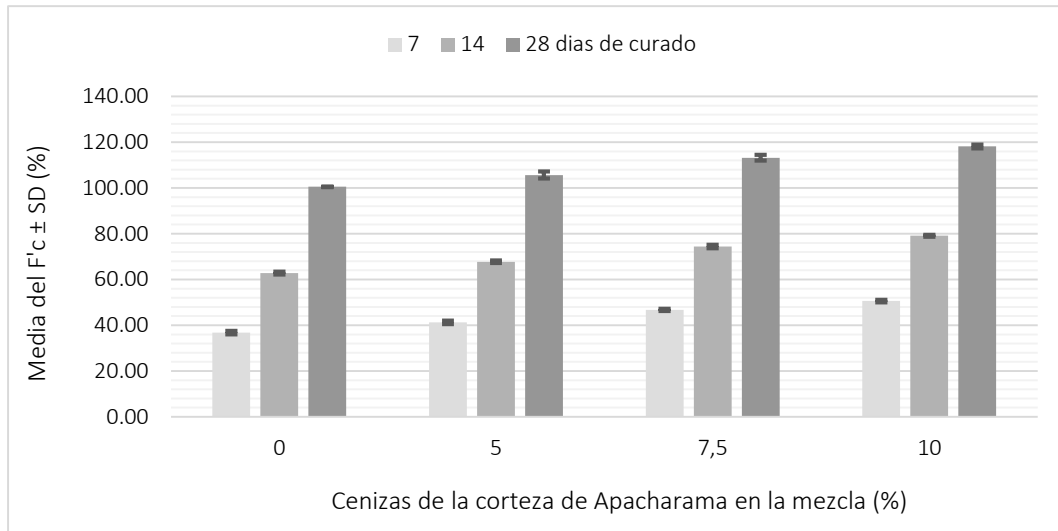
A continuación, se presentan los resultados de la resistencia a la compresión axial por unidad obtenidos de las pruebas de laboratorio a los 7, 14 y 28 días de curado. En la Figura 2 se observa que el comportamiento de los datos fue aumentando con el tiempo, revelando una mayor resistencia en la mezcla con la adición del 10 % de CCA. A los 7 días, esta resistencia fue de $50,57 \pm 0,54$ %, seguida por $79,09 \pm 0,44$ % a los 14 días, y finalmente, a los 28 días, se alcanzó una resistencia de $118,11 \pm 0,89$ %.

Estos datos, expresados en Esfuerzo F'b, fueron los siguientes: $25,28 \pm 0,27$ Kg/cm², $39,54 \pm 0,22$ Kg/cm² y $59,06 \pm 0,45$ Kg/cm², respectivamente. Se destaca, por lo tanto, un

incremento de la resistencia del 4,51 %, 9,98 % y 13,81 % a los 7 días; 4,96 %, 11,63 % y 16,34 % a los 14 días; y 5,09 %, 12,65 % y 17,57 % a los 28 días en comparación con la mezcla estándar.

Figura 2

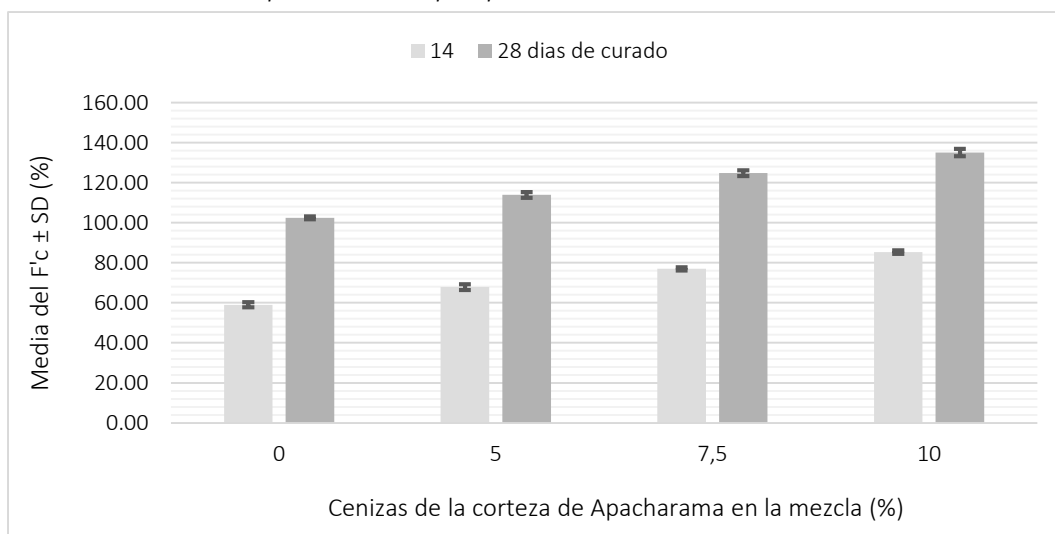
Resistencia a la compresión axial por unidad



Relativamente, la Figura 3 presenta una representación visual de los resultados obtenidos en los análisis de compresión axial por pila a los 14 y 28 días. Se observa una mejora significativa en la resistencia con la adición del 10 % de CCA, ya que se registraron valores de $85,32 \pm 0,91$ % y $135,02 \pm 0,91$ % para los periodos de 14 y 28 días, respectivamente. Además, los resultados expresados en Esfuerzo $F'b$ fueron de $29,86 \pm 0,32$ Kg/cm² y $47,26 \pm 0,67$ Kg/cm². Por ende, cabe destacar que se observa un aumento en la resistencia del 8,90 %, 17,99 % y 26,38 % a los 14 días; y del 11,40 %, 22,26 % y 32,54 % a los 28 días en comparación con la mezcla estándar sin CCA.

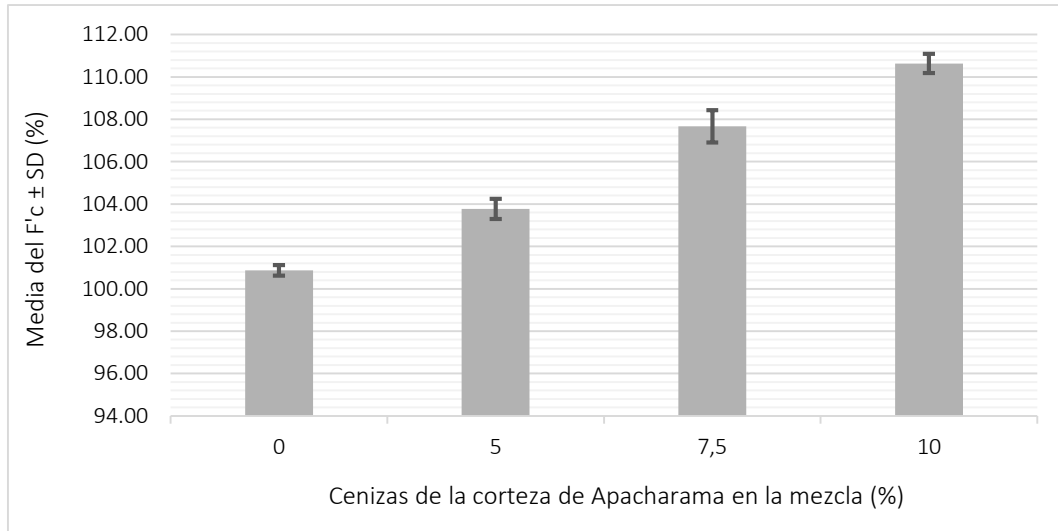
Figura 3

Resistencia a la compresión axial por pila



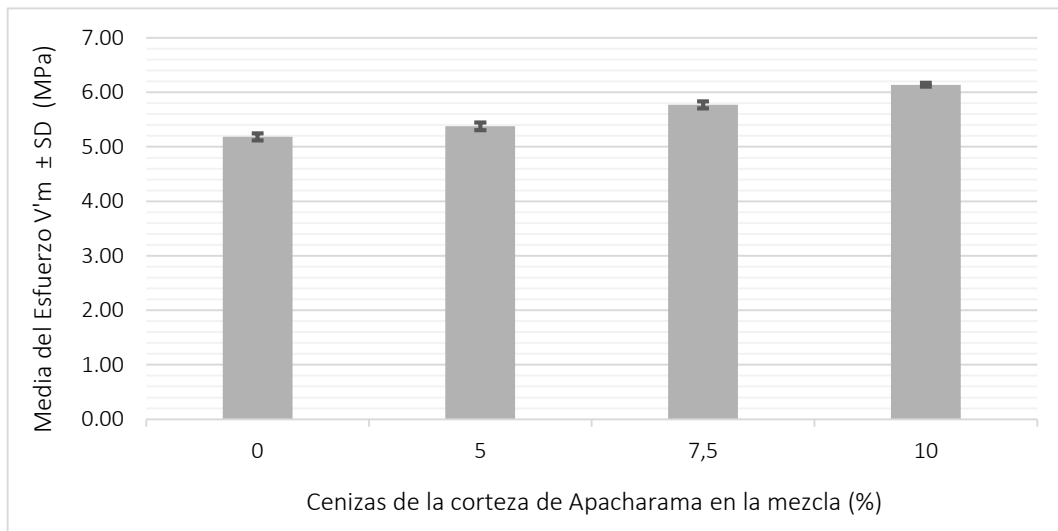
Análogamente, la Figura 4 presenta los resultados obtenidos de los análisis de compresión axial por murete a los 28 días de curado. Las resistencias fueron de $100,87 \pm 0,25$ %, $103,77 \pm 0,47$ %, $107,67 \pm 0,76$ % y $110,63 \pm 0,45$ % para los porcentajes de 0, 5, 7,5 y 10 %, respectivamente. Además, la unidad expresada en Esfuerzo $F'b$ para la mezcla con la adición del 10 % de CCA fue de $57,67 \pm 0,58$ Kg/cm². Se observa, por lo tanto, un aumento en la resistencia del 2,90 %, 6,80 % y 9,77 % en comparación con la mezcla estándar.

Figura 4
Resistencia a la compresión axial por murete



Respecto a los resultados de los análisis de compresión diagonal por murete a los 28 días de curado, se presentan visualmente en la Figura 5. Las resistencias fueron de $5,18 \pm 0,07$; $5,38 \pm 0,07$; $5,77 \pm 0,06$; y $6,14 \pm 0,04$, expresadas en MPa para los porcentajes de 0, 5, 7,5 y 10 % de las mezclas, respectivamente.

Figura 5
Resistencia a la compresión diagonal por murete



En la Tabla 2 se presentan los resultados de la composición química de la CCA, donde se observa una cantidad significativa de óxido de calcio (CaO), dióxido de silicio (SiO₂) y trióxido de azufre (SO₃). Esto sugiere la presencia de minerales ricos en estos elementos.

Tabla 2
Composición química

Nº	Ensayo	Resultado (%)
1	Óxido de calcio (CaO)	33,05
2	Dióxido de silicio (SiO ₂)	10,92
3	Trióxido de azufre (SO ₃)	15,63
4	Óxido de magnesio (MgO)	12,41
5	Óxido de manganeso (MnO)	9,04
6	Trióxido de aluminio (Al ₂ O ₃)	7,12
7	Pentóxido de fósforo (P ₂ O ₅)	6,74
8	Trióxido de hierro (Fe ₂ O ₃)	5,14
9	Óxido de bario (BaO)	10,60
10	Óxido de zinc (ZnO)	5,55
11	Óxido de cobre (CuO)	0,63
12	Trióxido de cromo (Cr ₂ O ₃)	0,74
13	Otros	6,21

Nota. Resultados de la muestra del laboratorio.

4. Discusión

Según los análisis realizados sobre las propiedades físicas mediante la adición de cenizas de la corteza de Apacharama (CCA), se observó que el porcentaje de absorción a los 28 días de curado de los ladrillos macizos superó los límites establecidos por la norma NTP E.070. Este hallazgo se relaciona con la investigación de Carlos & Gonzales (2021), quienes sugieren que la incorporación de PET no debería exceder el 3 % respecto al peso del ladrillo artesanal. A pesar de esto, podría haber resultados favorables en otros ensayos, como la resistencia a la compresión. Por otro lado, Gamonal (2023), al añadir ceniza de bagazo de caña, obtuvo resultados positivos, posiblemente debido a las distintas composiciones de los materiales utilizados.

Por otra parte, los ensayos de alabeo presentaron un comportamiento favorable, aunque con pequeñas variaciones en los resultados. Sin embargo, la totalidad de los valores cumplen con el máximo exigido por la Norma Técnica Peruana NTP E.070. En contraste, Gamonal (2023) también encontró comportamientos similares, ya que sus valores se encuentran dentro de los límites establecidos por las normas técnicas nacionales. En esa misma línea, los autores Rodríguez & Salazar (2020), quienes evaluaron la influencia de cenizas de cascarilla de arroz, identificaron que la mayor deformación en el ensayo de alabeo a los 28 días ocurrió en ladrillos con un 20 % de ceniza de cascarilla de arroz, logrando una concavidad de 1,50 mm. Estos estudios se relacionan, ya que la mayor proporción de la adición de CCA (10 %) influye favorablemente tanto en las propiedades físicas como en las mecánicas.

En cuanto a las propiedades mecánicas, al evaluar el impacto de las CCA en la resistencia a la compresión axial de ladrillos macizos, por unidad, pila y murete, se observó un comportamiento análogo. En distintos diseños de mezcla sometidos a ensayos, se evidenció

que, a medida que el porcentaje de CCA (10 %) aumenta, también lo hace la resistencia a la compresión axial respectivamente para cada uno. Este patrón es similar al encontrado en el estudio de Maza (2019), quien investigó el efecto de la incorporación de diferentes residuos industriales como ceniza de bagazo de caña, ceniza volante y humo de sílice. En su estudio, destacó que la adición de las cenizas por separado tenía un impacto negativo; sin embargo, al combinar las tres cenizas, se observó un incremento en los valores de la resistencia. Además, Castro & Morales (2017) demostraron que, después de 28 días de curado, se mejoraron los resultados de la resistencia a la compresión.

En relación con los ensayos de resistencia a la compresión diagonal por murete, también se observaron mejores resultados al agregar el mayor porcentaje del estudio, es decir, el 10 % de CCA. Esto se tradujo en una mejora de 0,95 MPa con respecto al diseño estándar. Estos hallazgos se alinean con los resultados obtenidos por Pérez (2021), quien incorporó cenizas de horno y manejó porcentajes similares al estudio, específicamente 10 % y 20 %. En su investigación, Pérez encontró resultados superiores en la resistencia a la compresión tanto axial como diagonal en comparación con el diseño estándar. Es importante destacar que, aunque estos resultados pueden tener un impacto positivo en ciertos análisis mecánicos, podrían afectar negativamente otros aspectos.

En relación con la composición química, la presencia de diversos óxidos y compuestos proporciona información sobre la composición mineral de la ceniza. La composición en términos de elementos como el óxido de calcio, trióxido de azufre y el óxido de manganeso guarda similitudes con el estudio de Pancca (2022), quien investigó la adición de cenizas de bosta y también encontró resultados positivos en los análisis de resistencia. La presencia de óxido de calcio podría haber influido en la resistencia a la compresión, según sus hallazgos. Además, se podría inferir que la presencia de CaO y dióxido de silicio sugiere la posibilidad de aplicaciones en la industria de la construcción.

5. Conclusiones

Para las propiedades físicas de las cenizas de la corteza de Apacharama (CCA), se determinó que los valores del porcentaje de absorción resultaron por encima de lo establecido por la norma NTP E.070. En cambio, las unidades del alabeo estuvieron dentro de los límites permitidos por la Norma Técnica Peruana NTP 400.012. Este hallazgo sugiere la necesidad de equilibrar cuidadosamente los porcentajes de adición para futuras investigaciones, con la finalidad de optimizar las propiedades sin comprometer otras características, como la absorción.

En cuanto a las propiedades mecánicas, se observó una tendencia a mejorar la resistencia a la compresión axial por unidad, pila y murete al incrementar el porcentaje de adición de CCA. El mejor resultado se obtuvo con un 10 % de CCA, mostrando un aumento en la resistencia de compresión axial por unidad del 17,57 %, por pila del 32,56 % y por murete del 9,77 % con respecto al diseño patrón a los 28 días de curado. Asimismo, la resistencia a la compresión diagonal por murete se vio positivamente influenciada por la adición del 10 % de CCA, con un incremento de 0,95 MPa en comparación con la mezcla patrón.

La presencia de compuestos como el óxido de calcio, trióxido de azufre y dióxido de silicio probablemente influyó en la reacción química y la formación de fases minerales en la mezcla, contribuyendo positivamente a las propiedades del ladrillo macizo. Aunque se destaca

la influencia positiva, se subraya la necesidad de investigaciones adicionales para comprender completamente los efectos de la CCA en diversas propiedades y optimizar su aplicación en la producción de materiales de construcción más eficientes y respetuosos con el medio ambiente.

6. Referencias Bibliográficas

- Abbass, W., Abbas, S., Aslam, F., Ahmed, A., Ahmed, T., Hashir, A., & Mamdouh, A. (2022). Manufacturing of sustainable untreated coal ash masonry units for structural applications. *Materials*, 15(11), 4003. <https://doi.org/10.3390/ma15114003>
- Aguilar, J. P. (2019). *Elaboración de ladrillos mediante la inclusión de ceniza de carbón proveniente de la ladrillera bella vista de Tunja-Boyacá*. [Tesis de pregrado, Universidad Santo Tomás Sede Tunja]. <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/20011?show=full>
- Akadiri, P. O., Chinyio, E. A., & Olomolaiye, P. O. (2012). Design of A sustainable building: A conceptual framework for implementing sustainability in the building sector. *Buildings*, 2(2), 126–152. <https://doi.org/10.3390/buildings2020126>
- Andia, J. A., & Sayritupac, J. D. (2022). *Propiedades físico-mecánicas en muros de ladrillo artesanal adicionando ceniza de algodón-hoja de palmera datilera, Ica-2022*. [Tesis de pregrado, Universidad Cesar Vallejo]. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/91312>
- ASTM C 642. *Densidad, absorción y vacíos en concreto endurecido*.
- ASTM E967. *Standard Test Method for Temperature Calibration of Differential Scanning Calorimeters and Differential Thermal Analyzers*.
- ASTM E968. *Standard Practice for Heat Flow Calibration of Differential Scanning Calorimeters*.
- Betancourt, D., Díaz, Y., & Martirena, F. (2013). Influencia de la adición de un 2 % de carbonato de calcio en el proceso de fabricación de los ladrillos de cerámica roja: etapas de secado y cocción. *Revista de Ingeniería de Construcción*, 28(2), 113–124. <https://doi.org/10.4067/s0718-50732013000200001>
- Carlos, S. J., & Gonzales, P. M. (2021). *Mejoramiento de las propiedades mecánicas de los ladrillos de arcilla aplicando cenizas volantes y tereftalato de polietileno, Monsefú 2021*. [Tesis de pregrado, Universidad Cesar Vallejo]. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/90135>
- Castro, J. L., & Morales, Z. A. (2017). *Mejoramiento de las propiedades físicas de los bloques de concreto tradicionales utilizando cáscara de maní y bagazo de caña de azúcar en su elaboración*. [Trabajo de Titulación, Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil] <http://repositorio.ulvr.edu.ec/handle/44000/2522>
- Chiang, Y. H., Tao, L., & Wong, F. K. W. (2015). Causal relationship between construction activities, employment and GDP: The case of Hong Kong. *Habitat International*, 46, 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2014.10.016>
- Costa, F. N., & Ribeiro, D. V. (2020). Reduction in CO2 emissions during production of cement, with partial replacement of traditional raw materials by civil construction waste (CCW). *Journal of Cleaner Production*, 276(123302), 123302.

- <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123302>
- Fei, W., Opoku, A., Agyekum, K., Oppon, J. A., Ahmed, V., Chen, C., & Lok, K. L. (2021). The critical role of the construction industry in achieving the Sustainable Development Goals (SDGs): Delivering projects for the common good. *Sustainability*, 13(16), 9112. <https://doi.org/10.3390/su13169112>
- Fernández, B. Y., Gutierrez, M. C., & Rojas, D. M. (2022). *La huella de carbono del proceso de extracción de materia prima para la producción del cemento, ladrillo y acero*. [Tesis de pregrado, Universidad Cooperativa de Colombia]. <https://repository.ucc.edu.co/items/6f8caf4f-9baa-42f1-81c7-8df216520c46>
- Gamonal, M. (2023). *Caracterización Mecánica de un Ladrillo de Bloque de Concreto Incorporando Ceniza de Bagazo de Caña*. [Tesis de pregrado, Universidad Señor de Sipan]. <https://repositorio.uss.edu.pe/handle/20.500.12802/11084>
- Herrera, A. N. (2020). *Enraizamiento de estacas semileñosas de Licania octandra Hoffmansn. ex Roem y Schult (Apacharama) con dos secciones y diferentes concentraciones de ácido Indolbutírico en cámara de subirrigación - Masisea - Ucayali*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Intercultural de la Amazonía]. <http://repositorio.unia.edu.pe/handle/unia/275>
- Maza, O. T. (2019). *Efecto de la incorporación de residuos industriales en la resistencia y durabilidad de ladrillos de arcilla*. [Tesis de Maestría, Instituto Politécnico Nacional Oaxaca] http://literatura.ciidiroaxaca.ipn.mx:8080/xmlui/handle/liter_ciidiroax/300
- Ministerio de Cultura (2019). *Cerámica tradicional shipibo-konibo*. <http://repositorio.cultura.gob.pe/handle/cultura/1458>
- Norma E – 070. (2019). *Albañilería. Ministerio de Vivienda, construcción y saneamiento*.
- Norma Técnica Peruana 400.012. Agregados. *Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global*.
- NTP 339.621. (2017). *Unidades de albañilería. Método de ensayo de compresión diagonal en muretes de albañilería*.
- NTP 399.604. (2002). *Unidades de Albañilería. Método de muestreo y ensayo de unidades de albañilería de concreto. Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales - INDECOPI*.
- Pancca, P. (2022). *Resistencia en pilas y muretes de bloques de concreto con adición de ceniza de bosta y curado con microjet artesanal, Juliaca - 2022*. [Tesis de pregrado, Universidad Cesar Vallejo]. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/90926>
- Perez, R. M. (2021). *Comportamiento mecánico de muros de albañilería con ladrillos artesanales con adición de cenizas de hornos, Pacaycasa, Ayacucho 2021*. [Tesis de pregrado, Universidad Continental]. <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/11561>
- PNTN 399.613 . (2017). *Unidad de albañilería. Método de muestreo y ensayo de ladrillos de arcilla usados en albañilería*.
- Rodriguez, E. N., & Salazar, G. (2020). *Diseño de ladrillo de arcilla artesanal con adición de ceniza de cascarilla de arroz para viviendas unifamiliares, Rioja – 2020*. [Tesis de pregrado, Universidad Cesar Vallejo].

<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/55302>

- Srisuwan, A., Sompech, S., Saengthong, C., Thaomola, S., Chindraprasirt, P., & Phonphuak, N. (2020). Preparation and properties of fired clay bricks with added wood ash. *Journal of Metals, Materials and Minerals*, 30(4), 84–89. <https://doi.org/10.55713/jmmm.v30i4.918>
- Torres-Agredo, J., Mosquera-Idrobo, L. F., Paz-Villegas, P., & Díaz-Huertas, M. F. (2021). Evaluación de cenizas de fondo de carbón para la fabricación de ladrillos de arcilla: estudio preliminar. *Revista UIS ingenierías*, 20(4). <https://doi.org/10.18273/revuin.v20n4-2021013>
- Vagtholm, R., Matteo, A., Vand, B., & Tupenaite, L. (2023). Evolution and current state of building materials, construction methods, and building regulations in the U.k.: Implications for sustainable building practices. *Buildings*, 13(6), 1480. <https://doi.org/10.3390/buildings13061480>