



**FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y
URBANISMO**

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

**Efecto del uso de la ceniza de cáscara de arroz en las
propiedades mecánicas del mortero: Una revisión
literaria**

**PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE
BACHILLER EN INGENIERÍA CIVIL**

Autor:

Carrasco Cabrera, Carlos Alberto

<https://orcid.org/0000-0003-4641-4682>

Asesor:

Muñoz Pérez, Sócrates Pedro

<http://orcid.org/0000-0003-3182-8735>

Línea de Investigación:

**Tecnología e innovación en el desarrollo de la construcción y la
industria en un contexto sostenible**

Sublínea de Investigación:

**Innovación y tecnificación en Ciencia de los Materiales, Diseño
e Infraestructura**

Pimentel – Perú

2025

DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD

Quien suscribe la **DECLARACIÓN JURADA**, soy egresado del Programa de Estudios de **INGENIERIA CIVIL** de la Universidad Señor de Sipán S.A.C, declaro bajo juramento que soy autor del trabajo titulado:

Efecto del uso de la ceniza de cáscara de arroz en las propiedades mecánicas del mortero: Una revisión literaria

El texto de mi trabajo de investigación responde y respeta lo indicado en el Código de Ética del Comité Institucional de Ética en Investigación de la Universidad Señor de Sipán (CIEI USS) conforme a los principios y lineamientos detallados en dicho documento, en relación a las citas y referencias bibliográficas, respetando al derecho de propiedad intelectual, por lo cual informo que la investigación cumple con ser inédito, original y auténtico.

En virtud de lo antes mencionado, firma:

Carrasco Cabrera Carlos Alberto	DNI: 75151357	
---------------------------------	---------------	---

Pimentel, 31 de enero de 2025

7% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- ▶ Bibliografía
- ▶ Texto mencionado
- ▶ Coincidencias menores (menos de 8 palabras)

Fuentes principales

- 4%  Fuentes de Internet
- 1%  Publicaciones
- 5%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

Dedicatoria

Dedico esta tesis a Dios, fuente inagotable de fortaleza en cada paso de mi vida y por cuya guía he podido aprender y completar exitosamente mi formación profesional.

A mis padres, cuyo sacrificio y esfuerzo inquebrantable han constituido la base esencial para mi crecimiento profesional, les agradezco profundamente.

A mis abuelos, quienes en vida fueron modelos a seguir y vertientes de sabiduría. Sus experiencias y enseñanzas dejaron una huella imborrable en mi vida, guiando mis pasos con su ejemplo de dedicación y fortaleza. Siempre recordaré sus historias llenas de valiosas lecciones, y su amor incondicional que me inspiró a perseguir mis sueños. Su legado de integridad y perseverancia me acompaña, motivándome a vivir con propósito y gratitud.

Agradecimientos

Primero, expreso mi más profunda gratitud a Dios, cuya guía ha sido indispensable en cada etapa de mi vida y quien me ha otorgado la fortaleza necesaria para avanzar sin desmayar, especialmente en los momentos cruciales de este proyecto académico.

A mis padres, mi eterno agradecimiento por moldear mi carácter para el bien, y por su inquebrantable apoyo y aliento para que nunca me rindiera.

A la Universidad Señor de Sipán, mi sincero agradecimiento por brindarme la oportunidad de integrarme a su comunidad académica y contribuir significativamente a mi formación profesional.

Finalmente, a todas las personas que han sido parte fundamental de este enriquecedor proceso, quienes con su apoyo me han ayudado a continuar avanzando.

Índice

Dedicatoria	2
Agradecimientos	3
Resumen	5
Abstract	6
I. INTRODUCCIÓN.....	7
1.1. Realidad problemática	7
1.2. Formulación del problema.	9
1.3. Hipótesis	9
1.4. Objetivos.....	9
1.5. Teorías relacionadas al tema.....	9
1.5.1. Arena.....	9
1.5.2. Cemento	10
1.5.3. Ceniza de cáscara de arroz	10
II. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN	11
III. RESULTADOS	11
3.2. Propiedades físicas del mortero.	12
3.2.1. Fluidéz.....	12
3.2.2. Índice de actividad puzolánica (IAP).....	14
3.3. Propiedades mecánicas.	15
3.3.1. Resistencia a la compresión.....	15
3.3.2. Resistencia a la flexión.....	18
3.4. Propiedades de durabilidad	20
3.4.1. Capilaridad.....	20
3.4.2. Carbonatación.....	21
IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.....	21
4.1. Discusión.	21
4.2. Conclusiones.....	22
V. REFERENCIAS.....	24

Resumen

La creciente demanda de materiales de construcción y la necesidad de prácticas más sostenibles han impulsado la investigación sobre el uso de ceniza de cáscara de arroz (CCA) en morteros. Este estudio revisa la literatura reciente sobre el impacto de la CCA en las propiedades físico-mecánicas y la durabilidad del mortero. Se analizaron 50 artículos publicados entre 2019 y 2024 en bases de datos como Scopus y SciELO. Los resultados indican que la incorporación de CCA mejora significativamente el rendimiento del mortero. La adición de 5-20% de CCA aumenta la resistencia a la compresión hasta un 68% y la resistencia a la flexión hasta un 64.2%. La fluidez del mortero disminuye con mayores porcentajes de CCA, siendo 10% el nivel óptimo para mantener la trabajabilidad. La CCA también mejora la durabilidad, reduciendo la absorción capilar hasta un 65.96% y la carbonatación en un 19%. Asimismo, el índice de actividad puzolánica alcanza su máximo (114%) con 10% de CCA calcinada a 600°C. Sin embargo, porcentajes superiores al 20% pueden comprometer algunas propiedades mecánicas. La CCA no solo mejora el rendimiento del mortero, sino que también contribuye a la sostenibilidad al reducir el uso de cemento y reutilizar residuos agrícolas. En conclusión, la CCA es un aditivo efectivo para mejorar las propiedades físico-mecánicas y la durabilidad del mortero, aunque su dosificación óptima varía según la propiedad específica y debe ser cuidadosamente determinada.

Palabras clave: Mortero, resistencia, trabajabilidad, actividad puzolánica, durabilidad y cenizas.

Abstract

The growing demand for building materials and the need for more sustainable practices have driven research into the use of rice husk ash (CCA) in mortars. This study reviews the recent literature on the impact of CCA on the physical-mechanical properties and durability of mortar. 50 articles published between 2019 and 2024 in databases such as Scopus and SciELO were analyzed. The results indicate that the incorporation of CCA significantly improves mortar yield. The addition of 5-20% CCA increases compressive strength to 68% and flexural strength to 64.2%. The fluidity of the mortar decreases with higher percentages of CCA, with 10% being the optimal level to maintain workability. CCA also improves durability, reducing capillary absorption by up to 65.96% and carbonation by 19%. Likewise, the index of pozzolanic activity reaches its maximum (114%) with 10% of CCA calcined at 600°C. However, percentages above 20% may compromise some mechanical properties. Not only does CEC improve mortar performance, but it also contributes to sustainability by reducing the use of cement and reusing agricultural waste. In conclusion, CCA is an effective additive to improve the physical-mechanical properties and durability of mortar, although its optimal dosage varies according to the specific property and must be carefully determined.

Keywords: Mortar, resistance, workability, pozzolanic activity, durability and ash.

I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática.

Hoy en día, el sector de la construcción se apoya considerablemente en el empleo del mortero, un componente esencial para asegurar la resistencia y longevidad de las estructuras. (Kadhim et al., 2024). No obstante, la fabricación de cemento, que es el ingrediente principal del mortero, implica costos elevados y genera un considerable impacto ambiental a causa de sus altas emisiones de CO₂ y su intenso uso de energía. (Hernández & Vásques, 2023). Este escenario representa un reto significativo en un entorno de rápido desarrollo urbano, donde es necesario incrementar la fabricación de materiales para la construcción, lo cual intensifica el uso de recursos naturales y el aumento de desechos. (Al-Saleh et al., 2024) (Bansal et al., 2024).

Simultáneamente, el sector agrícola produce enormes cantidades de desechos en el país Puerto Rico, entre los cuales la cáscara de arroz (CCA) sobresale como un subproducto abundante y poco aprovechado. (Guzmán Castillo et al., 2020). En Colombia, la producción de arroz asciende a 50 millones de toneladas, donde la cáscara de arroz constituye el 20% del peso total del grano. Esto produce cientos de miles de toneladas al año que, por lo general, se eliminan o se incineran de forma ineficiente, impactando negativamente el medio ambiente. (ASTM, 2024). Este escenario indica la urgencia de identificar usos alternativos y sostenibles para este desecho agroindustrial, transformándolo en un recurso que aporte valor como aditivo cementante. (Socrates et al., 2023) (André Martins et al., 2023).

En Madrid, los estudios recientes sugieren que la ceniza de cáscara de arroz (Méndez et al., 2022), puede servir como un reemplazo parcial del cemento en mezclas de mortero, contribuyendo a mejorar las características mecánicas y la longevidad, a la vez que disminuye los costos y el impacto ambiental en la construcción. (Zhiyao et al., 2023). Por lo general, los residuos agrícolas se emplean en forma de cenizas, gracias a sus propiedades puzolánicas que alteran el comportamiento del mortero elaborado.

(Marina Souza et al., 2023), la aplicación de CCA es un tema muy investigado, promoviendo así una industria de la construcción más sostenible y una gestión ambiental más responsable de los residuos agroindustriales (Toryila Tiza et al., 2023).

En la actualidad, la industria cementera es esencial para la economía mundial por su uso en infraestructura, pero también contribuye con más del 7% de las emisiones globales de gases de efecto invernadero (Tkachenko et al., 2023); por esta razón, el sector ha empezado a integrar Materiales Cementantes Suplementarios (SCM), los cuales son subproductos derivados de procesos industriales y agrícolas que tienen la capacidad de sustituir parcialmente el cemento (Edem et al., 2024). Un ejemplo destacado es la cáscara de arroz, de la cual se obtienen 220 kg por tonelada procesada, produciendo al quemarse 55 kg de ceniza rica en sílice cuya reactividad puzolánica depende de la temperatura, molienda y tiempo de combustión. (Doğruyol, 2024)

En tal sentido, se destaca la importancia del uso de la CCA como un tema ampliamente demandado y estudiado, dado que su incorporación influye positivamente en las propiedades del mortero al reemplazar el cemento (Ortega et al., 2024), lo cual es ventajoso para las personas con recursos limitados, ya que se adquiere a un costo accesible (Suárez et al., 2024).

Además, desde el ámbito nacional el (INEI, 2021) Según se señala, en diciembre del año 2021, la medición de la productividad de la cáscara de arroz alcanzó las 328 toneladas, lo que representa un crecimiento del 26,2% respecto al año 2020, del mismo modo que en las regiones de Piura y San Martín. (Arema et al., 2024); no obstante, según (García et al., 2023), La agricultura presenta también ciertos impactos negativos, entre los que se incluyen: el deterioro del suelo, el gran consumo hídrico, la pérdida de áreas boscosas; y más destacadamente, la inadecuada gestión de sus residuos.

Como consecuencia del procesamiento del arroz, se generan cantidades considerables de cáscara de arroz. (Selvaranjan et al., 2021); según el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI, 2022), En mayo de 2022, la producción de arroz en cáscara en Chiclayo llegó a las 517,956 toneladas, lo que constituye un incremento del

54.7% en relación con el mismo periodo del año previo, cuando la producción fue de 334,719 toneladas; en otras palabras, según (Hernández et al., 2023), se trata de un subproducto agrícola abundante con un alto potencial para ser utilizado como biomasa, generando aproximadamente el 20% del peso del arroz en forma de residuos.

1.2. Formulación del problema.

¿De qué manera impacta el uso de la ceniza de cascara de arroz en la durabilidad y propiedades mecánicas del mortero?

1.3. Hipótesis.

El uso de ceniza cascará de arroz impacta positivamente en la durabilidad y propiedades mecánicas del mortero.

1.4. Objetivos.

Objetivo general

Evaluar el efecto del uso de la ceniza de cáscara de arroz como sustituto parcial de cemento en la durabilidad y propiedades físico-mecánicas del mortero.

Objetivos específicos

Manifestar con qué porcentajes de CCA se alcanzan mejoras en las propiedades mecánicas del mortero; asimismo, observar su viabilidad a través del tiempo.

1.5. Teorías relacionadas al tema.

1.5.1. Arena.

(Srivastava & Singh, 2020) en su investigación determinaron diferentes tipos de arenas alternativas tales como ceniza de fondo de carbón, arena de roca triturada, escoria de cobre, arena de fundición y agregado fino reciclado; indicando que, calidad de la arena empleada en la mezcla de mortero es fundamental, ya que afecta tanto las propiedades mecánicas como la durabilidad del mortero. Por su parte (Li et al., 2020), manifiestan que la arena natural de río y arena de mar que ha sido lavada o purificada puede considerarse

apta para usarse en la mezcla de mortero; puesto que posee mínimas impurezas como arcilla y sal marina; asimismo, (Arulmoly y otros, 2021) concuerdan en que, la selección y las características de la arena como el aumento de la angulosidad y la superficie más rugosa son fundamentales para optimizar el diseño de mezcla del mortero, lo que a su vez impacta su rendimiento en aplicaciones de construcción.

1.5.2. Cemento.

(Salah et al., 2020) manifiestan que, el cemento es un componente clave en la construcción de muros de albañilería; por ende, reemplazarlo con otros materiales generalmente reduce su resistencia y rendimiento; lo que involucra un estudio profundo de los porcentajes de sustitución correcta en el diseño de mezcla; asimismo, según (Zahra et al., 2022) confirman que, el tipo de cemento y el agua utilizada en la mezcla influyen considerablemente en las propiedades físicas y mecánicas del mortero; estas propiedades se evalúan considerando el tiempo de curado tanto en condiciones frescas como endurecidas. Por su parte, (Shafigh et al., 2020) manifiestan que, su proporción en la mezcla es fundamental, ya que incide directamente en las propiedades térmicas del material; así como en sus características mecánicas y de durabilidad.

1.5.3. Ceniza de cáscara de arroz.

Considerado un subproducto agrícola, este material se emplea frecuentemente como aditivo cementicio debido a su capacidad para optimizar diversas propiedades del cemento y el mortero (Ding F. et al., 2024). Según (Hernández et al., 2022), se identifica que este residuo contiene aproximadamente un 35% de celulosa, un 25% de hemicelulosas y un 20% de lignina. Además, de acuerdo con (Zhiyao et al., 2023), su incorporación en morteros puede reducir la cantidad de cemento necesaria en la mezcla y mejorar las resistencias a la compresión, flexión y tensión. No obstante, su efectividad depende directamente de las proporciones específicas utilizadas (Ortega et al., 2024).

II. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

Esta revisión del estado del arte proporciona información útil sobre la reutilización de residuos sólidos como la CCA, como una alternativa promisorio para mejorar el comportamiento físico y mecánico del mortero; mostrando las diferentes propuestas de uso en sustitución o adición de cada componente del mortero, considerando como parámetros las dosificaciones adecuadas, la fluidez, los ensayos físico-mecánicos, el tamaño de la CCA, entre otros.

En este estudio, se emplearon 65 documentos publicados en revistas de gran prestigio, las cuales están registradas en bases de datos reconocidas como Scopus, ScienceDirect y SciELO; éstas se encuentran repartidos de la siguiente forma, 55 Art. en Scopus, 10 artículos en otra base de datos detalladas en la tabla 1. Para la búsqueda de información empleamos los siguientes keywords: Cemento, mortero, ceniza de cáscara de arroz, comportamiento, albañilería, fabricación, propiedades y fluidez. Para un mejor entendimiento en la tabla 1 se observa los artículos empleados en la estructura básica del artículo de revisión clasificados por año de publicación.

Tabla 1. Distribución de artículos por base de datos y año de publicación.

BASE DE DATOS	AÑO DE PUBLICACIÓN						TOTAL
	2019	2020	2021	2022	2023	2024	
SCOPUS	3	9	7	10	9	17	55
SCIELO	0	1	0	0	1	1	3
IOP PUBLISHING	1	1	2	1	0	1	6
SCIENCEDIRECT	1	0	0	0	0	0	1
TOTAL							65

III. RESULTADOS

3.1. Producción de residuos de CCA.

Las actividades productivas responsables de estos residuos actualmente producen volúmenes gigantescos que impactan negativamente la salud humana, perjudican el entorno natural y sus recursos; los datos recopilados se presentan en la tabla 2.

Tabla 2. Resultados del estudio aplicando criterios de selección.

Referencias	País	CCA (Tn/año)
(Zou, 2019)	China	41.64 Millones
(Araújo et al., 2021)	Brazil	11.40 Millones
(Quispe et al., 2019)	Perú	0.39 Millones
(Azat et al., 2019)	Kazajistán	0.29 Millones
(Selvaranjan et al., 2021)	Sri Lanka	0.88 Millones

Por lo tanto, las cifras obtenidas de diversas publicaciones corroboran el incremento en la generación de estos desechos y la producción predominante del consumo de arroz, lo que influye en la generación de cascarilla de arroz. Según (Muñoz et al., 2024), se estima que de 1000 kg de cascarilla de arroz se obtienen alrededor de 200 kg de ceniza de arroz. Esta producción actual de arroz se ilustra en la Figura 1.

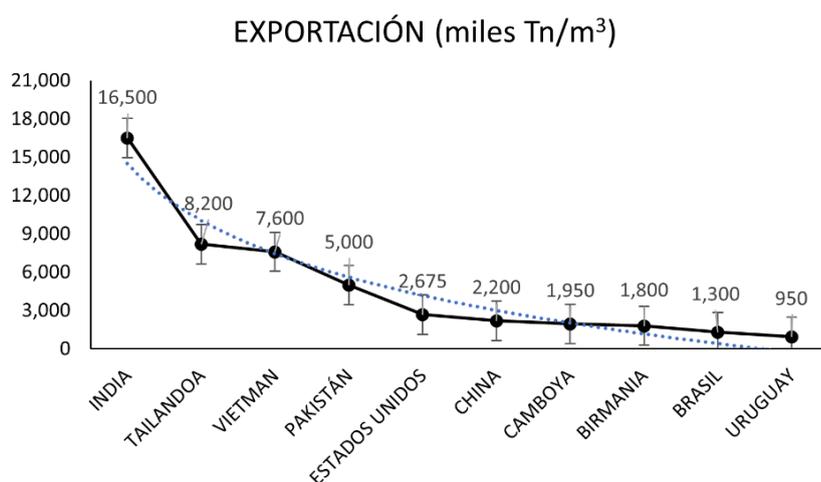


Figura 1. Principales naciones proveedoras de arroz a escala global en el período 2023/2024 según (Statista, 2024)

3.2. Propiedades físicas del mortero.

3.2.1. Fluidez.

(Liul et al., 2024) en su investigación estudiaron las propiedades mecánicas de los compuestos cementantes diseñados de ultra alta resistencia elaborados utilizando CCA como material cementante suplementario. Los niveles de reemplazo de cemento por

CCA fueron 10%, 20% y 30%. También emplearon fibras de polietileno para mejorar la ductilidad y resistencia a la tracción de las mezclas de cemento. Sus conclusiones con respecto a la fluidez del mortero fueron que, esta describe un descenso progresivo de fluidez conforme aumentan los porcentajes de CCA; por lo tanto, el porcentaje óptimo de sustitución fue del 10% de CCA con una reducción de solo un 4.08% respecto del MP; por consiguiente, el reemplazo del cemento por CCA no debe superar el 20% de la dosificación.

Por su parte, (Mangi et al., 2024) en su investigación, en la cual sustituye el cemento por CCA y ceniza de bagazo de caña de azúcar (SCBA) al 5%, 10% y 15%. Los resultados indican que el porcentaje óptimo de adición fue del 10% CCA, obteniendo una reducción de la fluidez en el mortero de tan solo el 4% con respecto al mortero patrón. Por ende, se concluye que la combinación de estos dos componentes no es muy favorable para el mortero en cuestión de trabajabilidad o fluidez.

Asimismo, (Chindasiriphan et al., 2022) en su investigación, tuvo como objetivo estimar el efecto combinado de ceniza de cáscara de arroz y polímero superabsorbente sobre la capacidad de autocuración del mortero. Los resultados, evidenciaron que con la adición del del 20% de RHA, se obtiene una notable pérdida en la fluidez del mortero de hasta un 33% por debajo de lo normado por la (ASTM C1437-20, 2020). Se concluye que la disminución de la fluidez del mortero por debajo del mínimo indica un impacto negativo en la calidad del mortero.

Además, según (Alexander et al., 2022), en su investigación tuvieron como objetivo determinar las propiedades mecánicas y de durabilidad, adicionando nano Al_2O_3 (NA) al 0.5%, 1%, 1.5% y 2% y CCA al 5%, 10%, 15% y 20% en peso de cemento. Los resultados indican que el porcentaje óptimo de adición fue del 5% de CCA; permitiendo un notable incremento de la fluidez del mortero de hasta un 3,89% en la dispersión de flujo en comparación con la mezcla de control; esto indica que, una adición del 5% de MRHA es la adición óptima para mejorar la trabajabilidad del mortero sin comprometer los límites aceptables de fluidez.

Tabla 3. Fluidez del mortero con la incorporación de CCA.

Material	a/c	Porcentaje de CCA	diámetro (mm)	Referencias
	0.4	10 % CCA	195.00 mm	(Liul et al., 2024)
Mortero +	0.5	10 % CCA	192.00 mm	(Mangi et al., 2024)
CCA	0.6	20 % CCA	200.00 mm	(Chindasiriphan et al., 2022)
	0.5	5 % CCA	294.00 mm	(Alexander et al., 2022)

3.2.2. Índice de actividad puzolánica (IAP).

En el estudio realizado por (Othman et al., 2023), en su investigación, cuyo objetivo fue analizar cómo afectan dos fases de combustión diferentes a las características químicas de la ceniza de cáscara de arroz (RHA). La metodología implicó evaluar la resistencia a la compresión de cubos transcurridos 28 días, sometiéndolos a temperaturas de 300 °C y 600 °C. Los resultados indicaron que, a esta temperatura y con un 10% de CCA se alcanzó un Índice de actividad puzolánica (IAP) del 114%. En consecuencia, se concluye que 600 °C es la temperatura ideal para potenciar las propiedades cementosas del CCA cuando se emplea como sustituto parcial del cemento en las mezclas de mortero.

Por otro lado, la investigación de (Numan et al., 2021) se centró en examinar la influencia de diferentes temperaturas de combustión en las cualidades de la matriz de un mortero geopolimérico curado a temperatura ambiente. Se analizaron temperaturas de combustión de 200 °C, 400 °C, 600 °C, y 800 °C. Los resultados indicaron que, a una temperatura de 800 °C y con un 30% de CCA se alcanzó un IAP del 107.05%. En consecuencia, se consiguió un aumento en la resistencia del 6% en comparación con el mortero estándar; por lo que se recomienda que, para integrar CCA en morteros, la temperatura óptima de combustión debe de estar por encima de 600 °C.

De igual manera, según (Mangi et al., 2024), cuya investigación se enfocó en determinar la resistencia del mortero al incorporar CCA y cenizas de bagazo de caña de azúcar a proporciones del 10% y 30% como reemplazo parcial del cemento. Los resultados demostraron que a una temperatura 700 °C con un 10% de CCA, se obtuvo un incremento del 6% comparado con el mortero convencional. Los resultados indicaron que, a esta temperatura, se alcanzó un IAP del 92.99% de CCA. En consecuencia, se concluye que 700 °C es la temperatura ideal para potenciar las propiedades cementosas del CCA cuando se emplea como sustituto parcial del cemento en las mezclas de mortero.

Por otro lado, la investigación de (Damas et al., 2022) evaluó la influencia de la temperatura de quemado en las propiedades cementantes de las cenizas de cáscaras de arroz (CCA) y de trigo (WHA). Las cáscaras fueron sometidas a un primer quemado a temperaturas no controladas, seguido de un tratamiento térmico controlado a 600 °C durante 2 horas. Este proceso permitió eliminar el exceso de carbono y producir cenizas altamente reactivas. Los resultados indicaron que, a 600 °C de temperatura, se alcanzó un contenido óptimo de sílice amorfa del 94.27% en la CCA y del 69.64% en la WHA. En consecuencia, se concluyó que 600 °C es la temperatura óptima de combustión para maximizar las propiedades cementantes de estas cenizas y garantizar su efectividad.

Tabla 4. Índice de actividad puzolánica del mortero.

Material	Temp. Optima	Porcentaje de CCA	IAP	Referencias
	600 °C	10 % CCA	114.00 %	(Othman et al., 2023)
Mortero + CCA	700 °C	30 % CCA	107.05 %	(Numan et al., 2021)
	700 °C	10 % CCA	92.99 %	(Mangi et al., 2024)
	600 °C	19 % CCA	94.27 %	(Damas et al., 2022)

3.3. Propiedades mecánicas.

3.3.1. Resistencia a la compresión.

(Nasiru et al., 2021) en su investigación, utilizaron un 50% de vidrio reciclado (RG) para reemplazar la arena y CCA en proporciones de 10%, 20% y 30% para sustituir el

cemento. Los resultados indicaron que una mezcla con 50% de RG y 30% CCA permitió mejorar la resistencia a compresión del mortero hasta un 7.5% en comparación al MP. Se concluye que, el porcentaje óptimo de sustitución de CCA al mortero es 30%, con lo cual se pueden mejorar las propiedades mecánicas y de durabilidad del mortero, sin dañar el medio ambiente.

Asimismo, (Premkumar et al., 2024) realizaron un estudio con el propósito de examinar las características de resistencia y longevidad en mezclas que incorporan entre el 0% y 20% de humo de sílice y el 0% y 30% de CCA como sustituto del parcial del cemento. Los resultados revelaron que con el 15% de humo de sílice y 30% de CCA se alcanzó un aumento de la resistencia a la compresión del 12.72% en comparación con el MP. Se concluye que, el porcentaje óptimo de sustitución de CCA al mortero es 10%, permitiendo potenciar las propiedades mecánicas y su durabilidad del mortero.

(Mehdizadeh et al., 2021) condujeron una investigación enfocada en analizar las características mecánicas de morteros autocompactantes que integran nanopartículas de aluminio (NA) y ceniza de cáscara de arroz (CCA). El enfoque metodológico implicó la adición de NA en proporciones de 0%, 1%, 3% y 5%, junto con CCA en niveles de 0% y 30%. Los resultados obtenidos evidenciaron un incremento del 13% en resistencia a la compresión con un diseño de mezcla que incluía 3% de NA y 30% de CCA. Se concluye que con la incorporación de un 30% de CCA contribuye significativamente a optimizar el desempeño mecánico del mortero autocompactante.

Por su parte, en la investigación de (Dogruyol, 2024), se buscó determinar las propiedades mecánicas del mortero al sustituir el cemento con CCA en niveles del 10%, 15% y 20%. Los resultados mostraron que al incorporar un 20% de CCA en el mortero, se consiguió un incremento en la resistencia a la compresión de hasta un 68% en relación con el mortero tradicional; por ende, se concluye que, el porcentaje óptimo de sustitución al mortero es el 20% de RHA.

Asimismo, según (Mostafa et al., 2020); los cuales llevaron a cabo un estudio con el objetivo de evaluar las propiedades físico-mecánicas de morteros que incorporan CCA

como sustituto parcial del cemento en proporciones de 2%, 4%, 6%, 8% y 10% de CCA. Los resultados obtenidos pusieron de manifiesto una mejora en la resistencia a la compresión del 5.49% en comparación con el mortero de control, utilizando una dosificación del 8% de CCA. Por lo tanto, se concluyó que el porcentaje óptimo de CCA al mortero para optimizar las propiedades mecánicas del mortero es al 8%.

(Subashi et al., 2021) realizaron un estudio con el propósito de examinar la influencia de las cenizas residuales provenientes de hornos ladrilleros alimentados con cáscara de arroz en la resistencia del mortero. La metodología empleada consistió en sustituir el cemento con CCA en proporciones del 5%, 10% y 20%, sometiendo las muestras a pruebas de resistencia a la compresión. Los hallazgos revelaron que una incorporación del 5% de CCA propicia un aumento de hasta el 25% en la resistencia a la compresión, además de mejorar la fluidez en un 4% en comparación con el mortero de referencia. El estudio concluye que la utilización de CCA, particularmente cuando reemplaza el 5% del cemento, contribuye notablemente a potenciar el rendimiento del mortero en relación con las mezclas convencionales.

(Humphrey, 2020) condujo una investigación con el propósito de examinar la influencia de la cáscara de arroz en las propiedades mecánicas de morteros cementosos en proporciones de 0.5%, 1%, 1.5% y 2% mediante la metodología de sustitución de como CCA al cemento. Los hallazgos del estudio revelaron que la dosificación óptima de adición correspondía al 0.5% de CCA, logrando un incremento de hasta el 6% en la resistencia a la compresión. El estudio concluyó que la incorporación de la CCA en un 0.5% contribuye a mejorar la resistencia de los morteros a base de cemento, sugiriendo evitar aumentar los porcentajes de CCA al mortero.

Tabla 5. Resistencia a la compresión del mortero con CCA a 28 días.

Material	Porcentaje de CCA	Resis. a la compresión	Referencias
mortero + CCA	30 % CCA	26.90 MPa	(Nasiru et al., 2021)
	30 % CCA	42 MPa	(Premkumar et al., 2024)
	30 % CCA	48.90 MPa	(Mehdizadeh et al., 2021)
	20 % CCA	1.57 MPa	(Dogruyol, 2024)
	8 % CCA	46.13 MPa	(Mostafa et al., 2020)
	5 % CCA	28.50 MPa	(Subashi et al., 2021)
	0.5 % CCA	24.23 MPa	(Humphrey, 2020)

3.3.2. Resistencia a la flexión.

(Kabirova & Uysal, 2022) en su investigación revelaron que, la CCA en proporciones de 25%, 50% y 75% como sustituto parcial de la arena en morteros geopoliméricos basados en metacaolín. Los hallazgos del estudio revelaron que todas las dosificaciones de CCA resultaron en una disminución de la resistencia a la flexión a los 28 días comparada con la MP, no obstante, el mortero con 25% de CCA mostró la menor reducción, lo que representa una disminución de aproximadamente 1.56%. Por lo tanto, se toma como porcentaje óptimo el 25% de CCA.

Asimismo, (Jahangir et al., 2024) examinaron la influencia de la CCA en las propiedades mecánicas de morteros cementosos ligeros en proporciones de 10%, 20%, 30%, 40%, 50% y 60% mediante la metodología de sustitución parcial del cemento. Los hallazgos del estudio revelaron que la dosificación óptima de adición correspondía al 20% de CCA, logrando un incremento de aproximadamente el 44.2% en la resistencia a la flexión comparada con la MP. El estudio concluyó que la incorporación de CCA en un 20% contribuye a mejorar la resistencia a la flexión de los morteros cementosos.

(Gunduz & Onur, 2019) confirmando los resultados de Jahangir, en su investigación revelaron que, la CCA en proporciones de entre el 3%, 5%, 8%, 10%, 15%, 18%, 20%, 22% y el 25% como sustituto parcial del cemento. Los hallazgos del estudio

revelaron que la dosificación óptima de adición correspondía al 20% de CCA, logrando un incremento de aproximadamente el 46.2% en la resistencia a la flexión comparada con la MP.

Asimismo, (Al-Khafaji et al., 2021) realizaron un estudio para evaluar el efecto de la CCA de alto volumen sobre las propiedades del mortero de cemento a niveles de reemplazo de 0%, 20%, 40% y 60% de CCA a través de la sustitución parcial del cemento. Los resultados del estudio mostraron que, con el reemplazo del 20 % de CCA, se mejoró la resistencia a la flexión hasta un 4% en comparación con el MP. Sin embargo, se evidenció que, a mayor porcentaje de sustitución, como por ejemplo para el 40% y 60% se redujo la resistencia en 13% y 61%. Por lo tanto, en contraste con los resultados el porcentaje óptimo de adición debe ser menor al 20%.

(Kaffayatullah et al., 2020) realizaron una investigación con el propósito de examinar la influencia de la micro-sílice extraída de la ceniza de cáscara de arroz (EMS) en las propiedades mecánicas de morteros cementosos en proporciones de 5%, 15% y 25% mediante la metodología de sustitución parcial del cemento. Los hallazgos del estudio revelaron que la dosificación óptima de adición correspondía al 5% de EMS, logrando un incremento de hasta el 64.2% en la resistencia a la compresión a los 28 días. El estudio concluyó que la incorporación de EMS en un 5% contribuye a mejorar significativamente la resistencia y durabilidad de los morteros a base de cemento.

Tabla 5. Resistencia a la flexión del mortero con CCA a 28 días.

Material	Porcentaje de CCA	Resistencia a la flexión	Referencias
MORTERO + CCA	25 % CCA	8.81 MPa	(Kabirova & Uysal, 2022)
	20 % CCA	4.70 MPa	(Jahangir et al., 2024)
	20 % CCA	0.38 MPa	(Gunduz & Onur , 2019)
	20 % CCA	5.20 MPa	(Al-Khafaji et al., 2021)
	5 % CCA	5.62 MPa	(Kaffayatullah et al., 2020)

3.4. Propiedades de durabilidad.

3.4.1. Capilaridad.

(Ding F. et al., 2024) realizaron un estudio enfocado en evaluar las propiedades mecánicas y la impermeabilidad del mortero mediante el ensayo de absorción capilar al 1% y 2% de materiales cementosos de impermeabilización cristalina capilar (CCCW) y 2.5%, 5%, 7.5% y 10% de CCA. Los resultados indicaron que la combinación óptima correspondió a 2% de CCCW y 2.5% de CCA, logrando una reducción de hasta 65.96% en la absorción de agua en comparación con el mortero patrón. El estudio concluyó que la incorporación conjunta de CCCW y CCA mejora significativamente la impermeabilidad del mortero, evitando un aumento considerable en la absorción de agua asociado a mayores porcentajes de CCA.

Por su parte, (Mareike et al., 2022), investigaron el uso de 18% de CCA y 2% de BCCA como sustitución parcial del cemento para mejorar las propiedades del mortero. Los resultados mostraron una reducción en la absorción capilar de hasta 36% y 27% en la primera y segunda fase respectivamente con respecto al mortero patrón, concluyendo que la absorción está influenciada tanto por el porcentaje de CCA como por su combinación con BCCA.

Asimismo, (Shravan et al., 2019) analizaron las propiedades mecánicas y la durabilidad del mortero incorporando 5%, 10% y 15% de CCA. Los resultados mostraron que el 15% de CCA es el porcentaje óptimo, logrando un aumento del 16% en la captación de CO₂ y una mejora del 57.8% en la resistencia a compresión a las 12 horas. Además, se observó una reducción del 10% en la absorción de agua y del 27.05% en la porosidad del mortero. Se concluye que la adición del 15% de CCA mejora la captación de CO₂, la resistencia temprana y reduce la porosidad, ofreciendo un mortero más eficiente y sostenible.

3.4.2. Carbonatación.

(Mareike et al., 2022) en su investigación evaluaron la viabilidad y el rendimiento de la ceniza volante (FA), ceniza de caliza (LS) y CCA, con una sustitución del 25% por peso de cemento. Los resultados demostraron que la adición del 25% de CCA mejoró la resistencia a la compresión en un 22% y redujo la penetración por carbonatación en un 19%. Además, se evidenció una disminución de la capilaridad del 43.33% con CCA frente a una reducción del 18.33% con FA y LS. Se concluye que la CCA no solo incrementa la resistencia mecánica del mortero, sino que también proporciona mayor protección frente a la carbonatación y capilaridad, contribuyendo así a mejorar la durabilidad y sostenibilidad del material de construcción.

Por su parte, (Hossain et al., 2020) evaluaron la durabilidad y resistencia de morteros activados alcalinamente en dos combinaciones: AAB-1 (42% escoria, 28% cenizas de combustible de aceite de palma y 30% de CCA) y AAB-2 (42% escoria, 28% cenizas volantes y 30% de CCA). Los resultados mostraron que, tras 540 h, las profundidades de carbonatación aumentaron 5.5 veces en AAB-1 y 1.3 veces en AAB-2. Sin embargo, se observó una reducción en la resistencia a compresión del 43.8% en AAB-1 y del 40.9% en AAB-2, mientras que el mortero patrón incrementó su resistencia en un 8.9% debido a la densificación bajo exposición a CO₂.

Asimismo, (Lingling et al., 2022) reportaron que el mortero con 15% de CCA aumentó su capacidad de captación de CO₂ en un 16% y mejoró su resistencia a la compresión en un 57.8% a las 12 horas. No obstante, se observó una reducción del 10% en la absorción de agua y del 27.05% en la porosidad del mortero.

IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.

4.1. Discusión.

De acuerdo con los resultados en esta investigación, se manifiesta que el mortero con CCA muestra una mejor fluidez con el 5-10% de sustitución (Liul et al., 2024); (Mangi

et al., 2024); asimismo, con respecto al IAP, se observó que la CCA quemada entre 650°C y 800°C alcanza un alto contenido de sílice amorfa (Othman et al., 2023).

Por otro lado, con respecto a la resistencia a la compresión los porcentajes óptimos de sustitución varían entre 0.5% y 30%, logrando aumentos en la resistencia a la compresión desde 5.49% hasta 68% comparado con morteros convencionales (Dogruyol, 2024); (Mostafa et al., 2020). Asimismo, con respecto a la resistencia a la flexión, los estudios indican que porcentajes entre 5% y 20% de CCA pueden mejorar significativamente la resistencia a la flexión, con incrementos de hasta 46.2% (Gunduz & Onur, 2019); (Al-Khafaji et al., 2021).

Finalmente, con respecto a la durabilidad del mortero con CCA a través del tiempo en el ensayo de capilaridad, con porcentajes óptimos entre 2.5% y 15%, se logra reducir la absorción de agua hasta un 65.96% y mejorar la resistencia a compresión en un 57.8% (Shravan et al., 2019). Asimismo, en el ensayo de carbonatación, con una sustitución del 25% de CCA, se logra aumentar la resistencia a compresión hasta un 22% y reducir la penetración por carbonatación en un 19%, además de disminuir la capilaridad en un 43.33% (Mareike et al., 2022).

4.2. Conclusiones.

- Respecto al ensayo de fluidez del mortero, se evidenció que disminuye progresivamente con el aumento de la CCA; no obstante, el porcentaje óptimo de sustitución fue 10% de CCA, logrando solo un 4.08% de reducción respecto al mortero patrón, lo que permite mantener una trabajabilidad adecuada. Por encima del 20%, la fluidez se reduce drásticamente, afectando la calidad del mortero.
- El IAP más alto se obtuvo con 10% de CCA a 600°C, alcanzando un 114% de índice puzolánico, mientras que, a 700°C, con 30% de CCA, se logró un 107.05%; por lo tanto, la temperatura óptima de combustión se sitúa en 650°C para garantizar una mayor reactividad puzolánica del material.

- Respecto a la resistencia a la compresión, los resultados muestran que el porcentaje óptimo de sustitución de CCA depende del diseño de mezcla: Por ejemplo, si es del 30% de CCA se alcanza un aumento del 7.5% con vidrio reciclado; asimismo, si se usa el 20% de CCA, se alcanza un incremento del 68% y con el 8% de CCA, se logra una mejora del 5.49%.
- Respecto al ensayo de resistencia a la flexión del mortero, se definió que el porcentaje óptimo de sustitución al mortero es del 20% de CCA, logrando un incremento de hasta 46.2% en la resistencia a la flexión comparada con el mortero patrón; no obstante, es necesario aclarar que, a mayores porcentajes, la resistencia disminuye considerablemente. Por lo tanto, el porcentaje óptimo de sustitución es el 20% de CCA, la cual permite mejorar la capacidad estructural del mortero en aplicaciones como revestimientos y albañilería.
- Asimismo, para el ensayo de capilaridad del mortero; se estimó que la combinación óptima de sustitución al mortero es del 2% de CCCW y 2.5% de CCA logró una reducción de hasta 65.96%; del mismo modo, si usamos el 18% de CCA y 2% de biocarbón, se reduce hasta un 36% en la primera fase. Por lo tanto, se concluye que, el porcentaje óptimo de sustitución es del 2.5% de CCA en combinación con 2% de CCCW.
- Finalmente, respecto al ensayo de carbonatación, se evidenció que el uso de 25% de CCA disminuye la penetración por carbonatación hasta un 19% y mejora la resistencia a la compresión hasta un 22%. Sin embargo, morteros activados alcalinamente (AAB-1 y AAB-2) mostraron mayores profundidades de carbonatación y pérdida de resistencia.

V. REFERENCIAS.

1. Al-Khafaji, Z., Majdi , A., Shubbar, A., Salah, M., Al-Mamoori, S., Alkhayat, A., Al-Rifaie , A., Al-Emadi, N., Latif , R., Sadique, M., & Hashim, K. (2021). Influence of High Volume RHA on Properties of Cement Mortar. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, 1090. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1090/1/012028>
2. Araújo , L., Silva , I., Oliveira, G., Tiago, G., & Mambeli , R. (2021). Rice husk energy production in Brazil: An economic and energy extensive analysis. Journal of Cleaner Production, 290. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125188>
3. Arulmoly, B., Konthesingha, C., & Nanayakkara, A. (2021). Performance evaluation of cement mortar produced with manufactured sand and offshore sand as alternatives for river sand. Construction and Building Materials, 297. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.123784>
4. Li, P., Li, W., Yu, T., Qu, F., & Tam, V. (2020). Investigation on early-age hydration, mechanical properties and microstructure of seawater sea sand cement mortar. 29. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118776>
5. Liul, F., Jin, B., He, Q., & Zhou, Y. (2024). Influence of rice husk ash on the mechanical properties of ultra-high strength engineered cementitious composites (UHS-ECC). PLoS ONE, 19. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0301927>
6. Zahra , F., Maherzi, W., Benzerzour, M., Taleb, M., Abriak, N., Rais, Z., & Senouci , A. (2022). Mortar mixing using treated wastewater feasibility. Construction and Building Materials, 352. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.128983>
7. Alexander, A., Zeyneb, T., & Salomon, G. (2022). Effect of α : Phase Nano Al₂O₃ and Rice Husk Ash in Cement Mortar. Advances in Civil Engineering, 8. <https://doi.org/10.1155/2022/4335736>
8. André Martins, J., Custódio da Silva, L. S., & Eftting Silva, F. (2023). Construction of Buildings in Soft Clay Deposits: A Case Study in a Public School in Florianópolis/SC, Brazil. Anuario do Instituto de Geociencias, 47. https://doi.org/10.11137/1982-3908_2024_47_53330
9. Aremo, B., Isadare, D., Akinduro, O., Bello, O., Adeoye, M., Ayodeji, S., Abass, G., & Oluwasegun, K. (2024). Production of glass ceramic from rice husk and periwinkle shells. Discover Materials, 4(1). <https://doi.org/10.1007/s43939-024-00078-6>

10. ASTM. (2024). Development of predictive model for compressive strength of eco-brick masonry walls using numerical method. *Cleaner Waste Systems*, 8. <https://doi.org/10.1016/j.clwas.2024.100148>
11. ASTM C1437-20. (2020). Standard Test Method for Flow of Hydraulic Cement Mortar. West Conshohocken.
12. Azat, S., Korobeinyk, A., Moustakas, K., & Inglezakis, V. (2019). Sustainable production of pure silica from rice husk waste in Kazakhstan. *Journal of Cleaner Production*, 217, 352 - 359. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.01.142>
13. Bansal, S., Bansal, P., Gautam, L., & Vaibhav Sharma, K. (2024). Development and standardization of sustainable dry mix mortars with supplementary cementitious materials. *Journal of Building Pathology and Rehabilitation*, 4(49). <https://doi.org/10.1007/s41024-024-00400>
14. Chindasiriphan, P., Yokota, H., Kawabata, Y., & Pimpakan, P. (2022). Combined effect of rice husk ash and superabsorbent polymer on self-healing capability of mortar. *Construction and Building Materials*, 338, 127588. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.127588>
15. Damas, M., Mgaza, M., & Patrice, N. (2022). Characteristics of Combined Rice and Wheat Husk Ashes as a Partial Replacement for Cement in Mortar. *Civil Engineering Journal (Iran)*, 8(4), 671 - 682. <https://doi.org/10.28991/CEJ-2022-08-04-04>
16. Ding, F., Fan, X., Xie, Y., Jiang, S., Qiu, C., Sun, D., & Wu, R. (2024). Combined effect of rice husk ash and cementitious capillary crystalline waterproofing materials on the performance of mortar. *Journal of Building Engineering*, 84. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2024.108479>
17. Ding, F., Fan, X., Xie, Y., Jiang, S., Qiu, C., Sun, D., & Wu, R. (2024). Combined effect of rice husk ash and cementitious capillary crystalline waterproofing materials on the performance of mortar. *Journal of Building Engineering*, 84. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2024.108479>
18. Dogruyol, M. (2024). Characterization of historic mortars and the effect of rice husk ash (RHA) on quicklime. *Case Studies in Construction Materials*, 21. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2024.e03542>
19. Dođruyol, M. (2024). Characterization of historic mortars and the effect of rice husk ash (RHA) on quicklime. *Case Studies in Construction Materials*, 21. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2024.e03542>

20. Edem, C., Valéry Kouandété, D., & Edmond Codjo, A. (2024). Eco-friendly building materials: full-scale replacement of mineral aggregates with rice husk. *Discovery Materials*, 4(11). <https://doi.org/10.1007/s43939-024-00075-9>
21. García Crisanto, A. S., Flores Rodríguez, L. A., García Nima, E. J., & Sánchez Pacheco, L. A. (2023). Sustainability of grapevine cultivation in Peruvian family agriculture. *Revista Venezolana de Gerencia*, 28(9), 700-717. <https://doi.org/10.52080/rvgluz.28.e9.43>
22. Gunduz, L., & Onur, S. (2019). Use of Rice Husk Ash as Strength-Enhancing Additive in Lightweight Cementitious Composite Mortars. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, 471(3). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/471/3/032046>
23. Guzmán Castillo, J., Reyes Pozo, E., & Molina Bas, O. (2020). Evaluación del rendimiento del mortero que emplea ceniza volante como sustituto parcial del cemento pórtland. *Revista Ciencia y Construcción*, 1(2), 43-51.
24. Hernández Pérez, R., Olarte Paredes, A., Salgado Delgado, R., Salgado Delgado, A. M., Salomé Medrano, A., & Martínez Candia, F. (2023). Handling of rice husk as postharvest residue and its conversion into nanocellulose. *Revista interdisciplinaria en nanociencias y nanotecnología*, 16(30). <https://doi.org/10.22201/ceiich.24485691e.2023.30.69697>
25. Hernández Román, W., & Vásquez Ramírez, L. (2023). Variation of compressive strength in artisanal and industrial brick walls due to the inclusion of two additives in the sand-cement mortar. *Proceedings of the LACCEI international Multi-conference for Engineering, Education and Technology*. <https://doi.org/10.18687/LACCEI2023.1.608>
26. Hernández, R., Olarte, A., Salgado, R., Salgado, A., Salome, A., & Martinez, F. (2022). Handling of rice husk as postharvest residue. *Revista Interdisciplinaria en Nanociencias y Nanotecnologías*, 16(30). <https://doi.org/10.22201/ceiich.24485691e.2023.30.69697>
27. Hossain, M., Karim, M., Elahi, M., Islam, M., & Zain, M. (2020). Long-term durability properties of alkali-activated binders containing slag, fly ash, palm oil fuel ash and rice husk ash. *Construction and Building Materials*, 251. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.119094>
28. Humphrey, D. (2020). Effect of Rice Husk on the Mechanical Properties of Cement-Based Mortar. *The Institution of Engineers (India)*, 101, 205–213. <https://doi.org/10.1007/s40033-020-00228-z>
29. INEI. (2021). Producción de arroz cáscara creció 26,2% en diciembre del año 2021. Instituto Nacional de Estadística e Informática.

30. INEI. (25 de Julio de 2022). Instituto Nacional de Estadística e Informática.
31. Jahangir, M., Biswas, M., Biplab, M., Alam, S., & Mosabber, M. (2024). The Influence of Rice Husk Ash on Mechanical Properties of the Mortar and Concrete: A Critical Review. *Open Journal of Civil Engineering*, 14, 65-81. <https://doi.org/10.4236/ojce.2024.141003>
32. Kabirova , A., & Uysal, M. (2022). Influence of rice husk ash substitution on some physical, mechanical and durability properties of the metakaolin-based geopolymer mortar. *Journal of Sustainable Construction Materials and Technologies*, 7, 88-94. <https://doi.org/10.47481/jscmt.1093312>
33. Kadhim, S., Shubbar, A., Al-Khafaji, Z., Nasr, M., Al-Mamoori, S., & W. Falah, M. (2024). Development of ternary blend cement-free binder material for construction. *European Journal of Environmental and Civil Engineering*, 28(12). <https://doi.org/10.1080/19648189.2024.2326977>
34. Kaffayatullah, K., Muhammad , U., Khan, S., Muhammad, A., Tayyaba, B., Nauman, W., & Abdullah, A. (2020). Effective use of micro-silica extracted from rice husk ash for the production of high-performance and sustainable cement mortar. *Construction and Building Materials*, 258. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.119589>
35. Lingling, H., Huamei, Y., Zhen, É., Zhen, C., Jun, H., & Shipeng, Z. (2022). Effect of rice husk ash on carbon sequestration, mechanical property and microstructure evolution of cement-based materials with early-age carbonation treatment. *Cement and Concrete Composites*, 13. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2022.104672>
36. Mangi, S., Mangnejo, D., Karira, H., Hussain, Z., Rind, T., & Wan, M. (2024). Strength Performance of Mortar Prepared with SCBA and RHA as Supplementary Cementitious Materials at Elevated Temperatures. *Engineering, Technology and Applied Science Research*, 5(14), 16193-16197. <https://doi.org/10.48084/etasr.7420>
37. Mareike, T., Ostermaier, B., & Kränkel, T. (2022). Rice husk ash as an additive in mortar – Contribution to microstructural, strength and durability performance. *Resources, Conservation and Recycling*, 184. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2022.106389>
38. Marina Souza, P., Markssuel Teixeira, M., & Garcez de Azevedo, A. (2023). Chemical Treatments for Coffee Husks: Application in Mortar for Coating and Laying Blocks. *Buildings*, 13(7). <https://doi.org/10.3390/edificios13071678>
39. Mehdizadeh , B., Jahandari , S., Vessalas , K., Miraki, H., Rasekh, H., & Samali, B. (2021). Fresh, Mechanical, and Durability Properties of Self-Compacting Mortar

- Incorporating Alumina Nanoparticles and Rice Husk Ash. *Materials*, 14(22), 6778. <https://doi.org/10.3390/ma14226778>
40. Méndez, E., García-Roves, R., Aldea, B., Puerto, E., & Recino, H. (2022). Study of the alkali-silica reaction rate of Spanish aggregates. Proposal of a classification based in accelerated mortar bars tests and petrographic parameters. *Materiales de Construcción*, 71(344). <https://doi.org/10.3989/mc.2021.13421>
 41. Mostafa, M., Salah, H., & Shehata, N. (2020). Role of Low-cost Nano RHA on Physico-mechanical Properties of Cement Mortar. *Egyptian Journal of Chemistry*, 63(3). <https://doi.org/10.21608/EJCHEM.2019.12487.1777>
 42. Muñoz, S., Sánchez, E., Barboza, D., & Garcia, J. (2024). Use of recycled concrete and rice husk ash for concrete: A review. *Journal of Applied Research and Technology*, 22, 138-155. <https://doi.org/10.22201/icat.24486736e.2024.22.1.2248>
 43. Nasiru, S., Jiang, L., Yu, L., Chu, H., Huang, Y., Pei, C., Gu, Y., Jin, W., Eyram Klu, E., & Guo, M.-Z. (2021). Properties of cement mortar containing recycled glass and rice husk ash. *Construction and Building Materials*, 299(123900). <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.123900>
 44. Numan, S., Babu, D., Shashishankar, A., & Arunraj, A. (2021). Influence of brick industrial rice husk ash on properties of ambient cured geopolymer mortar matrix. *Materials Today: Proceedings*, 43, 1160 - 1166. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.08.609>
 45. Ortega Ramírez, A. T., Reyes Tovar, M., & Silva Marrufo, O. (2024). Rice husk reuse as a sustainable energy alternative in Tolima, Colombia. *Scientific Reports*, 14, 10391. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-60115-5>
 46. Ortega, A., Reyes, M., & Silvia, O. (2024). Rice husk reuse as a sustainable energy alternative in Tolima, Colombia. *Scientific Reports*, 14(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-024-60115-5>
 47. Othman, A., Li, B., Wang, Z., & Zhang, Z. (2023). Performance of rice husk ash under different two periods combustion conditions and effect of particle size on the strength of mortar. *Materiales de Construcción*, 73(349). <https://doi.org/10.3989/mc.2023.304422>
 48. Premkumar, R., Keerthick, B., Balaveeradurai, Velraja, & Jayakanth. (2024). Strength And Durability Properties of Sustainable Concrete Utilising Rice Husk Ash and Silica Fume. *E3S Web of Conferences*, 559. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202455904045>

49. Quispe, I., Navia, R., & Kahhat, R. (2019). Life Cycle Assessment of rice husk as an energy source. A Peruvian case study. *Journal of Cleaner Production*, 209, 1235 - 1244. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.10.312>
50. Reglamento Nacional de Edificaciones. (2024). A comprehensive study of the shielding ability from ionizing radiation of different mortars using iron filings and bismuth oxide. *Scientific Reports*, 14(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-024-60188-2>
51. Salah , M., Abdulhussein , A., Al-Abideen, Z., & Sami , M. (2020). Properties of eco-friendly cement mortar contained recycled materials from different sources. *Journal of Building Engineering*, 31. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2020.101444>
52. Selvaranjan, K., Chandanee Pushpakumari , G. J., de Silva, G., & Satheeskumar, N. (2021). Development of sustainable mortar using waste rice husk ash from rice mill plant: Physical and thermal properties. *Journal of Building Engineering*, 43. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2021.102614>
53. Selvaranjan, K., Gamage, J., De Silva, G., & Navaratnam, S. (2021). Development of sustainable mortar using waste rice husk ash from rice mill plant: Physical and thermal properties. *Journal of Building Engineering*, 43. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2021.102614>
54. Shafigh, P., Asadi, I., Akhianic, A., Mahyuddina, N., & Hashemid, M. (2020). Thermal properties of cement mortar with different mix proportions. *Materiales de Construccion*, 270(339). <https://doi.org/10.3989/mc.2020.09219>
55. Shravan, M., Souradeep, G., & Harn, K. (2019). Application of rice husk biochar and thermally treated low silica rice husk ash to improve physical properties of cement mortar. *Theoretical and Applied Fracture Mechanics*, 104. <https://doi.org/10.1016/j.tafmec.2019.102376>
56. Socrates, M., Villena, L., Tesen, F., Coronel, Y., García, J., & Brast, C. (2023). Influence of coconut fiber on mortar properties in masonry walls. *Electronic Journal of Structural Engineering*, 23(4), 52-58. <https://doi.org/10.56748/ejse.23391>
57. Srivastava, A., & Singh, S. (2020). Utilization of alternative sand for preparation of sustainable mortar: A review. *Journal of Cleaner Production*, 53. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119706>
58. Statista. (2024). Principal rice exporting countries worldwide in 2023/2024. <https://www.statista.com/statistics/255947/top-rice-exporting-countries-worldwide-2011/>

59. Suárez Silgado, S. S., Calderón Valdiviezo, L., & Betancourt Quiroga, C. (2024). Life cycle analysis and economic evaluation of cement and concrete mixes with rice husk ash: application to the Colombian context. *Materiales de Construcción*, 74(353). <https://doi.org/10.3989/mc.2024.350723>
60. Subashi de Silva, G. H., Vishvalingam, S., & Etampawala, Thusitha , N. B. (2021). Effect of waste rice husk ash from rice husk fuelled brick kilns on strength, durability and thermal performances of mortar. *Construction and Building Materials*, 268. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121794>
61. Tkachenko, N., Tang, K., McCarten, M., Reece, S., Kampmann, D., Hickey, C., Bayaraa, M., Foster, P., Layman, C., Rossi, C., Scott, K., Yoken, D., Christiaen, C., & Caldecott, B. (2023). Global database of cement production assets and upstream suppliers. *Scientific Data*, 10(696). <https://doi.org/10.1038/s41597-023-02599-w>
62. Toryila Tiza, M., Ogunleye, E., Hassana Ayer, V., Onuzulike, C., Ogirima Akande, E., & Terlumun, S. (2023). Integrating Sustainability into Civil Engineering and the Construction Industry. *Journal of Cement Based Composites*, 4(1), 5756. <https://doi.org/10.36937/cebacom.2023.5756>
63. Zhiyao, M., Hairong, H., Xinying, H., & Haiping, Y. (2023). Experiment study on the mechanical properties and alkali silica reaction (ASR) of mortar blended rice husk ash (RHA). *Case Studies in Construction Materials*, 18. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2023.e02028>
64. Zhiyao, M., Hairong, H., Xinying, H., & Haiping, Y. (2023). Experiment study on the mechanical properties and alkali silica reaction (ASR) of mortar blended rice husk ash (RHA). *Case Studies in Construction Materials*, 18. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2023.e02028>
65. Zou, T. (2019). Chapter 9 - Rice Husk, Rice Husk Ash and Their Applications. *Rice Bran and Rice Bran Oil*, 207-246. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812828-2.00009-3>