



**FACULTAD DE INGENIERIA, ARQUITECTURA Y
URBANISMO**

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

**REVISIÓN SISTEMÁTICA DE LA LITERATURA DEL
USO DE LAS CENIZAS DE CÁSCARA DE CAFÉ EN
EL DESEMPEÑO MECÁNICA Y DURABILIDAD DEL
CONCRETO**

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

Autora

Bernal Izquierdo Ana Paula
<https://orcid.org/0009-0004-8149-6702>

Asesor

Dr. Sócrates Pedro Muñoz Pérez
<https://orcid.org/0000-0001-5401-2566>

Línea de Investigación

**Tecnología e Innovación en el Desarrollo de la Construcción y la
Industria en un Contexto de Sostenibilidad**

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 **egresada** del Programa de Estudios de **INGENIERIA CIVIL** de la Universidad Señor de Sipán S.A.C, declaro bajo juramento que soy autora del trabajo titulado:

REVISIÓN SISTEMÁTICA DE LA LITERATURA DEL USO DE LAS CENIZAS DE CÁSCARA DE CAFÉ EN EL DESEMPEÑO MECÁNICA Y DURABILIDAD DEL CONCRETO

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, firman:

Bernal Izquierdo, Ana Paula	77289217	
-----------------------------	----------	---

Pimentel, 29 de enero de 2025

16% 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

- 9%  Fuentes de Internet
- 4%  Publicaciones
- 11%  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

A Dios, por guiarme en cada paso de este camino y darme la fuerza para enfrentar cada desafío.

A mi papá, que desde el cielo sigue siendo mi guía y mi fortaleza. Su amor, sacrificio y enseñanzas continúan siendo una inspiración en mi vida, y aunque no esté físicamente, su presencia y apoyo son eternos en mi corazón.

A mi mamá, cuyo amor incondicional y apoyo constante me han permitido llegar hasta aquí. Gracias por ser mi pilar, mi orgullo, por tu paciencia y por siempre creer en mí, incluso cuando yo dudaba.

A mi hermano por siempre estar apoyándome dándome consejos y diciéndome que no me dé por vencida.

Dar gracias a toda mi familia por siempre estar para mí.

Agradecimientos

Agradezco a Dios por darme la fuerza, sabiduría y oportunidad de llevar a cabo esta investigación. Mi sincero agradecimiento a mi docente por su orientación y apoyo constante. A mis asesores, les agradezco por su invaluable guía y por compartir sus conocimientos. También a mi casa de estudios, por brindarme las herramientas necesarias para desarrollar este proyecto. Este trabajo refleja el esfuerzo y el acompañamiento de todos quienes han estado a mi lado. ¡Gracias por ser parte de este logro!

Índice

Dedicatoria.....	4
Agradecimientos	5
índice de tablas.....	7
Resumen.....	8
Abstract	9
I. INTRODUCCIÓN.....	10
1.1. Realidad problemática.....	10
1.2. Formulación del problema.....	11
1.3. Hipótesis	11
1.4. Objetivos	12
1.5. Teorías relacionadas al tema	12
II. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN.....	13
III. RESULTADOS.....	14
IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.....	16
REFERENCIAS	20
ANEXOS	23

índice de tablas

TABLA I COMPORTAMIENTO FÍSICO DEL CONCRETO CON RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN	15
TABLA II PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO INCORPORANDO RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN.....	16
TABLA III MATRIZ DE CONSISTENCIA.....	23

Resumen

La cascarilla de café es un residuo agroindustrial con impacto ambiental por su acumulación y descomposición. Su uso en construcción es prometedor, pero su variabilidad química puede afectar la hidratación del cemento. Además, su viabilidad económica y logística requiere mayor estudio. Optimizar su procesamiento es clave para su aprovechamiento sostenible. La presente investigación tuvo como objetivo revisar los efectos de la ceniza de cascara de café en el desempeño mecánico y de durabilidad del concreto. Se analizaron xx artículos publicados entre 2020 a 2024 en la base de datos de Scopus, siendo un total de 37 documentos, abordando el tema con las siguientes palabras clave con el uso de cenizas agroindustriales en la resistencia a la compresión, flexión, tracción y durabilidad del concreto, propiedades cementantes, residuos agrícolas, temperatura de calcinación, actividad puzolánica, composición química y sílice. Los resultados mostraron que la dosis óptima de las cenizas varió entre 10 – 20% mejorando las propiedades mecánicas y de durabilidad. Se concluye que la ceniza de cáscara de café mejora la resistencia y durabilidad del concreto, pero su efecto varía según la dosificación y condiciones de calcinación y que su aplicación es eficiente en la construcción sostenible.

Palabras Clave: Concreto, ceniza de cáscara de café, construcción sostenible, desempeño mecánico.

Abstract

Coffee husks are an agroindustrial waste with environmental impact due to their accumulation and decomposition. Its use in construction is promising, but its chemical variability can affect cement hydration. In addition, its economic and logistical viability requires further study. Optimizing its processing is key to its sustainable use. The present research aimed to review the effects of coffee husk ash on the mechanical and durability performance of concrete. We analyzed xx articles published between 2020 to 2024 in the Scopus database, being a total of 37 papers, addressing the topic with the following keywords with the use of agroindustrial ash in the compressive, flexural, tensile strength and durability of concrete, cementitious properties, agricultural residues, calcination temperature, pozzolanic activity, chemical composition and silica. The results showed that the optimum ash dosage varied between 10 - 20% improving the mechanical and durability properties. It is concluded that coffee husk ash improves the strength and durability of concrete, but its effect varies according to the dosage and calcination conditions and that its application is efficient in sustainable construction.

Keywords: Concrete, coffee husk ash, sustainable construction, mechanical performance.

I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

La producción de cemento provoca que los recursos naturales se agoten y el consumo de una enorme cantidad de energía y responsable de aproximadamente el 8% de las emisiones mundiales de CO₂ causando el calentamiento global y el cambio climático [1], para paliar el problema, existe un creciente interés por encontrar un material alternativo al cemento como los residuos industriales y agrícolas [2]. El uso de residuos agroindustriales tiene como objetivo aumentar la sostenibilidad medioambiental de la producción de hormigón, además de introducir propiedades únicas que contribuyen al proceso de autocuración [3]. Diversos residuos agroindustriales como la ceniza de cáscara de café (CCC), la ceniza de bagazo de caña de azúcar (CBCA), la ceniza de cáscara de arroz (CCA) como un reemplazo potencial para el cemento, se trata de materiales de desecho que actúan como materiales cementantes suplementarios y poseen propiedades inherentes debido a su composición química [4].

El uso de puzolanas derivadas de subproductos agroindustriales, como las CCA, y las cenizas de bagazo de caña de azúcar CBCA, que tienen un alto contenido en sílice amorfa [5], esta sílice reacciona con el Ca(OH)₂ durante el proceso de hidratación del cemento Portland, originando a la producción de gel de CaH₂O₄Si (C-S-H) con propiedades cementantes [6].

El rápido crecimiento de la industria cafetera va acompañado de un asombroso aumento de la cantidad de residuos agrícolas producidos, en los países que producen café, los residuos de café son una fuente de polución grave y un serio problema medioambiental [7]. A nivel mundial en el 2021 la producción de café fue de 9.1 millones de sacos (un saco equivale a 60 kg de café verde), para un total de 546 000 toneladas [8], es importante considerar el eventual riesgo de los contaminantes procedentes del despulpado del café, Debido a su acumulación, representan un peligro para la salud

humana, alteran las funciones ecológicas del ecosistema y amenazan las contribuciones económicas tanto a nivel regional como nacional [9].

La incorporación de cenizas puede mejorar eficazmente el rendimiento de los materiales a base de cemento, lo que favorecerá el desarrollo ecológico de la industria de materiales de construcción y la aplicación de la estrategia de las dos emisiones de carbono [10], ante esto investigaciones han demostrado que la trabajabilidad del hormigón aumenta con la incorporación de cenizas, mientras que la densidad del hormigón resultante se reduce, mientras que la resistencia mecánica mejoró con el reemplazo del cemento por cenizas [11], por tal motivo es importante tener en cuenta el control de la temperatura de calcinación para poder generar los compuestos químicos de $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$, cuya cantidad varía entre 76.75% hasta 98.25% [12, 13]

De la literatura revisada se tiene que la producción de cemento genera un alto impacto ambiental, lo que ha impulsado la búsqueda de materiales alternativos como residuos agroindustriales. La ceniza de cáscara de café (CCC) es una puzolana con alto contenido de sílice amorfa, capaz de aumentar la resistencia mecánica y mejorar la durabilidad del concreto. Sin embargo, la literatura revisada muestra que su estudio es limitado en comparación con otras cenizas, evidenciando una brecha en cuanto a su efecto en la trabajabilidad, resistencia mecánica y durabilidad a diferentes temperaturas de calcinación. Esta investigación tiene como objetivo analizar sistemáticamente el uso de la CCC en el concreto, evaluando sus beneficios y limitaciones para su aplicación en la industria de la construcción.

1.2. Formulación del problema

¿Cómo afecta el uso de CCC en el desempeño mecánico y de durabilidad del concreto?

1.3. Hipótesis

El uso de ceniza de cáscara de café mejora el desempeño mecánico y de durabilidad del concreto.

1.4. Objetivos

Objetivo general

Analizar el efecto de la ceniza de cáscara de café en el desempeño mecánico y de durabilidad del concreto.

Objetivos específicos

- Examinar las características químicas y físicas de las cenizas de cáscara de café
- Examinar el desempeño mecánico y de durabilidad del concreto al incorporar cenizas de cáscara de café.

1.5. Teorías relacionadas al tema

Según las investigaciones realizadas por Alharthai et al. [14] y Guo et al. [10] revelaron que con el 15% y 20% de CCA alcanzaron la mayor resistencia a la compresión con un 15.6% y 17% con respecto a la muestra control, resultado similar ocurre con el estudio de Sun et al. [15] que con un 5% de CCC la resistencia a la compresión aumentó en 47.7% con respecto a la muestra control. Los estudios revisados demuestran que la CCC y la CCA mejoran la resistencia a la compresión del concreto, evidenciando su potencial como material cementante suplementario.

En el caso de la resistencia a la flexión se tiene el estudio de Nde et al. [16] revelaron que con el 10% de sustitución de cemento por ceniza de rastrojo de maíz (CRM) aumento en 20% con respecto a la muestra patrón, caso similar ocurrió con los estudios de Khan et al. [17] y Guo et al. [10] que con 9% de CBCA y CCA la resistencia a la flexión aumentó en 5.22% y 6.84% respectivamente con respecto al concreto patrón. Los estudios analizados evidencian que la CRM, CBCA y CCA mejoran la resistencia a la flexión del concreto gracias a su alto contenido de SiO_2 amorfo, favoreciendo la reacción puzolánica. La formación de geles C-S-H mejora las propiedades mecánicas, aunque la eficiencia depende de la finura, calcinación y porcentaje de reemplazo. Sin

embargo, se requiere más investigación sobre su durabilidad y compatibilidad con otros aditivos. Estos hallazgos respaldan su potencial en la construcción sostenible.

Con respecto a la resistencia a la tracción en los estudios realizados por Khan et al. [17] y Lourdu & Ali [18] con 9% y 10% de CBCA la resistencia a la tensión aumentó en 11.68% y 18.18%, y en la revisión bibliográfica realizada por Zhang et al. [19] indican que con 15% de CCA aumenta la resistencia a la tensión en 20%. Los estudios muestran que el uso de CBCA y CCA mejora la tracción del concreto debido a su actividad puzolánica. Esto fortalece la adhesión y cohesión en la matriz cementicia. Sin embargo, factores como la distribución de partículas y la interacción con aditivos deben considerarse. Además, se requieren más estudios sobre su durabilidad a largo plazo. Esto garantizaría su viabilidad en aplicaciones estructurales.

Con respecto a la durabilidad en el estudio realizado por Sakthivel & Suthaviji [20] evidenciaron que las pruebas de durabilidad, como la prueba rápida de permeabilidad a los cloruros y el análisis de la profundidad de carbonatación, mostraron que la adición de ceniza de cáscara de anacardo disminuía en general la conductividad de los cloruros, aumentando así la durabilidad, en el estudio realizado por [21], con 10% de ceniza de paja de arroz (CPA) observaron que la resistencia a la penetración de cloruro alcanzó un aumento del 49% con respecto al concreto patrón. Los estudios muestran que las cenizas agroindustriales mejoran la durabilidad del concreto al reducir la permeabilidad a los cloruros. Esto ayuda a minimizar la degradación de las estructuras. Sin embargo, se requiere evaluar su desempeño a largo plazo y en diversas condiciones ambientales. También es clave optimizar las dosificaciones para equilibrar sus beneficios. Futuras investigaciones deben profundizar en estos aspectos para su implementación efectiva

II. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

Este estudio se realizó mediante una revisión sistemática de la literatura con el propósito de recopilar, analizar y sintetizar investigaciones científicas sobre el uso de

cenizas agroindustriales, específicamente CCC, CCA y CBCA, en la producción de concreto. Se seleccionaron artículos y tesis publicadas entre los años 2020 a 2024 para garantizar una muestra actualizada y relevante. La selección se llevó a cabo en varias etapas, estableciendo criterios de inclusión y exclusión que permitieron enfocar la revisión en materiales reciclados aplicados al concreto. Para la búsqueda, se emplearon palabras clave relacionadas con el uso de cenizas agroindustriales en la resistencia a la compresión, flexión, tracción y durabilidad del concreto, propiedades cementantes, residuos agrícolas, temperatura de calcinación, actividad puzolánica, composición química y sílice. En total, se analizaron 37 artículos de revistas de alto impacto.

Cada estudio fue analizado considerando su pertinencia, calidad metodológica y principales hallazgos, con un enfoque particular en el impacto de las CCC en el concreto. La información recopilada permitió reconocer tendencias actuales, ventajas y desafíos asociados con el uso de estos materiales en la construcción, así como su influencia en las propiedades mecánicas y de durabilidad del concreto. La integración de estos estudios facilitó una comprensión más amplia sobre el potencial de las cenizas de cáscara como una alternativa sostenible para la producción de concreto.

III. RESULTADOS

OE1: Examinar las características físicas y químicas de las CCC.

La introducción de aditivos minerales dispersos tiene un efecto beneficioso sobre muchas propiedades del hormigón. Esto se debe, por un lado, a su efecto físico, lo que significa que las pequeñas partículas suelen tener una composición granulométrica más fina que el cemento Portland y se presentan como un microrrelleno [22]. Por otro lado, puede deberse a su actividad puzolánica, lo que significa que la sílice y la alúmina interactúan con el óxido de calcio hidratado y forman hidrosilicatos e hidroaluminatos de calcio [23].

En consecuencia, es necesario la utilización de residuos agroindustriales para ser usados como materia prima como aglutinantes en la producción de concreto es un

enfoque prometedor en relación con las consecuencias medioambientales; sin embargo, la optimización de las composiciones químicas y la gradación no suelen tenerse en cuenta, especialmente en el caso de los aglutinantes derivados de múltiples residuos agroindustriales [24]. Dando como origen a materiales puzolánicos, conocidos por poseer una elevada actividad puzolánica que, mejoran las propiedades de ingeniería del concreto a largo plazo debido al consumo de hidróxido de calcio y a la consiguiente formación de los geles de silicato de calcio-hidrato dentro de la matriz cementante [25]. Aunque los factores clave que afectan a la actividad puzolánica, como la composición química ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$), la amorfosidad y la finura, se abordan habitualmente en la literatura, existe una creciente necesidad de profundizar en los factores que rigen esta actividad con un enfoque más exhaustivo [26].

OE2: Examinar el desempeño mecánico y de durabilidad del concreto al incorporar cenizas de cáscara de café.

TABLA I
DESEMPEÑO MECÁNICO DEL CONCRETO CON RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN

Proporciones	Resultados	Referencia
Resistencia a la compresión		
10% CCA	Aumentó en 0.4% respecto al concreto patrón	[27]
20% CCA	Originó un aumento del 1.90 % respecto a la muestra inicial	[28]
10% CCC	Disminuyó un 4.11% con respecto al concreto patrón	[29]
17.5% CCA	Mejora en un 12.4% con respecto al concreto control.	[30]
20% CCA	Mejora en un 41.1% con respecto al concreto control.	[31]
Resistencia a la flexión		
10% CCA	Aumentó en un 1.04% con referencia a la muestra base.	[32]
20% CCA	Aumentó en un 11.5% en base al concreto patrón	[33]
15% CCA	Aumentó en un 10.53% respecto a la probeta patrón	[34]

10% CCC	Disminuyó un 10.89% en base al concreto patrón	[29]
Resistencia a la tracción		
10% CCA	Aumenta en un 7.9% con respecto a la muestra patrón	[35]
5% CCA	Aumenta en un 7.5% con respecto a la muestra patrón	[36]
5% CCA	Aumenta en un 7.5% con respecto a la muestra patrón	[37]
20% CCA	Aumenta en un 33% con respecto a la muestra patrón	[31]
10% CCC	Reduce en 15.03% con respecto a la muestra patrón.	[29]

TABLA II

DURABILIDAD DEL CONCRETO INCORPORANDO CENIZAS DE CÁSCARA DE CAFÉ

Incorporación	Resultados	Referencia
prueba rápida de permeabilidad a los cloruros y el análisis de la profundidad de carbonatación		
Al aumentar la dosis de ceniza de cáscara de anacardo	Disminución de la conductividad de los cloruros	[20]
resistencia a la penetración de cloruro		
10% CPA	Aumentó en un 49% con referencia a la muestra patrón	[21]

IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Discusión

Los resultados de esta revisión sistemática evidencian que la CCC posee un gran potencial como material cementante suplementario en la producción de concreto. Diferentes estudios han demostrado que su incorporación mejora propiedades mecánicas como la resistencia a la compresión, flexión y tracción, aunque los efectos varían según la proporción utilizada y las condiciones de calcinación.

La resistencia a la compresión mostró incrementos significativos en estudios

previos, destacándose mejoras de hasta 47.7% con un 5% de CCC, según Sun et al. [15]. Sin embargo, en algunos casos, como el uso del 10% de CCC, se evidenció una reducción del 4.11% en comparación con el concreto patrón [29]. Esto sugiere que, si bien la CCC tiene un efecto positivo en ciertas condiciones, una dosificación inadecuada podría afectar el desempeño mecánico del concreto.

Respecto a la resistencia a la flexión, la literatura revisada muestra resultados variables. Por ejemplo, Nde et al. [16] reportaron un aumento del 20% al sustituir un 10% de cemento por ceniza de rastrojo de maíz (CRM), mientras que Khan et al. [17] y Guo et al. [10] obtuvieron mejoras del 5.22% y 6.84% con CBCA y CCA, respectivamente. En contraste, la incorporación del 10% de CCC redujo la resistencia a la flexión en un 10.89% [29]. Esto indica que la efectividad de la CCC como aditivo cementante puede depender de su composición química, la finura de las partículas y las condiciones de mezcla.

En cuanto a la resistencia a la tracción, la adición de CBCA y CCA mostró mejoras del 11.68% y 18.18% con un 9% y 10% de sustitución, respectivamente [17, 18]. Asimismo, Zhang et al. [19] reportaron un aumento del 20% con un 15% de CCA. Estos resultados refuerzan la hipótesis de que la actividad puzolánica de las cenizas agroindustriales contribuye a una mejor adhesión y cohesión en la matriz cementicia. No obstante, el uso del 10% de CCC resultó en una reducción del 15.03% en la resistencia a la tracción [29], lo que resalta la necesidad de optimizar su dosificación para evitar efectos adversos.

Desde el punto de vista de la durabilidad, estudios como el de Sakthivel & Suthaviji [20] evidenciaron que la incorporación de ceniza de cáscara de anacardo reduce la conductividad de los cloruros, mejorando la resistencia a la penetración de agentes agresivos. Asimismo, el uso del 10% de ceniza de paja de arroz (CPA) incrementó en un 49% la resistencia a la penetración de cloruros [21]. Estos hallazgos sugieren que la CCC podría desempeñar un papel similar en la mejora de la durabilidad del concreto, aunque es necesario profundizar en investigaciones específicas para

determinar su efecto a largo plazo y en diversas condiciones ambientales.

En general, la literatura revisada respalda el potencial de la CCC en la construcción sostenible, pero también señala la importancia de controlar parámetros como la temperatura de calcinación y la proporción de reemplazo. Si bien se han identificado beneficios en términos de resistencia mecánica y durabilidad, algunos estudios reportan disminuciones en el desempeño del concreto, lo que enfatiza la necesidad de estandarizar metodologías y criterios de aplicación.

Futuras investigaciones deberían centrarse en la evaluación del comportamiento de la CCC en diferentes tipos de cemento y agregados, así como en su compatibilidad con otros aditivos para maximizar su rendimiento sin comprometer la calidad del concreto. Además, sería relevante realizar estudios sobre su impacto ambiental y económico para determinar su viabilidad a gran escala en la industria de la construcción.

Conclusiones

La revisión sistemática de la literatura confirma que la CCC tiene propiedades puzolánicas que pueden mejorar el desempeño mecánico y la durabilidad del concreto. Su incorporación como material cementante suplementario permite reducir el uso de cemento Portland, promoviendo una alternativa más sostenible en la construcción.

Los estudios analizados muestran que la CCC puede mejorar la resistencia a la compresión, flexión y tracción del concreto, aunque los resultados varían según la proporción utilizada y las condiciones de calcinación. Mientras que en algunos casos la CCC incrementó la resistencia hasta en un 47.7% con un 5% de sustitución, en otros, su uso en un 10% disminuyó la resistencia en un 4.11%, lo que evidencia la necesidad de una dosificación óptima para maximizar sus beneficios.

La incorporación de cenizas agroindustriales, como la CCC, ha demostrado reducir la permeabilidad a los cloruros, lo que mejora la resistencia a la carbonatación y disminuye la degradación del concreto. Investigaciones previas indican que el uso del 10% de ceniza de paja de arroz (CPA) aumentó en un 49% la resistencia a la penetración de cloruros, lo que sugiere que la CCC podría tener efectos similares.

Si bien los resultados son prometedores, la variabilidad en los efectos de la CCC sugiere que es fundamental controlar la temperatura de calcinación y la finura de las partículas para optimizar su actividad puzolánica. Además, es crucial evaluar su compatibilidad con otros aditivos y tipos de cemento para garantizar su aplicación efectiva en la industria de la construcción.

Se recomienda realizar estudios experimentales adicionales que permitan evaluar el comportamiento de la CCC en diferentes condiciones ambientales y a largo plazo. Asimismo, es necesario analizar su impacto en la trabajabilidad del concreto y su viabilidad económica para determinar su factibilidad en aplicaciones a gran escala en la industria de la construcción.

REFERENCIAS

- [1] A. Gedefaw, B. Worku Yifru, S. A. Endale, B. T. Habtegebreal y . M. D. Yehualaw, «Experimental Investigation on the Effects of Coffee Husk Ash as Partial Replacement of Cement on Concrete Properties,» *Advances in Materials Science and Engineering*, p. 4175460, 2022.
- [2] D. A. El-Emam, «Valorization of Solid Waste Products from a Variety of Sectors in Wastewater Treatment Processes,» *Springer Water*, vol. Part F2824, pp. 207 - 257, 2024.
- [3] S. Kadamba, S. Blesson, A. U. Rao, M. V. Kamath y A. Tantri, «Mechanical, durability and microstructure properties of self-healing concrete utilizing agro-industrial waste: a critical review,» *Journal of Building Pathology and Rehabilitation*, vol. 9, nº 2, p. 153, 2024.
- [4] R. Torres-Ortega, D. Torres-Sanchez y T. Lopez-Lara, «Mechanical properties of hydraulic concretes with partial replacement of Portland cement by pozzolans obtained from agro-industrial residues: A review,» *Heliyon*, vol. 11, nº 1, p. e41004, 2025.
- [5] B. Bastías, M. González, J. Rey-Rey, G. Valerio y P. Guindos, «Sustainable Cement Paste Development Using Wheat Straw Ash and Silica Fume Replacement Model,» *Sustainability*, vol. 16, nº 24, p. 11226, 2024.
- [6] M. Ahmed, . A. Sadoon, M. Bassuoni y . A. Ghazy, «Utilizing Agricultural Residues from Hot and Cold Climates as Sustainable SCMs for Low-Carbon Concrete,» *Sustainability (Switzerland)*, vol. 16, nº 23, p. 10715, 2024.
- [7] A. M. Chaurra, J. C. Molina Bastidas, C. Infante Santos y J. C. Wilches Rodríguez, «Valorization of Coffee Pulp in the Production of *Pleurotus pulmonarius* in Rural Communities of Colombia,» *ACS Food Science and Technology*, vol. 3, nº 8, pp. 1314 - 1322, 2023.
- [8] D. B. Machado y R. A. De Oliveira, «Functional and technological properties of coffee mucilage (*coffea arabica*) and its application in edible films,» *Quimica Nova*, vol. 46, nº 8, pp. 778 - 784, 2023.
- [9] M. R. Krause, P. A. V. L. Monaco, I. R. Haddade, L. A. M. Meneghelli y T. D. Souza, «Agricultural wastes used as alternative substrates for the production of tomato seedlings,» *Horticultura Brasileira*, vol. 35, nº 2, pp. 305 - 310.
- [10] Z. Guo, Z. Chen, X. Yang, L. Zhang, C. Li, C. He y W. Xu, «The Influence of Rice Husk Ash Incorporation on the Properties of Cement-Based Materials,» *Materials*, vol. 4, nº 2, p. 460, 2025.
- [11] S. A. Memon, U. Javed, M. I. Shah y A. Hanif, «Use of Processed Sugarcane Bagasse Ash in Concrete as Partial Replacement of Cement: Mechanical and Durability Properties,» *Buildings*, vol. 12, nº 10, p. 1769, 2022.
- [12] T. Ali, A. Saand, D. Bangwar, A. Buller and Z. Ahmed, "Mechanical and Durability Properties of Aerated Concrete Incorporating Rice Husk Ash (RHA) as Partial Replacement of Cement," *Crystals*, vol. 11, no. 6, p. 604, 2021.
- [13] I. Sanou, M. Sawadogo, M. Seynou¹ and L. Zerbo, "Study of the Mechanical Behaviour of Mortars Modified with Rice Husk Ash," *Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering*, vol. 7, no. 6, pp. 373-384, 2019.
- [14] M. Alharthai, K. C. Onyelowe, T. Ali, M. Z. Qureshi, A. Rezzoug, A. Deifalla y K. Alharthi, «Enhancing concrete strength and durability through incorporation of rice husk ash and high recycled aggregate,» *Case Studies in Construction Materials*, vol. 22, p. e04152, 2025.
- [15] X. Sun, Z. Chen, J. Li, J. Shao y D. Yu, «Effectiveness of Spent Coffee Ash in Concrete

- Permeable Pavement Bricks,» *Journal of Materials in Civil Engineering*, vol. 37, nº 2, p. 04024502.
- [16] M. N. Nde, S. Youssoufa, F. Kenmogne, M. M. Kuigne, M. Mbessa, E. Y. Bell y D. Fokwa, «Ecological concrete by partially substitution of cement with Cameroonian corn stover ash,» *Heliyon*, vol. 11, nº 1, p. e41424, 2025.
- [17] M. A. Khan, B. Zhang, M. Ahmad, M. Niekurzak, M. S. Khan, M. M. Sabri Sabri y W. Chen, «Optimizing concrete sustainability with bagasse ash and stone dust and its impact on mechanical properties and durability,» *Scientific reports*, vol. 15, nº 1, p. 1385, 2025.
- [18] A. R. Lourdu y S. H. M. Ali, «Study on strength, durable and flexural behaviour of partial replacement of sugarcane bagasse ash over cement,» *Materials Research Express*, vol. 10, nº 9, p. 095502, 2023.
- [19] P. Zhang, S. Wei, G. Cui, Y. Zhu y J. Wang, «Properties of fresh and hardened self-compacting concrete incorporating rice husk ash: A review,» *Reviews on Advanced Materials Science*, vol. 61, nº 1, pp. 563 - 575, 2022.
- [20] T. Sakthivel y S. Suthaviji, «Strength and Durability Studies on Concrete using Cashew Nut Shell Ash (CNSA) waste as Supplementary Materials,» *Global Nest Journal*, vol. 26, nº 7, p. 05994, 2024.
- [21] I. Y. Hakeem, M. Amin, I. S. Agwa, M. H. Abd-Elrahman, O. M. O. Ibrahim y M. Samy, «Ultra-high-performance concrete properties containing rice straw ash and nano eggshell powder,» *Case Studies in Construction Materials*, vol. 19, p. e02291, 2023.
- [22] E. Gaishun, K. Yavruyan, A. Khalyushev, A. Filippova y V. Bobin, «Effects of Technogenic Raw Materials on the Strength of Concrete,» *Lecture Notes in Networks and Systems, 4th International Scientific Conference on Precision Agriculture and Agricultural Machinery Industry, INTERAGROMASH 2021*, vol. 247, pp. 299 - 307.
- [23] S. Špičić, M. Malešev, V. Radonjanin, V. Bulatović y T. Milović, «Reactivity and pozzolanic properties of biomass ashes generated by wheat and soybean straw combustion,» *Materials*, vol. 14, nº 4, pp. 1 - 20, 2021.
- [24] . C. K. Gupta, A. Sachan y R. Kumar, «Utilization of sugarcane bagasse ash in mortar and concrete: A review,» *Materials Today: Proceedings*, vol. 65, pp. 798 - 807, 2022.
- [25] G. Rutkowska, M. Żółtowski, F. Chyliński, Y. Trach y E. Gortych, «The Effect of Glass Flour on the Microstructure and Properties of Fiber-Reinforced Concrete: Experimental Studies,» *Applied Sciences (Switzerland)*, vol. 13, nº 21, p. 11937, 2023.
- [26] H. Tural, B. Ozarisoy, S. Derogar y C. Ince, «Investigating the governing factors influencing the pozzolanic activity through a database approach for the development of sustainable cementitious materials,» *Construction and Building Materials*, vol. 411, p. 134253, 2024.
- [27] W. Ma, Y. Wang, . L. Yan and B. Kasal, "Natural and recycled aggregate concrete containing rice husk ash as replacement of cement: Mechanical properties, microstructure, strength model and statistical analysis," *Journal of Building Engineering*, vol. 66, p. 105917, 2023.
- [28] M. Nasir Amin, K. Ur Rehman, K. Shahzada, K. Khan, N. Wahab and A. Abdulalim Alabdullah, "Mechanical and microstructure performance and global warming potential of blended concrete containing rice husk ash and silica fume," *Construction and Building Materials*, vol. 346, p. 128470, 2022.
- [29] S. P. Muñoz Pérez , . M. E. Rivera Segura, Y. A. Alejandria Bustamante y L. I. Villena Zapata, «Study of the combined effect of coffee husk ash and polypropylene fibres on the mechanical properties of concrete,» *Journal of Applied Research and Technology*, pp. 32-41 , 2024.
- [30] J. M. David, R. M. De Jesus and R. P. Mendoza, "Quantification of hydration products in

rice husk ash (RHA)-blended cement concrete with crumb waste rubber tires (CWRT) & its correlation with mechanical performance," *International Journal of GEOMATE*, vol. 23, no. 99, pp. 126 - 133, 2023.

- [31] I. Y. Hakeem, I. S. Agwa, B. A. Tayeh and M. H. Abd-Elrahman, "Effect of using a combination of rice husk and olive waste ashes on high-strength concrete properties," *Case Studies in Construction Materials*, vol. 17, p. e01486, 2022.
- [32] S. K. Vijaya, K. Jagadeeswari and K. Srinivas, "Behaviour of M60 grade concrete by partial replacement of cement with fly ash, rice husk ash and silica fume," *Materials Today: Proceedings*, vol. 37, no. Part 2, pp. 2104 - 2108, 2021.
- [33] M. Alyami, I. Y. Hakeem, M. Amin, A. M. Zeyad, B. A. Tayeh and I. S. Agwa, "Effect of agricultural olive, rice husk and sugarcane leaf waste ashes on sustainable ultra-high-performance concrete," *Journal of Building Engineering*, vol. 72, p. 106689, 2023.
- [34] S. Sathe, M. Zain Kangda and S. Dandin, "An experimental study on rice husk ash concrete," *Materials Today: Proceedings*, vol. 77, pp. 724 - 728, 2023.
- [35] M. S. Chennakesava Rao, S. Packialakshmi, B. Rath, S. A. Alharbi, , S. A. Al-Farraj, T. R. Praveenkumar and B. Gavurová, "Utilization of agricultural, industrial waste and nanosilica as replacement for cementitious material and natural aggregates – Mechanical, microstructural and durability characteristics assessment," *Environmental Research*, vol. 231, p. Part 1, 2023.
- [36] S. Safdar Raza, B. Ali, M. Noman, M. Fahad and K. Mohamed Elhadi, "Mechanical properties, flexural behavior, and chloride permeability of high-performance steel fiber-reinforced concrete (SFRC) modified with rice husk ash and micro-silica," *Construction and Building Materials*, vol. 359, p. 129520, 2022.
- [37] B. Kone, J. N. Mwero and E. K. Ronoh, "Experimental Effect of Cassava Starch and Rice Husk Ash on Physical and Mechanical Properties of Concrete," *International Journal of Engineering Trends and Technology*, vol. 70, no. 2, pp. 343 - 350, 2022.

ANEXOS

**TABLA III
MATRIZ DE CONSISTENCIA**

ODS (Objetivos y Metas de Desarrollo Sostenible)	Línea de Investigación	Problema	PDRC (Plan de Desarrollo Regional Concertado)	Sublínea de Investigación	Hipótesis	Objetivo General	Objetivos Específicos	Método Propuesto
<p>ODS 12: Producción y Consumo Responsables Meta: Reducir la generación de desechos.</p>	<p>Tecnología e Innovación en el Desarrollo de la Construcción</p>	<p>¿Cómo afecta el uso de ceniza cáscara de café en el desempeño mecánico y de durabilidad del concreto?</p>	<p>Sostenibilidad en la Construcción y Reducción de Desechos</p>	<p>Innovación en Materiales de Construcción Reciclados</p>	<p>El uso de ceniza de cáscara de café afecta en el desempeño mecánico y de durabilidad del concreto.</p>	<p>Analizar el efecto de las cenizas de cáscara de café y durabilidad del concreto.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Examinar las características físicas y químicas de las cenizas de cáscara de café - Examinar el desempeño mecánico y de durabilidad del concreto al incorporar cenizas de cáscara de café. 	<p>Diseño experimental con muestras de concreto con ladrillo triturado en diferentes proporciones. Pruebas de resistencia a la compresión y tracción. Análisis estadístico de los resultados.</p>