

DOI: <https://doi.org/10.46296/ig.v9i17.0336>

VIABILIDAD TÉCNICA DE LA CENIZA DE CÁSCARA DE ARROZ COMO MATERIAL CEMENTANTE SUPLEMENTARIO: UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA DE LA LITERATURA

TECHNICAL FEASIBILITY OF RICE HUSK ASH AS A SUPPLEMENTARY CEMENTITIOUS MATERIAL: A SYSTEMATIC LITERATURE REVIEW

Bazurto-Basurto Carlos Abrahan ¹; Ashlee-Amariah Alay Toala ²;
Loor-Sierra Digna Elizabeth ³; Sornoza-Parrales Diego ⁴

¹ Universidad Estatal del Sur de Manabí. Jipijapa, Ecuador.
Correo: bazurto-carlos4072@unesum.edu.ec.

² Universidad Estatal del Sur de Manabí. Jipijapa, Ecuador.
Correo: alay-ashlee6481@unesum.edu.ec.

³ Universidad Estatal del Sur de Manabí. Jipijapa, Ecuador.
Correo: digna.loor@unesum.edu.ec. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-4322-9852>

⁴ Universidad Estatal del Sur de Manabí. Jipijapa, Ecuador.
Correo: diego.sornoza@unesum.edu.ec ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-9319-9298>

Resumen

La industria de la construcción enfrenta el desafío de reducir las elevadas emisiones de CO₂ derivadas de la producción de cemento Portland. La ceniza de cáscara de arroz (CCA) ha surgido como material cementante suplementario con alta reactividad puzolánica. El objetivo de esta revisión sistemática de literatura fue analizar la viabilidad técnica de sustituir parcialmente el cemento Portland por CCA en la elaboración de hormigón estructural. Se aplicó un análisis documental de artículos indexados en bases de datos de alto impacto, con criterios de inclusión y exclusión explícitos. Los hallazgos muestran que la calcinación controlada entre 500–700 °C genera sílice amorfa altamente reactiva que densifica la matriz cementícea mediante la formación de silicato de calcio hidratado (C-S-H). El porcentaje óptimo de sustitución se ubica en el 10%, nivel en el que múltiples estudios reportan resistencias a compresión superiores al diseño patrón convencional. Se concluye que la CCA representa una alternativa ecológica y técnicamente viable para la industria de la construcción.

Palabras clave: ceniza de cáscara de arroz, hormigón estructural, materiales cementantes suplementarios, resistencia a la compresión, economía circular, sostenibilidad.

Abstract

The construction industry faces the challenge of reducing high CO₂ emissions from Portland cement production. Rice husk ash (RHA) has emerged as a supplementary cementitious material with high pozzolanic reactivity. The objective of this systematic literature review was to analyze the technical feasibility of partially replacing Portland cement with RHA in structural concrete. A documentary analysis of articles indexed in high-impact databases was applied, with explicit inclusion and exclusion criteria. The findings show that controlled calcination at 500–700 °C generates highly reactive amorphous silica that densifies the cementitious matrix through the formation of calcium silicate hydrate (C-S-H). The optimal substitution percentage is 10%, at which multiple studies report compressive strengths exceeding conventional control designs. It is concluded that RHA represents an ecological and technically viable alternative for the construction industry.

Keywords: rice husk ash, structural concrete, supplementary cementitious materials, compressive strength, circular economy, sustainability.

Información del manuscrito:

Fecha de recepción: 12 de diciembre de 2025.

Fecha de aceptación: 20 de febrero de 2026.

Fecha de publicación: 20 de marzo de 2026.

1. Introducción

1.1 Contexto global: impacto ambiental de la producción de cemento

El sector de la construcción depende de manera estructural del cemento Portland como aglomerante hidráulico de referencia. Esta dependencia conlleva una huella ambiental significativa: el proceso de clinkerización exige la calcinación de calizas y arcillas a temperaturas superiores a los 1 400 °C, liberando aproximadamente una tonelada de dióxido de carbono por cada tonelada de cemento producida (Andrew, 2018). Según Andrew (2018), las emisiones globales de proceso derivadas de la producción de cemento alcanzaron $1,45 \pm 0,20$ Gt CO₂ en 2016, equivalentes a cerca del 4% de las emisiones totales provenientes de combustibles fósiles. Esta cifra sitúa a la industria cementera entre las tres fuentes antropogénicas de CO₂ más relevantes a escala mundial, lo que ha movilizado a la comunidad científica hacia la búsqueda sistemática de sustitutos parciales del clínker.

En este contexto, los materiales cementantes suplementarios (MCS) de origen residual han adquirido relevancia creciente como estrategia de economía circular. Bheel et al. (2020) documentan que la sustitución parcial del cemento Portland con subproductos agroindustriales de alta reactividad (como la ceniza de cáscara de arroz, CCA) no solo reduce la intensidad de carbono de las mezclas, sino que puede mejorar simultáneamente las propiedades mecánicas y de durabilidad del hormigón resultante.

1.2 La cáscara de arroz como residuo agroindustrial y su valorización

La cascarilla o cáscara de arroz constituye un subproducto orgánico masivo derivado del proceso de descascarado del grano. En ausencia de sistemas de gestión ambiental, suele ser incinerada a cielo abierto o depositada en vertederos, generando emisiones de humo particulado y pasivos ambientales (Rúa-Suárez et al., 2022). Sin embargo, cuando este residuo se somete a un proceso de calcinación controlada a temperaturas comprendidas entre 500 y 700 °C, se transforma en una

ceniza ligera y porosa cuya composición química supera el 85% de dióxido de silicio (SiO_2) en estado predominantemente amorfo (Ordóñez, 2007). Esta característica cristalográfica le confiere una alta superficie específica y una reactividad puzolánica excepcional, condiciones que la posicionan como uno de los MCS de origen agrícola más eficientes documentados en la literatura (Mehta & Monteiro, 2014).

1.3 Fundamentos del comportamiento puzolánico de la CCA

El mecanismo de acción de la CCA en las matrices cementíceas se fundamenta en la reacción puzolánica secundaria: la sílice amorfa presente en la ceniza reacciona con el hidróxido de calcio [$\text{Ca}(\text{OH})_2$, portlandita] liberado como subproducto durante la hidratación primaria del cemento Portland (Gómez et al., 2022). En presencia de humedad, esta reacción sintetiza compuestos adicionales de silicato de calcio hidratado (gel C-S-H), que actúan como micro-relleno efectivo densificando la red capilar interna del hormigón, reduciendo la porosidad interconectada y mejorando la zona

de transición interfacial entre la pasta y los agregados (Sensale, 2006). Como resultado, se incrementan de manera sustancial tanto la resistencia a la compresión como la durabilidad frente a agentes agresivos (Hwang et al., 2011).

La eficacia de este proceso depende críticamente del control de la temperatura de calcinación. Salas et al. (2009) demostraron que la calcinación entre 600 y 700 °C maximiza el contenido de sílice amorfa, mientras que temperaturas superiores promueven la cristalización del SiO_2 en cuarzo o cristobalita, lo que reduce drásticamente la reactividad puzolánica del material. La molienda posterior amplía adicionalmente la superficie específica de la ceniza, potenciando la velocidad de reacción y el desarrollo temprano de resistencia (Salas et al., 2009). El cemento Portland, por su parte, es un material inorgánico finamente molido que, al hidratarse, genera silicatos de calcio hidratados responsables del fraguado y endurecimiento; su composición mineralógica (silicatos, aluminatos y ferroaluminatos) determina las propiedades del hormigón resultante

(Kosmatka et al., 2004). El hormigón estructural propiamente dicho es un material compuesto heterogéneo diseñado para soportar cargas considerables, cuya resistencia a la compresión (f'_c) constituye el parámetro de diseño central y se determina mediante ensayos destructivos de cilindros a los 28 días de curado (Neville, 2011; McCormac & Brown, 2015).

1.4 Antecedentes experimentales: porcentajes de sustitución y resultados

Diversas investigaciones empíricas han evaluado el comportamiento del hormigón modificado con CCA en distintos contextos. Alvarez y Orado (2023) analizaron la influencia de sustituciones del 5%, 10%, 15% y 20% en probetas cilíndricas diseñadas para alcanzar $f'_c = 210$ kg/cm², empleando agregados de la cantera “La Poderosa” en Arequipa, Perú. Sus resultados indican que la sustitución al 5% produjo resultados más cercanos al diseño control, mientras que la mezcla al 10% alcanzó la mayor resistencia a compresión a los 28 días; al superar el 15%, la resistencia decreció progresivamente. Hwang et al. (2011), en un estudio sobre

resistencia y durabilidad, documentaron que el rango 10–15% es óptimo para equilibrar las propiedades mecánicas con la reducción de permeabilidad. Sensale (2006) reportó que las ganancias de resistencia son más pronunciadas entre los 28 y 90 días de curado, debido a la lentitud característica de la reacción puzolánica secundaria en relación con la hidratación primaria del cemento.

Por su parte, Zerbino et al. (2011) evaluaron el desempeño de CCA sin procesamiento industrial previo, concluyendo que incluso sin molienda adicional la ceniza mejora la microestructura del hormigón, aunque con menor intensidad que el material procesado. Más recientemente, Rúa-Suárez et al. (2022) exploraron el uso combinado de CCA con residuos de vidrio como sustitutos del cemento, reportando mejoras en trabajabilidad y resistencia, así como reducciones estimadas en las emisiones de CO₂ de la mezcla.

1.5 Vacío de conocimiento y justificación de la revisión

Pese al volumen de estudios experimentales existentes a nivel internacional, se constata la ausencia de revisiones sistemáticas de literatura en español que sintetizen de manera estructurada y comparativa el estado del arte sobre el uso de CCA en hormigón estructural, con atención explícita a los porcentajes óptimos de sustitución y los mecanismos microestructurales subyacentes. Esta laguna justifica la presente revisión, cuya pertinencia se refuerza por la disponibilidad continua de cascarilla de arroz en regiones de alta producción arroceras como la costa ecuatoriana, donde la gestión ambiental de este subproducto representa un desafío no resuelto.

1.6 Objetivo y preguntas de investigación

El objetivo de la presente revisión sistemática de literatura es analizar la viabilidad técnica de la ceniza de cáscara de arroz como material cementante suplementario para la elaboración de hormigón estructural,

a partir de la síntesis crítica de investigaciones experimentales indexadas. Las preguntas de investigación que orientan la revisión son las siguientes:

(P1) ¿Cuál es el porcentaje óptimo de sustitución de cemento Portland por CCA que maximiza la resistencia a la compresión del hormigón estructural?

(P2) ¿Qué mecanismos microestructurales explican el comportamiento puzolánico de la CCA y su efecto en la densificación de la matriz cementícea?

(P3) ¿Cuáles son las condiciones de calcinación y procesamiento que determinan la reactividad de la CCA como MCS?

2. Materiales y métodos

2.1 Diseño de investigación

La investigación adoptó un diseño de carácter cualitativo basado en el análisis documental sistemático. No se planteó la recolección de datos experimentales propios ni la manipulación de variables en un entorno de laboratorio. El propósito central consistió en compilar,

clasificar y sintetizar críticamente la evidencia científica disponible sobre el desempeño mecánico del hormigón con CCA, para lo cual el análisis documental constituyó la técnica principal de obtención de información.

2.2 Criterios de selección de la literatura

Se establecieron criterios explícitos de inclusión para delimitar el universo de análisis: (a) artículos científicos publicados en revistas indexadas durante los últimos quince años (2009–2024); (b) estudios que reportaran ensayos de resistencia a la compresión validados por normativas internacionales; (c) investigaciones cuyo objeto de análisis fuera el hormigón o concreto estructural con sustitución parcial de cemento por CCA. Como criterios de exclusión se aplicaron los siguientes: (a) documentos sin metodología experimental clara; (b) estudios sobre aplicaciones no estructurales de la CCA; (c) publicaciones sin identificador de objeto digital (DOI) verificable.

2.3 Estrategia de búsqueda

La búsqueda y extracción de la literatura se realizó de manera sistemática en las bases de datos Scopus, Web of Science y Scite, complementadas con Google Scholar como motor integrador para literatura regional. Se emplearon ecuaciones de búsqueda estructuradas con operadores booleanos y descriptores en inglés y español: "rice husk ash" AND "compressive strength" AND "concrete"; "ceniza de cáscara de arroz" AND "hormigón" AND "resistencia"; "supplementary cementitious material" AND "pozzolanic reactivity" AND "RHA". Las referencias incluidas en los estudios seleccionados fueron revisadas para identificar fuentes adicionales pertinentes (búsqueda en cadena).

2.4 Procedimiento de análisis

El análisis de la información recolectada se ejecutó mediante un proceso ordenado de sistematización y síntesis. En una primera etapa se realizó la lectura crítica de títulos, resúmenes e introducciones para depurar la muestra definitiva de documentos.

En una segunda etapa se extrajeron los datos más relevantes mediante una matriz de metadatos que organizó: autores, año, porcentajes de sustitución evaluados, tipo de ensayo, resultado sobre resistencia a la compresión y conclusiones sobre el porcentaje óptimo. Esta estructura comparativa facilitó la identificación de tendencias convergentes y divergentes entre estudios, así como de patrones en los porcentajes óptimos reportados, la influencia del proceso de calcinación y la naturaleza del comportamiento puzolánico secundario.

3. Resultados y discusión

3.1 Sistematización de los estudios analizados

A partir de la revisión sistemática de la literatura científica especializada, se identificaron seis estudios primarios que cumplen con los criterios de inclusión establecidos. Estos estudios abarcan un rango temporal de 2006 a 2023, con metodologías experimentales comparables en términos de diseño de mezclas, ensayos de resistencia a la compresión a los 28 días y evaluación de porcentajes de sustitución. La Tabla 1 presenta la sistematización de los principales hallazgos.

Tabla 1. Sistematización de estudios sobre sustitución de cemento por ceniza de cáscara de arroz

Autor(es) y Año	Título / Enfoque	Porcentajes Evaluados	Hallazgos principales
Alvarez & Orado (2023)	Influencia de la sustitución porcentual del cemento por CCA en propiedades físico-mecánicas del concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$	0% (control), 5%, 10%, 15% y 20%	La sustitución al 10% produjo la mayor resistencia a compresión a los 28 días; al 5% los resultados fueron más cercanos al control. Al 20% la resistencia disminuyó considerablemente.
Hwang et al. (2011)	Efecto de la ceniza de cáscara de arroz en la resistencia y durabilidad del hormigón	Variaciones del 5% al 20% respecto al cemento	La CCA mejoró la resistencia a compresión y redujo la permeabilidad; se identificó el rango 10–15% como óptimo para el balance resistencia-durabilidad.

Sensale (2006)	Desarrollo de la resistencia del hormigón con ceniza de cáscara de arroz	Sustituciones del 10% al 25%	La CCA incrementó la resistencia a compresión a largo plazo; la ganancia fue más pronunciada entre los 28 y 90 días de curado.
Salas et al. (2009)	Comparación de dos procesos de tratamiento de CCA para hormigón de alta resistencia	Análisis de temperatura de calcinación y sustituciones del 10% al 20%	La calcinación controlada entre 600–700 °C maximiza la sílice amorfa; la molienda fina potencia la reactividad puzolánica.
Zerbino et al. (2011)	Hormigón con CCA sin procesamiento industrial previo	Sustituciones del 10% al 30% sin molienda adicional	Incluso sin procesamiento, la CCA mejoró la microestructura y la resistencia mecánica, aunque de forma menos pronunciada que con molienda.
Rúa-Suárez et al. (2022)	Hormigón verde con ceniza de cascarilla de arroz y residuos de vidrio como sustitutos del cemento	CCA:RV en relaciones 1:0, 1:1, 1:2 y 1:3 (total = 5%)	La combinación CCA+RV mejoró el asentamiento y la resistencia respecto al control; también redujo las emisiones de CO ₂ estimadas.

Nota. Elaborado a partir de la revisión sistemática de literatura. CCA = ceniza de cáscara de arroz; RV = residuos de vidrio.

3.2 Porcentaje óptimo de sustitución y comportamiento mecánico

El análisis comparativo de los estudios incluidos revela una convergencia notable en torno al 10% como porcentaje de sustitución que maximiza la resistencia a la compresión del hormigón. Alvarez y Orado (2023) documentaron experimentalmente esta tendencia en mezclas diseñadas para $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$, donde el umbral del 10% superó el desempeño del diseño patrón elaborado exclusivamente con cemento Portland. Este

fenómeno es coherente con los hallazgos previos de Hwang et al. (2011) y Sensale (2006), quienes identificaron incrementos en la resistencia mecánica estadísticamente significativos en el mismo rango de sustitución.

La explicación microestructural de este comportamiento radica en la sinergia entre el efecto de micro-relleno físico de las partículas de ceniza y su actividad puzolánica. La sílice amorfa de la CCA reacciona con la portlandita $[\text{Ca}(\text{OH})_2]$ liberada durante la hidratación primaria del cemento, sintetizando redes

adicionales de gel C-S-H que densifican la matriz y reducen la porosidad capilar (Gómez et al., 2022). Cuando la proporción de CCA excede el 15–20%, la cantidad de portlandita disponible resulta insuficiente para reaccionar con el exceso de SiO_2 introducido, de modo que las partículas sobrantes actúan como inertes que interrumpen la cohesión de la pasta y producen un decremento progresivo de la resistencia (Zerbino et al., 2011).

3.3 Influencia de las condiciones de calcinación y procesamiento

Los estudios analizados coinciden en que la reactividad puzolánica de la CCA depende de manera crítica del control del proceso de calcinación. Salas et al. (2009) demostraron que temperaturas entre 600 y 700 °C maximizan la proporción de SiO_2 amorfo en la ceniza, mientras que la calcinación a temperaturas superiores transforma la sílice en fases cristalinas (cuarzo, cristobalita) con baja o nula reactividad. La finura de la ceniza constituye una variable complementaria: la molienda adicional incrementa la superficie específica y la velocidad de reacción

con la portlandita, acelerando el desarrollo temprano de resistencia (Salas et al., 2009).

Zerbino et al. (2011) aportaron evidencia sobre la viabilidad técnica de emplear CCA sin procesamiento industrial previo, documentando mejoras microestructurales y mecánicas en el hormigón resultante, aunque de menor magnitud que el material procesado. Este hallazgo tiene implicaciones prácticas relevantes para contextos donde el acceso a equipos de molienda es limitado, como en zonas rurales de países en vías de desarrollo.

3.4 Beneficios ambientales y perspectiva de economía circular

Más allá de las propiedades mecánicas, el uso de CCA como MCS ofrece beneficios ambientales cuantificables. Rúa-Suárez et al. (2022) reportaron reducciones estimadas en las emisiones de CO_2 de las mezclas con CCA respecto al control, lo que se alinea con el objetivo de reducir la dependencia técnica del clínker documentado por Andrew (2018). La transformación de un residuo agroindustrial en un

insumo de valor para la industria constructiva constituye un ejemplo concreto de economía circular: se reduce simultáneamente el pasivo ambiental generado por la quema de cascarilla a cielo abierto y el consumo de cemento Portland en las mezclas de hormigón.

En regiones de alta producción arroceras, como la costa ecuatoriana, la disponibilidad continua de este subproducto garantizaría el suministro estable de materia prima para la producción de CCA, siempre que se implementen sistemas de calcinación controlada y protocolos de control de calidad que aseguren la reactividad puzolánica del producto obtenido (Maraveas, 2020).

3.5 Limitaciones de la evidencia revisada

La revisión identificó limitaciones que deben considerarse en la interpretación de los resultados. En primer lugar, la mayoría de los estudios experimentales fueron desarrollados con agregados de origen específico (canteras locales de Perú, Colombia y otros países), lo que limita la generalización directa de los porcentajes óptimos de sustitución a contextos con

características granulométricas o físico-químicas distintas. En segundo lugar, la variabilidad en los procesos de calcinación reportados (temperatura, duración, equipamiento utilizado) introduce heterogeneidad en las propiedades de la CCA empleada en cada estudio, lo que puede explicar parte de las diferencias en los porcentajes óptimos encontrados. Finalmente, la mayoría de los estudios incluidos evaluaron la resistencia a la compresión a los 28 días como indicador principal, sin reportar datos a edades más avanzadas (56, 90 o 180 días), lo que subestima los beneficios de la reacción puzolánica, que es progresiva en el tiempo.

4. Conclusiones

En respuesta a las preguntas de investigación planteadas, la revisión sistemática permite establecer las siguientes conclusiones.

Con respecto a (P1), el porcentaje óptimo de sustitución de cemento Portland por CCA que maximiza la resistencia a la compresión del hormigón estructural se ubica en el 10% respecto al peso del aglomerante, nivel en el que

múltiples estudios documentan incrementos de resistencia superiores al diseño control. Al superar el umbral del 15–20%, la resistencia disminuye de forma progresiva como consecuencia del déficit de portlandita disponible para la reacción puzolánica.

Con respecto a (P2), el mecanismo que explica el comportamiento puzolánico de la CCA es la reacción secundaria entre la sílice amorfa de la ceniza y la portlandita liberada durante la hidratación del cemento, que sintetiza redes adicionales de gel C-S-H. Estos compuestos actúan como micro-relleno densificando la matriz cementícea, reduciendo la porosidad capilar y fortaleciendo la zona de transición interfacial entre la pasta y los agregados.

Con respecto a (P3), las condiciones de calcinación determinantes son la temperatura (600–700 °C) y el control de la atmósfera de combustión para preservar el estado amorfo de la sílice. La molienda posterior potencia la reactividad al incrementar la superficie específica de la ceniza.

Se concluye que la incorporación técnica de CCA en los diseños de mezcla de hormigón estructural representa una alternativa viable, ecológica y económicamente competitiva para contextos donde la cascarilla de arroz está disponible como subproducto agroindustrial. Futuras investigaciones deberían evaluar el desempeño a largo plazo (90 y 180 días), la variabilidad de la reactividad de la CCA según la fuente regional de cascarilla, y la resistencia de las mezclas optimizadas frente a agentes agresivos (sulfatos, cloruros) en ambientes sísmicos o costeros.

Bibliografía

- Alvarez Quispe, C. D., & Orado Paredes, A. Y. (2023). Influencia de la Sustitución Porcentual del Cemento por Ceniza de Cáscara de Arroz en Propiedades Físico-Mecánicas del Concreto - 2023. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(4), 6246–6261. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i4.7409
- Andrew, R. M. (2018). Global CO₂ emissions from cement production. *Earth System Science Data*, 10(1), 195–

217.
<https://doi.org/10.5194/essd-10-195-2018>
- Bheel, N., Jokhio, M. A., & Abbasi, J. A. (2020). Rice Husk Ash and Fly Ash Effects on the Mechanical Properties of Concrete. *Engineering Technology & Applied Science Research*, 10(2), 5402–5405.
<https://doi.org/10.48084/etasr.3363>
- Gómez, M. E., Rúa-Suárez, A. F., Carvajal-Jaramillo, J., & Lasso-Cerón, C. A. (2022). Producción de hormigón verde a partir de ceniza de cascarilla de arroz y residuos de vidrio como sustitutos del cemento. *Revista ION*, 35(2), 101–109.
<https://doi.org/10.18273/revion.v35n2-2022008>
- Hwang, C.-L., Bui, L. A.-T., & Chen, C.-T. (2011). Effect of rice husk ash on the strength and durability characteristics of concrete. *Construction and Building Materials*, 25(9), 3768–3772.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.04.009>
- Isaia, G. C., Gastaldini, A. L. G., & Moraes, R. (2003). Physical and pozzolanic action of mineral additions on the mechanical strength of high-performance concrete. *Cement and Concrete Composites*, 25(1), 69–76.
[https://doi.org/10.1016/S0958-9465\(01\)00057-9](https://doi.org/10.1016/S0958-9465(01)00057-9)
- Kosmatka, S. H., Kerkhoff, B., & Panarese, W. C. (2004). *Diseño y control de mezclas de concreto* (1.^a ed.). Portland Cement Association.
- Maraveas, C. (2020). Production of Sustainable Construction Materials Using Agro-Wastes. *Materials*, 13(2), 262.
<https://doi.org/10.3390/ma13020262>
- McCormac, J. C., & Brown, R. H. (2015). *Design of reinforced concrete* (10.^a ed.). Wiley.
- Mehta, P. K., & Monteiro, P. J. M. (2014). *Concrete: Microstructure, Properties, and Materials* (4.^a ed.). McGraw-Hill Education.
- Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda [MIDUVI]. (2015). *Norma Ecuatoriana de la Construcción* (NEC-15). Quito, Ecuador.
- Neville, A. M. (2011). *Properties of concrete* (5.^a ed.). Pearson.
- Ordóñez Belloc, L. M. (2007). *Reutilización de la ceniza de cáscara de arroz como material de construcción: valorización y optimización de sus propiedades puzolánicas* (Tesis doctoral). Universitat Politècnica de València, España.

Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial [ONUDI]. (2021). Descarbonización industrial y emisiones netas cero en el sector cementero y del hormigón. Naciones Unidas.

<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2010.06.016>

Rúa-Suárez, A. F., Carvajal-Jaramillo, J., & Lasso-Cerón, C. A. (2022). Producción de hormigón verde a partir de ceniza de cascarilla de arroz y residuos de vidrio como sustitutos del cemento. *Revista ION*, 35(2). <https://doi.org/10.18273/revion.v35n2-2022008>

Salas, A., Delvasto, S., Mejía de Gutiérrez, R., & Lange, D. (2009). Comparison of two processes for treating rice husk ash for use in high performance concrete. *Cement and Concrete Research*, 39(9), 773–778. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2009.05.006>

Sensale, G. R. (2006). Strength development of concrete with rice-husk ash. *Cement and Concrete Composites*, 28(2), 158–160. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2005.09.005>

Zerbino, R., Giaccio, G., & Isaia, G. C. (2011). Concrete incorporating rice-husk ash without processing. *Construction and Building Materials*, 25(1), 371–378.