



Influencia de la Sustitución Porcentual del Cemento por Ceniza de Cáscara de Arroz en Propiedades Físico–Mecánicas del Concreto -2023

Cesar David Alvarez Quispe¹

cealvarezqu@ucvvirtual.edu.pe

<https://orcid.org/0009-0003-2368-1486>

Universidad Cesar Vallejo

Perú

Ali Yasser Orado Paredes

aloradopa@ucvvirtual.edu.pe

<https://orcid.org/0009-0001-5839-1302>

Universidad Cesar Vallejo

Perú

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tuvo como objetivo evaluar de qué manera influye la sustitución porcentual del cemento por ceniza de cáscara de arroz en las propiedades físico-mecánicas del concreto, específicamente en un concreto con resistencia característica $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$. Este estudio se realizó utilizando agregados provenientes de la cantera "La Poderosa", ubicada en el departamento de Arequipa. La sustitución del cemento se realizó en porcentajes de 5%, 10%, 15% y 20% por ceniza de cáscara de arroz. La metodología empleada es de investigación aplicada con nivel explicativo, enfoque cuantitativo y diseño experimental puro. La población de estudio consistió en 45 probetas cilíndricas y 45 probetas rectangulares, totalizando 90 probetas de concreto. La técnica de observación fue utilizada junto con la ficha de recolección de datos del laboratorio como instrumento. Los resultados indican que el reemplazo de ceniza de cáscara de arroz en porcentajes 5%, 10%, 15% y 20%, no afecta las propiedades físico-mecánicas del concreto. Se observó que con un porcentaje de sustitución del 5%, se obtuvo la resistencia a la compresión más cercana al concreto convencional.

Palabras clave: *cascara de arroz (CA); ceniza de cascara de arroz (CCA); cemento; concreto.*

¹ Autor principal.

Correspondencia: cealvarezqu@ucvvirtual.edu.pe

Influence Of Percentage Substitution Of Cement By Rice Husk Ash On Physico-Mechanical Properties Of Concrete – 2023

ABSTRACT

The objective of this research was to evaluate the influence of the percentage substitution of rice husk ash for cement on the physical-mechanical properties of concrete, specifically in a concrete with characteristic strength $f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$. This study was carried out using aggregates from "La Poderosa" quarry, located in the department of Arequipa. The cement was replaced in percentages of 5%, 10%, 15% and 20% by rice husk ash. The methodology used was applied research with an explanatory level, quantitative approach and pure experimental design. The study population consisted of 45 cylindrical specimens and 45 rectangular specimens, totaling 90 concrete specimens. The observation technique was used together with the laboratory data collection form as an instrument. The results indicate that the replacement of rice husk ash in percentages 5%, 10%, 15% and 20% does not affect the physical-mechanical properties of the concrete. It was observed that with a replacement percentage of 5%, the compressive strength closest to conventional concrete was obtained.

Keywords: *rice husk (RH); rice husk ash (RHA); cement; concrete.*

Artículo recibido 15 julio 2023

Aceptado para publicación: 15 agosto 2023

INTRODUCCIÓN

El concreto, un componente esencial en la industria de la construcción, se compone de agregados, cemento, agua y ocasionalmente aditivos (Gencel et al., 2021). Dada su importancia, se está en búsqueda de nuevos materiales que puedan integrarse en el concreto, manteniendo o mejorando la resistencia a un costo menor (Alnahhal et al., 2021; Setina et al., 2013). En el ámbito de la construcción civil, el "concreto o hormigón" es un componente fundamental (Nain & Kasilingam, 2023; Zaid et al., 2021), y su fabricación implica la combinación de varios elementos para lograr concretos de alta calidad según las normas técnicas de Perú. Estos criterios incluyen características como la resistencia a la compresión, la flexión, el asentamiento y la absorción, entre otros.

Desde que inicio la industria del hormigón, se realizaron esfuerzos para agregar diversos materiales en las operaciones de hormigonado como sustitutos parciales del cemento (Nain & Kasilingam, 2023). Estos materiales se denominan colectivamente aditivos minerales o puzolánicos (Rodríguez-Camacho & Uribe-Afif, 2002), se sabe que estos materiales mejoran las características de resistencia y durabilidad del concreto u hormigón (Nain & Kasilingam, 2023). Estos materiales carecen de propiedades cementantes pero son ricos en sílice, que reacciona con el hidróxido de calcio producido durante la hidratación del cemento, por tanto estos materiales muestran propiedades cementosas solo en combinación con el cemento (Setina et al., 2013).

La búsqueda de materiales de sustitución del cemento alternativos se ha intensificado por razones económicas, medioambientales y sociales, con el objetivo de lograr un desarrollo sostenible. El uso de grandes cantidades de recursos naturales en el hormigón ha provocado consecuencias irreversibles en muchas regiones del mundo, y se ha empezado a notar el impacto en el consumo de materiales naturales y el medio ambiente (Alnahhal et al., 2021). Una de las formas de reducir el uso de materiales naturales es utilizar materiales de desecho como la ceniza de cascarilla de arroz como sustituto del cemento (Varadharajan et al., 2020).

La producción mundial de arroz en la campaña 2021/2022 ha alcanzado una cifra récord de 513.7 millones de toneladas, un aumento del 0.8% respecto a la campaña anterior (MIDAGRI (Ministerio de Desarrollo Agrario, 2022). En un país rico en agricultura como el Perú, la abundancia de cascarilla de arroz generada por la industria arrocera plantea desafíos de reutilización y aprovechamiento (Iglesias

Valdivia & Yupanqui Quenta, 2016), presentando oportunidades en la agricultura, construcción y generación de energía. La eliminación de la cáscara de arroz ha generado preocupaciones, especialmente en los estados con alta productividad de arroz, impulsando la investigación sobre su reutilización (Lin et al., 2021).

En las últimas décadas, la utilización de desechos agrícolas como la ceniza de cáscara de arroz y de otras especies vegetales como materiales de reemplazo del cemento (Zareei et al., 2017), ha llamado la atención de los investigadores. En el ámbito de la construcción, la cascarilla de arroz ha despertado interés por su potencial aplicación en el concreto (Gencel et al., 2021; Zaid et al., 2021), ya que su quema produce cenizas ricas en sílice con 91.4% de óxido de silicio (Camargo Pérez & Higuera Sandoval, 2017). Lo que ha dado lugar a diversas investigaciones (Bastidas, 2019; Zareei et al., 2017) estudiaron la influencia de la ceniza de la cáscara de arroz en la durabilidad del concreto. Gonzales & Ventura (2021) demostraron que las propiedades físicas de las cenizas de cáscara de arroz son beneficiosas obteniendo una puntuación de 0.16 en absorción, 1.4 en contenido de humedad y 2.060 kg/m³ con relación al peso determinado. Lopez & Salcedo (2021) señalan que la ceniza de la cáscara de arroz, se puede emplear en construcciones civiles debido a que posee una alta composición en sílice y funciona como una reacción puzolánica en la obtención de concreto, hormigón y cemento a fin de tener construcciones con altos estándares de calidad con durabilidad y resistencia ya que posee propiedades físico-químicas. Aún existe un vacío en este tema, ya que no se ha abordado en las investigaciones el efecto de la ceniza de la cascarilla de arroz en el comportamiento físico-mecánico del concreto u hormigón.

El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de reemplazar parcialmente el cemento por ceniza de cáscara de arroz en el comportamiento físico-mecánico del concreto. Para ello, se utilizó la ceniza de cáscara de arroz como un material puzolánico que puede mejorar las propiedades del concreto y reducir el impacto ambiental de la producción de cemento.

METODOLOGÍA

Tipo de investigación: Fue aplicada y el diseño experimental puro, donde se evaluó el impacto de la sustitución porcentual del cemento por ceniza de cáscara de arroz en las propiedades físico-mecánicas del concreto, utilizando una muestra de probetas específicamente diseñadas para este propósito.

Población de estudio: Estuvo compuesta por 90 probetas de material de concreto con $f'c$ de 210 kg/cm^2 , las cuales fueron objeto de ensayos exhaustivos para analizar sus propiedades mecánicas. Los criterios de inclusión fueron las probetas con material de concreto adicionando 5%, 10%, 15% y 20%; mientras que los criterios de exclusión se consideraron a las probetas de material de concreto que no cumplieron con dichos criterios y aquellas que presentaron anomalías. No se aplicó un muestreo ya que se trabajó con la población total donde la unidad de análisis fueron las probetas de concreto ($210 \text{ kg}/\text{cm}^2$)

Técnica de recolección de datos: La técnica empleada para la recolección de datos fue “observación de campo” ya que permitió obtener información cuantiosa y valiosa, esta técnica se utiliza para realizar un análisis del comportamiento de hormigón frente a la reacción que muestra este al ser sustituido por la ceniza de la cascarilla de arroz, en consecuencia esta técnica fue fundamental en la investigación. También, se tomó información extraída de la biblioteca virtual y física, ASTM (American Society for Testing and Materials), medios web, Norma Técnica del Perú, entre otros. Esto permitió obtener una gran diversidad de información, la cual ayudó a realizar una comparación entre resultados desde un enfoque internacional y local.

Instrumentos para la recolección de datos: Se utilizaron fichas de recolección de datos de campo, estas fichas nos ayudan en campo para obtener información de las variables estudiadas.

Procedimiento: El presente estudio se inició en mayo de 2023, con la meticulosa recopilación de la cáscara de arroz en la ciudad de Arequipa, específicamente en las localidades de Islay y Dean Valdivia. Una vez completada la recolección del material, se dió comienzo al proceso de secado, seguido por la etapa de incineración de la cáscara de arroz. Este proceso culminó con la obtención de cenizas provenientes de la cascarilla de arroz.

Las cenizas obtenidas fueron sometidas a un proceso de tamizaje utilizando un tamiz de número N° 40. Este procedimiento arrojó como resultado la obtención de ceniza de cascarilla de arroz, la cual se empleó en el marco de nuestro proyecto de investigación.

La fase experimental del estudio se desarrolló utilizando el procedimiento de mezclas establecido por el ACI (American Concrete Institute). Los materiales obtenidos de la cantera "La Poderosa", ubicada en Arequipa, fueron utilizados en estas mezclas experimentales. Mediante ensayos de laboratorio, se determinaron las dosificaciones en kilogramos (kg) por metro cúbico (m^3) de los diferentes

componentes. Específicamente, para 1 m³ de mezcla, se utilizó agua en una cantidad de 210.1 kg, cemento en 350.9 kg, agregado grueso (Ag) en 767.7 kg y agregado fino (Af) en 938.3 kg. Además, se determinaron los pesos de la cascarilla de arroz a ser utilizada como sustituto del cemento en porcentajes de 5%, 10%, 15% y 20% respectivamente, en la fabricación de concretos de resistencia nominal de 210 kg/cm².

Para llevar a cabo el estudio, se diseñaron cinco mezclas distintas. La primera de ellas fue una mezcla patrón, exenta de cualquier adición. A continuación, se procedió a realizar el ensayo de asentamiento (medido en pulgadas y/o centímetros) para cada mezcla. Posteriormente, se confeccionaron testigos cilíndricos en una cantidad de 9 unidades, los cuales se desencofraron después de 24 horas y se sometieron al proceso de curado correspondiente hasta alcanzar las edades requeridas para la realización de ensayos de rotura.

Este proceso se repitió para las cuatro mezclas subsiguientes, cada una con su respectivo porcentaje de adición de ceniza de cascarilla de arroz. Una vez alcanzadas las edades de 7, 14 y 28 días, se procedió a la rotura de cada probeta, obteniendo así los datos necesarios para el análisis. Estos datos se registraron meticulosamente en la ficha de observación del laboratorio.

Análisis de datos: Los ensayos en laboratorio y los resultados se presentan en figuras, y fueron contrastados con los parámetros específicos de las normas técnicas peruanas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

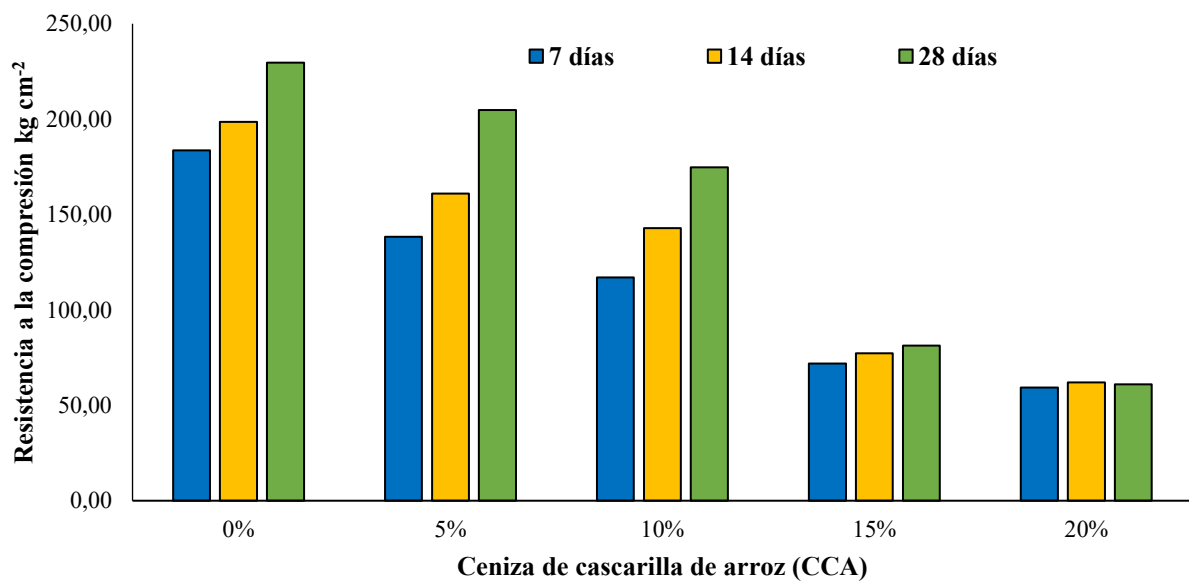
Los resultados se cumplen a raíz del objetivo general, el cual es evaluar en qué forma de influye el remplazo en porcentajes en el cemento de ceniza de cascara de arroz en características físico-mecánicas que contiene el concreto - 2023", son los siguientes:

Resistencia a la compresión

En la Figura 1, se muestran los resultados de la prueba NTP 339.034:1999 realizada en el laboratorio de concreto durante 7 días. El concreto patrón (0%) tuvo una resistencia a la compresión de 183.63 kg/cm², mientras que el mejor porcentaje fue del 5% de sustitución de ceniza de cascarilla de arroz con una resistencia de 138.35 kg/cm² y el peor fue del 20% con una resistencia de 59.28 kg/cm². Asimismo, a los 14 días el concreto patrón (0%) tuvo una resistencia a la compresión de 198.60 kg/cm², mientras que el mejor porcentaje fue del 5% de sustitución de ceniza de cascarilla de arroz (CCA) con una

resistencia de 161.05 kg/cm² y el peor fue del 20% con una resistencia de 62.00 kg/cm². A los 28 días, el concreto guía (0%) presentó una resistencia a compresión promedio de 229.56 kg/cm², lo cual es el mejor resultado obtenido. Tras la adición de la ceniza de cascarilla de arroz (CCA) al 5%, se obtiene una resistencia promedio de compresión de 204.70 kg/cm², mientras que el porcentaje más bajo se obtiene con un 20% de cascarilla de arroz (CCA), con una resistencia promedio de 60.94 kg/cm².

Figura 1. Resultados de la resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días sustituyendo al cemento por ceniza de cascara de arroz



Los resultados concernientes a la resistencia a la compresión, derivados de la mezcla patrón (0%) en esta investigación, exhiben semejanzas notables con los descubrimientos de distintos investigadores en el campo. Específicamente, (Caiza, 2019) registró una resistencia a la compresión de 244.31 kg/cm² utilizando la mezcla patrón; Rodríguez & Tibabuzo (2019) obtuvieron 219.24 kg/cm²; Hernández & Sánchez (2015) reportaron 214.45 kg/cm²; Jaime & Portocarrero (2018) obtuvo 184 kg/cm²; Orchesi (2019) alcanzó 355 kg/cm²; Córdova & González (2021) alcanzaron 215.47 kg/cm²; Montero (2017) alcanzó 213.01 kg/cm²; y Campos & Hoyos (2022) registraron 304.74 kg/cm².

En virtud de las diferencias evidenciadas entre estos resultados y los obtenidos en la presente investigación, se ha considerado prudente incorporar una variabilidad del 5% en los resultados, lo que conduce a que las mediciones obtenidas por Caiza (2019) guarden similitud con una variación de 2.95%;

Rodríguez & Tibabuzo (2019) con 7.53%; Hernández & Sánchez (2015) con 9.55%; Córdova & González (2021) con 9.12%; Montero (2017) con 10.16%; Jaime & Portocarrero (2018) con 22.4%; Orchesi (2019) con 33.2%; y Campos & Hoyos (2022) con 22.2%. Estas consideraciones subrayan la importancia de evaluar y contextualizar los resultados en función de la variabilidad inherente a los procedimientos y condiciones experimentales. Gencel et al. (2021) demostró que una mezcla con un 10% de CCA como sustituto del cemento obtiene la mayor resistencia a la compresión a los 90 días, mientras que la mezcla con un 20% de CCA muestra la menor resistencia en todas las edades de curado. Nain & Kasilingam (2023) concluyó que el uso de CCA mejora la resistencia del hormigón frente a la corrosión, absorción de agua, penetración de CO₂ y entrada de cloruros, además de mostrar mayor resistencia en entornos ácidos. Gencel et al. (2021) indica que todas las mezclas de CCA mejoran su resistencia a la compresión a temperaturas de exposición de 200 °C y 400 °C en comparación con los 20 °C.

En el contexto de la resistencia a la compresión a los 28 días, cuando se introduce la sustitución con distintos porcentajes de ceniza de cascarilla de arroz, se despliegan resultados de significativo interés. Caiza (2019) alcanza un valor de resistencia a la compresión de 212.11 kg/cm² mediante un 20% de CCA; Rodríguez & Tibabuzo (2019) logra un aguante a la compresión de 234.54 kg/cm² con un 10% de CCA; Hernández & Sánchez (2015) reporta un aguante de 97.69 kg/cm² con un 15% de CCA; Jaime & Portocarrero (2018) obtiene un aguante de 231 kg/cm² con un 8% de CCA; Orchesi (2019) registra un aguante a la compresión de 344.33 kg/cm² con un 7% de CCA; Córdova & González (2021) consigue un aguante de 219 kg/cm² con un 10% de CCA; Montero (2017) obtiene un aguante de 215.51 kg/cm² con un 10% de CCA; y Campos & Hoyos (2022) logra un aguante de 412.30 kg/cm² con un 1% de CCA.

La contextualización de estos resultados con los obtenidos en la presente investigación nos conduce a considerar una variabilidad del 5% en los resultados. A raíz de esta perspectiva, se observa que los resultados de Caiza (2019) exhiben una similitud del 1.76% con los obtenidos en nuestra investigación; los resultados de Rodríguez & Tibabuzo (2019) difieren en 11.15%; los de Córdova & González (2021) en 4.85%; los de Montero (2017) en 3.31%; los de Jaime & Portocarrero (2018) en 9.79%; los de Hernández & Sánchez (2015) en 53.12%; los de Orchesi (2019) en 39.48%; y los de Campos & Hoyos

(2022) en 49.46%. Estas consideraciones ponen de relieve la importancia de abordar los resultados desde la perspectiva de la variabilidad inherente a los procesos y métodos experimentales.

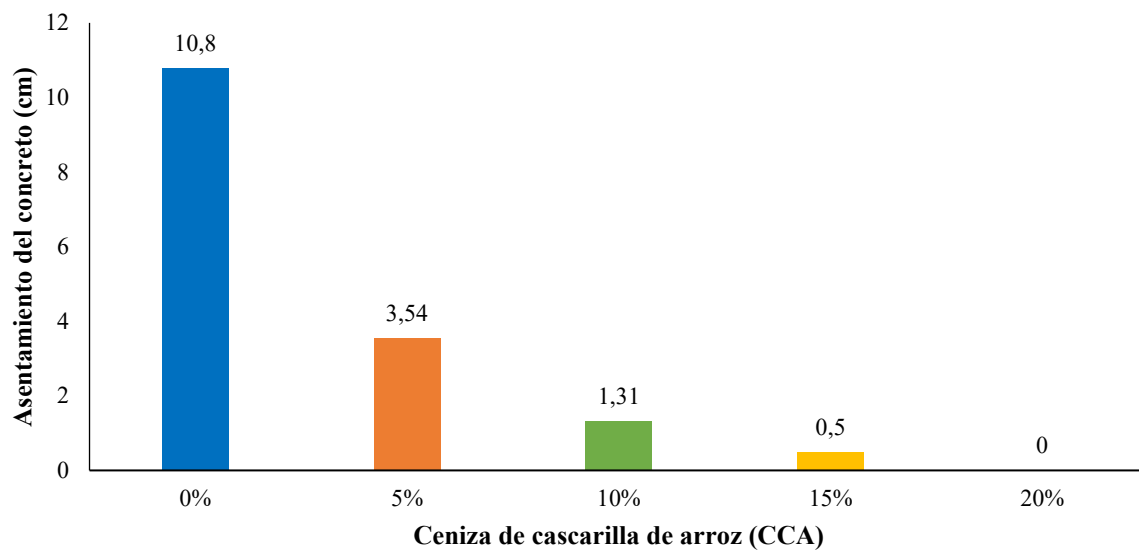
Con el análisis de los datos obtenidos en los ensayos, se han obtenido resultados preliminares que arrojan luz sobre las propiedades mecánicas del concreto con diferentes porcentajes de sustitución de cemento por cascarilla de arroz. En primer lugar, se observa que las muestras de concreto con una sustitución del 5% de cemento por cascarilla de arroz muestran una resistencia a la compresión similar a las muestras patrón. Este hallazgo sugiere que la incorporación de un 5% de cascarilla de arroz como sustituto del cemento no compromete la resistencia del concreto. Por otro lado, las muestras con una sustitución del 10%, 15% y 20% de cemento por cascarilla de arroz muestran un comportamiento contrastante. Estas muestras presentan una disminución significativa en la resistencia a la compresión en comparación con las muestras patrón. Esta disminución plantea preocupaciones sobre la viabilidad de los porcentajes de sustitución del 10%, 15% y 20% en el diseño de la mezcla original.

Estos resultados proporcionan una base sólida para futuros análisis y toma de decisiones en la formulación de mezclas de concreto con la inclusión de cascarilla de arroz como material suplementario. Sin embargo, es importante destacar que estos resultados son provisionales y serán respaldados por un análisis más profundo y detallado en futuras investigaciones.

Asentamiento de concreto

En la figura 2, se observa los resultados para el asentamiento del concreto patrón (0%), se registró un valor de 10.80 cm. El mayor asentamiento se obtiene con un 5% de CCA, con un valor de 3.54 cm, mientras que el menor asentamiento se obtiene con un 20% de CCA, siendo de 0.00 cm.

Figura 2. Resultados del asentamiento del concreto sustituido por ceniza de cascarilla de arroz



En el contexto de esta investigación, se observa que los resultados de asentamiento de la mezcla patrón (0%) son comparables a los obtenidos en otros estudios. Rodríguez & Tibabuzo (2019) un asentamiento de 10.16 cm con su mezcla patrón, cifra similar a la encontrada en esta investigación. De manera similar, Orchesi (2019) logró un asentamiento de 10.16 cm con su mezcla patrón, y Montero (2017) también reportó un asentamiento de 10.16 cm con su mezcla patrón. En contraste, Jaime & Portocarrero (2018) presentaron un asentamiento de 8.64 cm con su mezcla patrón, un valor inferior a los obtenidos en este estudio.

Este análisis comparativo de los resultados de asentamiento del concreto destaca que las diferencias observadas pueden explicarse en gran medida considerando una variabilidad del 5% en los resultados. La consideración de la variabilidad en los resultados de asentamiento del concreto ha constituido un tema de profundo análisis y comparación en diversas indagaciones científicas. En la investigación liderada por Rodríguez & Tibabuzo (2019) destacó la presencia de una notoria coherencia en los valores de asentamiento, presentando una variabilidad del 30.31%. No obstante, conviene señalar que otras investigaciones han arrojado diferencias significativas en el asentamiento, caracterizadas por una variabilidad más extensa. En específico, el estudio de Jaime & Portocarrero (2018) reveló una variabilidad del 69.37%, mientras que Orchesi (2019) presentó un nivel del 53.54% y Montero (2017)) un índice de variabilidad del 61.27%. Esto resalta la importancia de tener en cuenta esta variabilidad al

interpretar y contrastar los datos obtenidos en diferentes investigaciones.

En lo que respecta al asentamiento con la sustitución de CCA, se encuentran diferencias notables entre los distintos estudios. Rodríguez & Tibabuzo (2019) lograron un asentamiento de 10.16 cm con un 3% de CCA, mientras que Jaime & Portocarrero (2018) obtuvieron un asentamiento de 11.43 cm con un 16% de CCA. Por otro lado, Orchesi (2019) reportó un asentamiento de 7.62 cm con un 5% de CCA, y Montero (2017) alcanzó un asentamiento de 9.14 cm con un 10% de CCA. Estos valores superan los obtenidos en la presente investigación, se obtuvo un asentamiento de 3.54 cm con la sustitución del 5% de CCA. Estas diferencias reafirman la relevancia de considerar la variabilidad en los resultados al evaluar los efectos de la sustitución de CCA en el asentamiento del concreto. Gencel et al. (2021) señalan que la incorporación de ceniza de cascarilla de arroz en las mezclas de concreto conlleva una reducción en los valores de asentamiento. Además, sus resultados indican que el impacto de la ceniza de cascarilla de arroz en la disminución del asentamiento es particularmente pronunciado.

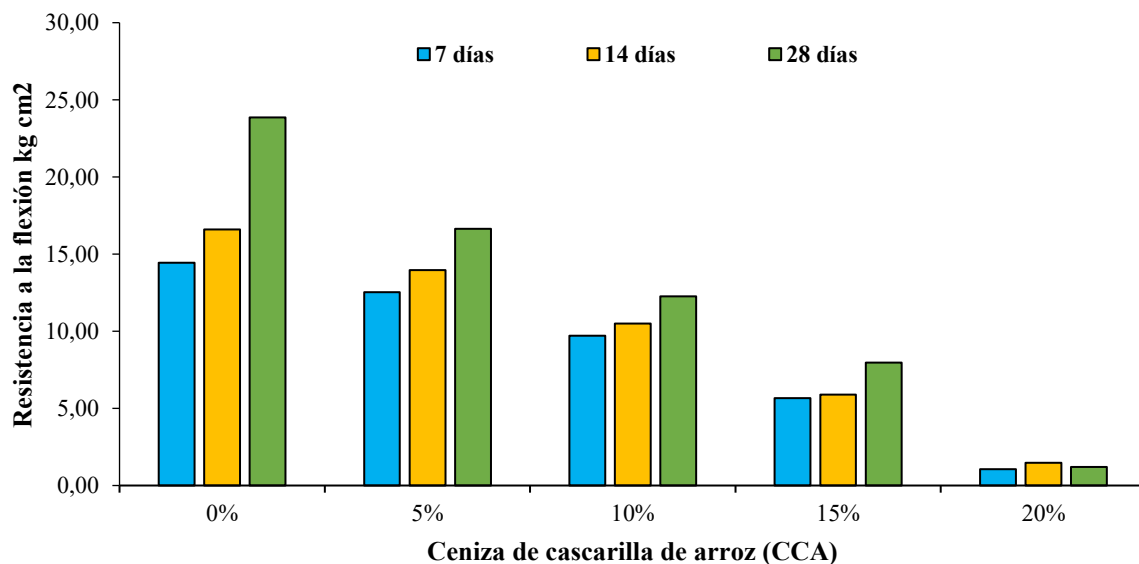
Resistencia a la flexión

En la figura 3, se presenta los resultados de los ensayos de flexión aplicando la norma NTP 339 078 a distintos periodos de tiempo (7, 14 y 28 días) se presentan en la Figura 3. Estos ensayos se llevaron a cabo en el laboratorio de concreto y ofrecen valiosa información sobre la resistencia a la flexión de las mezclas de concreto con diferentes porcentajes de sustitución de ceniza de cascarilla de arroz (CCA). A continuación, se detallan los hallazgos más destacados: A los 7 días, en el concreto patrón (0%), se obtuvo una resistencia a la flexión de 14.43 kg/cm². Por otro lado, la sustitución del 5% de CCA arrojó la mejor resistencia a la flexión, alcanzando 12.53 kg/cm². En contraste, el porcentaje de sustitución más alto, es decir, el 20% de CCA, presentó la resistencia a la flexión más baja, con un valor de 1.07 kg/cm². A los 14 días, el concreto patrón (0%) demostró un esfuerzo a la flexión de 16.60 kg/cm². Similarmente, el porcentaje de sustitución del 5% de CCA exhibió la mejor resistencia a la flexión, con un valor de 13.97 kg/cm². En contraposición, el porcentaje de sustitución del 20% de CCA mostró la resistencia a la flexión más baja, alcanzando 1.47 kg/cm². Finalmente, a los 28 días, el concreto patrón (0%) presentó un esfuerzo a la flexión de 23.87 kg/cm². Nuevamente, el porcentaje de sustitución del 5% de CCA lideró en términos de resistencia a la flexión, registrando un valor de 16.63 kg/cm². Por otro lado, el porcentaje de sustitución del 20% de CCA reveló la resistencia a la flexión más baja, con

un valor de 1.20 kg/cm².

Estos resultados reflejan las variaciones en la resistencia a la flexión de las mezclas de concreto con diferentes porcentajes de sustitución de CCA a lo largo de los distintos periodos de tiempo. Se observa que, en general, la sustitución del 5% de CCA muestra una resistencia a la flexión comparable al concreto patrón y superior a los porcentajes de sustitución más altos. Estos datos son fundamentales para evaluar el rendimiento de las mezclas de concreto con CCA en términos de resistencia a la flexión en diferentes edades y proporciones de sustitución.

Figura 3. Resultados de la resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días sustituyendo al cemento por ceniza de cascara de arroz



En el estudio realizado por Haro (2016) se destacó una marcada coherencia en los valores de resistencia a la flexión, presentando una variabilidad del 89.1%. Contrariamente, en el mismo estudio se observó también una diferencia significativa en la resistencia a la flexión, con una variabilidad más amplia del 91.36%.

En comparación con los resultados obtenidos en la presente investigación, se puede apreciar que los niveles de variabilidad registrados en el trabajo de Haro (2016) difieren notablemente de los obtenidos en este estudio. Estas discrepancias en la variabilidad subrayan la importancia de analizar las particularidades de los métodos experimentales y las condiciones específicas de cada investigación al

interpretar y contrastar los resultados.

CONCLUSIONES

En base al objetivo de este estudio, que consistió en evaluar los efectos de la sustitución parcial del cemento por ceniza de cáscara de arroz en el comportamiento físico-mecánico del concreto, se pueden extraer las siguientes conclusiones:

La ceniza de cáscara de arroz se demostró como una puzolana efectiva en el proceso de mejora de las propiedades del concreto. Los resultados experimentales indican que su inclusión en porcentajes de sustitución de 5%, 10%, 15% y 20% no conlleva mejoras sustanciales en las propiedades físico-mecánicas del concreto, manteniendo su resistencia en niveles cercanos a 210 kg/cm².

La sustitución porcentual del cemento por ceniza de cáscara de arroz tampoco impacta negativamente en el aguate de compresión del concreto. Los valores obtenidos en los ensayos de compresión no muestran diferencias significativas en términos de resistencia.

La incorporación de ceniza de cáscara de arroz como material puzolánico en el concreto puede contribuir a la reducción del impacto ambiental asociado con la producción de cemento. Aunque las mejoras en las propiedades físico-mecánicas no sean notables en este rango de sustitución, la consideración de materiales alternativos como la ceniza de cáscara de arroz puede ser una opción viable para la sostenibilidad en la industria de la construcción.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alnahhal, A. M., Alengaram, U. J., Yusoff, S., Singh, R., Radwan, M. K. H., & Deboucha, W. (2021). Synthesis of sustainable lightweight foamed concrete using palm oil fuel ash as a cement replacement material. *Journal of Building Engineering*, 35(March 2020), 102047. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2020.102047>
- Bastidas, P. (2019). *Comportamiento de la ceniza de la cascarilla de arroz en las propiedades físico-mecánicas en mezclas de hormigón estándar* [Tesis de grado para obtener el título de ingeniero civil]. Universidad del Centro Ecuador. <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/18702>
- Caiza, K. (2019). Estudio comparativo de la resistencia a compresión entre el hormigón ($f'_c=240$ kg/cm²), hormigón con adición de microsilíce y hormigón con adición de ceniza de cáscara de trigo utilizando agregados pertenecientes a la planta de trituración «Jaime Vaca» del [Trabajo

- experimental para obtener el título de ingeniero civil]. Universidad Técnica de Ambato.
<http://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/25571>
- Camargo Pérez, N. R., & Higuera Sandoval, C. H. (2017). Concreto hidráulico modificado con sílice obtenida de la cascarilla del arroz. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 27(1), 91-109.
<https://doi.org/10.18359/rcin.1907>
- Campos, M. B., & Hoyos, E. J. (2022). Uso de ceniza de cáscara de arroz para mejorar la resistencia a la compresión y flexotracción del concreto $f'c=280$ kg/cm² [Tesis para obtener el título de Ingeniero civil]. Universidad César Vallejo.
<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/92829>
- Córdova, E., & González, A. (2021). Análisis de las propiedades mecánicas del concreto $f'c=210$ kg/cm² sustituyendo parcialmente el cemento portland por cenizas de cascarilla de arroz [Tesis para optar el título de Ingeniero civil]. Universidad César Vallejo.
<https://hdl.handle.net/20.500.12692/86807>
- Gencil, O., Benli, A., Bayraktar, O. Y., Kaplan, G., Sutcu, M., & Elabade, W. A. T. (2021). Effect of waste marble powder and rice husk ash on the microstructural, physico-mechanical and transport properties of foam concretes exposed to high temperatures and freeze–thaw cycles. *Construction and Building Materials*, 291, 123374. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.123374>
- Gonzales, T., & Ventura, L. (2021). Incorporación de ceniza de cascarilla de arroz para aumentar la resistencia a la compresión del concreto $f'c=210$ kg/cm², Moyobamba 2021 [Tesis, para obtener el título profesional de Ingeniero civil]. Universidad Cesar Vallejo.
http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/47102/Gutierrez_RS-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Haro, C. E. (2016). *Análisis comparativo de la resistencia a flexión entre el hormigón tradicional y hormigón adicionado cenizas de cascarilla de arroz (CCA) y hormigón adicionado con cenizas de bagazo de caña de azúcar (CBC)*. <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/23636>
- Hernández, H. A., & Sánchez, H. D. (2015). Comportamiento Mecánico De Una Mezcla Para Concreto Usando Neumáticos Triturados Como Reemplazo 15% 25% 35% Del Volumen Del Agregado Fino Para Un Concreto Con Fines De Uso Estructural [Trabajo de grado para optar el título de Ingeniero

civil]. Universidad Católica de Colombia.

<https://repository.ucatolica.edu.co/entities/publication/b78579b4-90fa-4516-8e30-9fdb34bc804d>

Iglesias, F. A., & Yupanqui, R. E. (2016). Utilización De La Ceniza De Cáscara De Arroz Del Valle De Majes Como Adición Al Cemento Para La Elaboración De Concreto Con Resistencias 140 Kg/Cm², 175 Kg/Cm², 210 Kg/Cm², 280 Kg/Cm² Y 350 Kg/Cm² En La Ciudad De Arequipa [Tesis de pregrado, para obtener el título de Ingeniero Civil]. Universidad Católica de Santa María. <http://tesis.ucsm.edu.pe/repositorio/handle/UCSM/5557>

Jaime, M., & Portocarrero, L. (2018). Influencia de la cascarilla y ceniza de cascarilla de arroz sobre la resistencia a la compresión de un concreto no estructural, Trujillo 2018 [Universidad Privada del Norte. <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/13593>

Lin, J., Colomer, F., Gallardo, A., & Alberola, C. (2021). Valorización de los residuos generados en el cultivo de arroz: paja y cascarilla. En C. del Congr s (Ed.), *IX Simposio iberoamericano de ingenieria de residuos* (pp. 672-677). <http://hdl.handle.net/10234/197131>

Lopez, M., & Salcedo, K. (2021). Comportamiento mecánico de concreto con adición de ceniza de cascarilla de arroz [Tesis para optar el título profesional de ingenieria civil]. Universidad Ricardo Palma. http://repositorio.urp.edu.pe/bitstream/handle/URP/3523/ELEC-T030_46733086_T CAYA PÉREZ JHAN CARLOS.pdf?sequence=1&isAllowed=y

MIDAGRI (Ministerio de Desarrollo Agrario. (2022). *Observatorio de comodities: Arroz* (pp. 1-29). Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego.

Montero, D. (2017). *Uso de la ceniza de cascarilla de arroz como reemplazo parcial del cemento en la fabricación de hormigones convencionales en el Ecuador* [Trabajo de titulación para obtener el título profesional de Ingeniero civil]. Universidad San Fransisco de Quito USFQ. <https://repositorio.usfq.edu.ec/handle/23000/6412>

Nain, M. Z., & Kasilingam, S. (2023). Materials Today : Proceedings Influence of rice husk ash and bagasse ash on durability of concrete. *Materials Today: Proceedings*, xxx(xxxx), xxx. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.06.464>

Orchesi, L. (2019). Evaluación de propiedades físico-mecánicas del concreto $f'_c=210$ kg/cm² sustituyendo cemento con una mezcla de esquisto y cenizas de cáscaras de arroz [Tesis para optar

el título profesional de Ingeniero civil]. Universidad César Vallejo.
<http://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/45918>

Rodríguez-Camacho, R. E., & Uribe-Afif, R. (2002). Importance of using the natural pozzolans on concrete durability. *Cement and Concrete Research*, 32(12), 1851-1858.
[https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(01\)00714-1](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(01)00714-1)

Rodríguez, A., & Tibabuzo, M. (2019). Evaluación de la ceniza de cascarilla de arroz como suplemento al cemento en mezclas de cemento hidráulico [Trabajo de grado para optar el título de Ingeniero civil]. Universidad Santo Tomás. <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/15589>

Setina, J., Gabrene, A., & Juhnevica, I. (2013). Effect of pozzolanic additives on structure and chemical durability of concrete. *Procedia Engineering*, 57, 1005-1012.
<https://doi.org/10.1016/j.proeng.2013.04.127>

Varadharajan, S., Jaiswal, A., & Verma, S. (2020). Assessment of mechanical properties and environmental benefits of using rice husk ash and marble dust in concrete. *Structures*, 28(July), 389-406. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2020.09.005>

Zaid, O., Ahmad, J., Siddique, M. S., & Aslam, F. (2021). Effect of Incorporation of Rice Husk Ash Instead of Cement on the Performance of Steel Fibers Reinforced Concrete. *Frontiers in Materials*, 8(June), 1-14. <https://doi.org/10.3389/fmats.2021.665625>

Zareei, S. A., Ameri, F., Dorostkar, F., & Ahmadi, M. (2017). Rice husk ash as a partial replacement of cement in high strength concrete containing micro silica: Evaluating durability and mechanical properties. *Case Studies in Construction Materials*, 7(October 2016), 73-81.
<https://doi.org/10.1016/j.cscm.2017.05.001>