



MÉTODOS DE ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS PARA MEJORAR EL CBR CON FINES DE PAVIMENTACIÓN: UNA REVISIÓN LITERARIA.

Enrique Chirinos Ñañez¹ ✉, Ernesto Rodríguez Lafitte², Socrates Muñoz Pérez³.

¹ Estudiante de Ingeniería Civil. Universidad Señor de Sipán ✉

echirinos@crece.uss.edu.pe

² Magister, Ingeniero Agrónomo.

³ Magister, Ingeniero Civil.

PALABRAS CLAVES:
Arcillas, suelos, estabilización, propiedades mecánicas.

RESUMEN

El interés en investigar e innovar constantemente para obtener información suficiente, ha llevado a los investigadores a los métodos de estabilización de suelos arcillosos a mejorar el CBR con fines de pavimentación con materiales aditivos, con la finalidad de brindar un correcto análisis de los resultados y así su respectiva discusión sobre estabilización del suelo. Se realizó una revisión sistemática bajo una recopilación de 35 artículos indexados entre los años 2013 al año 2021. El objetivo general fue realizar una revisión sistemática relacionada con los métodos existentes de estabilización de suelos arcillosos con el fin de mejorar el CBR con fines de pavimentación, utilizando una metodología descriptiva. Obteniendo como resultados que los suelos de tipo CL y CM, tienen propiedades más desfavorables y que el material de adición óptimo fue la ceniza de cascarilla de arroz, aumentando las propiedades mecánicas específicamente en el CBR. Se concluye, que la adición de CCA no solo brinda mejores propiedades mecánicas en el CBR, sino que también brinda beneficios económicos y ambientales. Esta propuesta brinda un valioso aporte al brindar un método de estabilización innovador con certeza de su eficiencia mediante el uso de residuos como la ceniza de cascarilla de arroz, para obtener un mejor comportamiento mecánico en este tipo de suelos.

CLAY SOIL STABILIZATION METHODS TO IMPROVE CBR FOR PAVING PURPOSES A LITERARY REVIEW.

KEY WORDS:

Clays, soils, stabilization, mechanical properties.

ABSTRACT

The interest in research and constant innovation to obtain sufficient information, has led researchers to clay soil stabilization methods to improve the CBR for paving purposes with additive materials, in order to provide a correct analysis of the results and thus their respective discussion on soil stabilization. A systematic review was carried out under a compilation of 35 articles indexed between the years 2013 to 2021. The general objective was to perform a systematic review related to the existing methods of stabilization of clayey soils in order to improve the CBR for paving purposes, using a descriptive methodology. The results showed that CL and CM type soils have more unfavorable properties and that the optimal addition material was rice husk ash, increasing mechanical properties specifically in the CBR. It is concluded that the addition of CCA not only provides better mechanical properties in the CBR, but also provides economic and environmental benefits. This proposal provides a valuable contribution by offering an innovative stabilization method with certainty of its efficiency through the use of residues such as rice husk ash, to obtain a better mechanical behavior in this type of soils.

Rec : 21/07/2021

Acep : 26/09/2021



INTRODUCCIÓN

Colombia es un país que tiene como principal medio de transporte a las carreteras, existiendo una gran demanda de materiales de calidad en necesidad de infraestructuras viales. Por ello, surgen diversas alternativas para la mejora de sus propiedades mediante la estabilización de suelos (Alarcón et al., 2020).

Según Jittin y colaboradores (2020), “En países asiáticos y otros países, se consideran como principal cultivo al arroz, al haber incrementado su producción en 2.9 millones de toneladas en el año 2017 mundialmente”. La cáscara de arroz cuenta con una cubierta exterior cuenta con mínimo valor nutricional, siendo eliminada durante el procesamiento del arroz.

El suelo se considera uno de los parámetros más importantes que han sido considerados en estudios geotécnicos específicamente para estructuras en agua, al ser significativamente influenciado por su distribución de poros entre otras características propias del suelo (Manoochehr, Mohammad, & Mohammad, 2019).

La estabilización de suelos se utiliza con producto químicos convencionales, en las que, se puede adicionar algún material convencional o nuevo material de adición, con el fin de beneficiar en resistencia, entre otras propiedades mecánicas (Liu, y otros, 2020). Además de ello, se determina que la adición de nuevos materiales para la estabilización puede llenar vacíos dentro del suelo mejorando la estructura del suelo.

Este tipo de suelo que pueden ser clasificadas en primarias o secundarias, tal y como se pueden encontrar en su estado natural. Las arcillas primarias son aquellas que se encuentran en el mismo lugar donde se formaron, sin haber sido transportadas,

mientras que, las otras como las arcillas secundarias han sido transportadas por agua o viento (Higuera y otros, 2016).

La estabilización de suelos es un procedimiento que se encarga de realizar la mejora de las propiedades de los suelos con respecto al tiempo, al influir de manera positiva en estos mismos (Ulate, 2017). El diseño de esta va a estar en función de la clasificación del suelo, determinar la cantidad y tipo de estabilizante para efectuar de esta manera el efecto deseado en los suelos (Bada, 2016).

Este procedimiento en suelos se extiende como un conjunto o serie de procesos físicos, mecánicos y químicos que permite la transformación de las diversas propiedades de suelos, obteniendo así un material apto para su utilización como: plasticidad, estabilidad volumétrica, permeabilidad, resistencia, trabajabilidad, resistencia a la compresión, entre otras propiedades (Higuera, Gómez y Pardo, 2012).

La subrasante estabilizada es aquel procedimiento esencial o de gran importancia para la construcción de buenas carreteras, existen suelos con naturaleza expansiva con hinchazón, degradando la calidad de los pavimentos (Arrieta et. al, 2020). La plasticidad del suelo se mide en términos de índice de plasticidad se reduce para un suelo estabilizado con el fin de mejorar las propiedades del suelo.

Este artículo científico tiene como objetivo realizar una revisión relacionada a los métodos existentes de estabilización con el fin de mejorar el CBR a suelos arcillosos con fines de pavimentación. Se realizó un análisis específico de los materiales adicionantes, las cuales, es posible utilizar residuos agroindustriales, fibras vegetales, fibras sintéticas, entre otros.

MATERIALES Y METODOS

La revisión sistemática se realizó empleando 35 artículos indexados encontrados en la base de datos de Scopus, Scielo, Science Direct, Proquest, Redib, Researchgate y Semantic Scholar, donde se encontraron 2 artículos del año 2013, 3 artículos del 2016, 6 artículos del año 2017, 7 artículos del año 2019, 12 artículos del año 2020 y 5 artículos del año 2021. Para la búsqueda de los artículos, se utilizaron las siguientes

palabras clave: estabilización, suelos, propiedades mecánicas, stabilization, soils, mechanical properties. Se incluyeron todos los artículos sobre estudios de estabilización de suelos con la adición de residuos, y se excluyeron aquellos artículos de mayor antigüedad a 2013 y que no estén relacionadas a las variables de la investigación. Para un mejor detalle en la tabla, se muestra los artículos distribuidos según la base de datos y años de publicación.

Tabla 1: Resumen de revistas según base de datos

| Base de datos | Año de publicación | | | | | | Total |
|------------------|--------------------|------|------|------|------|------|-------|
| | 2013 | 2016 | 2017 | 2019 | 2020 | 2021 | |
| Science Direct | 0 | 0 | 2 | 3 | 3 | 3 | 11 |
| Scielo | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| Scopus | 0 | 1 | 1 | 1 | 5 | 1 | 9 |
| ProQuest | 0 | 0 | 1 | 2 | 1 | 1 | 5 |
| Redib | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| Researchgate | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| Semantic Scholar | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 0 | 7 |
| Total | 2 | 3 | 6 | 7 | 12 | 5 | 35 |

Tabla 2: Artículos distribuidos según los diferentes criterios de búsqueda

| Base de datos | Años de búsqueda | Palabras clave | Documento o sin filtro | Filtro de búsqueda | Con filtro | Cantidad de documentos seleccionados |
|----------------|------------------|-----------------|------------------------|-------------------------------|------------|--------------------------------------|
| Science Direct | 2016- 2021 | “rice husk ash” | 3161 | Review article (article type) | 442 | 11 |
| Scielo | 2016- 2021 | “rice husk ash” | 52 | Engineering (áreas temáticas) | 34 | 1 |
| Scopus | 2016-2021 | “rice husk ash” | 2138 | soil stabilization (key Word) | 43 | 9 |
| ProQuest | 2016- 2021 | “RHA” | 3255 | Soil stabilizacion | 145 | 5 |

| | | | | (asunto) | | |
|---------------------|------------|----------------------------|------|-------------------------------------|-----|---|
| Redib | 2016- 2021 | ceniza cascara arroz | 16 | 2020 (año publicacion) | 6 | 1 |
| Researchgate | 2016- 2021 | RHA | 1 | Stabilization | 1 | 1 |
| Semantic Scholar | 2013- 2021 | “rice husk ash” | 4270 | Engineering (fields of study) | 100 | 7 |

RESULTADOS

Para el desarrollo de esta investigación, se tiene como limitaciones en el estudio, a las investigaciones de estudio correspondientes a los años 2020 al 2021, por lo que, se tiene como guía para futuras investigaciones, y se encargan de brindar los beneficios que presentan las cenizas de cascarilla de arroz en el mejoramiento de los suelos, específicamente suelos arcillosos con baja resistencia. Asimismo, existen diversos aditivos que brinden una mejora en la estabilización de suelos con alto contenido de finos y así, la subrasante de los pavimentos.

CARACTERÍSTICAS DE LA ADICIÓN DE CCA

En la investigación de Gupta & Kumar (2017), se logró conseguir una ceniza de cáscara de arroz de un molino local, con un peso específico de 1.95, las cuales, se obtuvo una composición de 2.4% de óxido de calcio, 1.4% d alúmina, 0.6% de óxido de hierro, y en su mayor parte en un 91.3% de sílice. Por ello, al ser este material aquel que presenta un buen comportamiento puzolánico puede convertirse en aquel material de sustitución parcial del cemento.

Según Jittin, Bahurudeen, & Ajinkya (2020), para obtener mejoras en el comportamiento mecánica del suelo mediante la adición de CCA, es necesario

que esta haya sido quemada en el rango de 700 a 800°C. Al igual, en la investigación de Aquino, Herrera, Gamaier, & Cachaca (2021), este material es un residuo agroindustrial que ha sido recolectada de un molino de arroz en Santa Cruz que ha sido procesada por combustión a una temperatura de 700°C a 800°C. En Arla investigación de Brahmachary, Ahsan, & Rokonzaman (2019) afirman que, la temperatura de calcinación para obtener una ceniza de cáscara de arroz con mayor sílice es de 500°C a 700°C. Asimismo, esta investigación determina que la composición de este material es en un 89.02% de dióxido de silicio, un 2.29% de óxido de potasio, un 0.54% de óxido de calcio, un 0.8% de óxido de sodio, entre otros con un porcentaje mínimo.

En la investigación de Jafer, Majeed, & Dulaimi (2020), realizó un estudio de la composición química de SiO₂ en un 84.31%, 1.33% de Al₂O₃, Fe₂O₃ en un 1.25%, 8.47% de CaO y 1.18% de MgO, entre otros componentes pero en porcentajes mínimos. Debido a su alto contenido de sílice, se considera como material sustituto del cemento.

Anjani, Kumar, & Kishor (2017) afirman que, estas cenizas de CCA presentaron en un 95.6% de sílice, 1.20% de óxido de hierro, 0.30% de óxido de calcio y óxido de

aluminio en el mismo porcentaje anterior, y 0.20% de magnesia.

Mientras que, Aquino, Herrera, Gamaier, & Cachaca (2021) afirman que, la ceniza de cáscara de arroz presenta una composición química en su mayoría de sílice SiO₂ con un 90.74%, 1.01% de CaO, 0.43% de MgO, 0.87% de K₂O y en un 0.33% de Fe₂O₃ y Na₂O.

Según Sarapu (2017), este residuo agroindustrial, está compuesta químicamente por SiO₂ en un 86%, un 2.6% de Al₂O₃, 1.8% de Fe₂O₃, 2.6% de CaO, 0.27% de MgO, evidenciando así que el componente principal es el SiO₂.

Fattah, Rahil, & Al-Soudany (2017), determinó en su estudio que la CCA es un material puzolánico de gran importancia, la cual está conformada por 86% de SiO₂, 1.8% de Fe₂O₃, 3.6% de CaO y MgO con un contenido de 0.27%. Mientras que, Widjajakusuma & Winata (2017), en su investigación determinó en su composición de CCA en un 95% de SiO₂, Fe₂O₃ en un 1.48% y Al₂O₃ en un 2.21%.

En la investigación, Sani, Yohanna, & Chukwujama (2020), determinó que la composición en SiO₂ en un 74.75%, 3.22% de Al₂O₃, K₂O en un 6.78%, 1.35 MnO y 1.3% de Na₂O.

Quispe, Navia & Ramzy (2019) afirman que, la reutilización de ceniza de cáscara de arroz permite la reducción en un 97% de impacto ambiental negativo debido a la producción total de arroz. Mientras que, Liu, Su, Namdar, Zhou, & She (2019) afirman que, este material se considera como un material con buenas características, dentro de las cuales, se evidencia su contenido puzolánico en la estabilización de suelos en sustitutos de materiales cementosos como la cal, específicamente para subrasantes arcillosas.

Además de ello, se ha logrado evidenciar la influencia del rango de temperatura que se incinera la CCA siendo más óptimo el 650 a 800 °C, presentando este material de adición un alto contenido puzolánico (Behak & Peres, 2016). Esta investigación realizó un estudio específico de estas cenizas de cáscara de arroz, determinando que es el residuo con más alta puzolánica dentro del rango de temperatura.

Adedokun & Oluremi (2019) afirman que, la CCA puede ser un material de gran importancia para la estabilización de suelos lateríticos, al presenta un alto contenido de SiO₂, con un 67.3% a 89.1%, un contenido de Al₂O₃ de 0.91% a 4.9%, MgO en un porcentaje de 0.87% a 1.96% y CaO en un contenido de 0.11% a 1.36%.

De esta manera, se puede determinar que este material se convierte en un estabilizador no tradicional, que en bajas dosificaciones permiten reaccionar favorablemente en el comportamiento de un suelo (Ulate, 2017).

Porcentajes de adición CCA

Gupta & Kumar (2017) afirman que, en su desarrollo de adición en un 0%, 5%, 10%, 15% y 20% de CCA, se logró obtener como porcentajes óptimos al 10% y 15% de adición.

Mientras que, Ma, Su, Liu, & Tao (2020) realiza su estudio en suelo expansivo con la adición del 5%, 10, 15 y 20% de CCA, determinando como porcentaje óptimo del 12% y cal en un 3%.

Yuyi, y otros (2019) afirmaron que, en su adición en un 0%, 5%, 10%, 15% y 20% de CCA. Azizan, Marhami, Rahman, Arshad, & Azhar (2020) realizó su estudio de adición en un 15% a 35%, determinando como porcentaje óptimo de adición en un 10%, al lograr la estabilización del suelo de estudio. Fattah, Rahil, & Al-Soudany (2017), en su investigación determinó como

porcentajes de estudio a 0%, 5%, 10% y 15% de ceniza de cáscara de arroz con lodos de cal y 0%, 5%, 10% y 15% adición de CCA.

Jittin et. al. (2020), afirma que la CCA como material adicinante en suelos arcillosos-arenosos, requiere de una adición de 10% al 20%, siendo este último aquel porcentaje más óptimo. Mientras que, en la investigación de Anjani et al. (2017), realizó su estudio con los siguientes porcentajes de adición 0%, 2.5%, 5%, 7.5%, 10% y 12.5%, obteniendo como porcentaje óptimo para suelos el 7.5%. En la investigación, Sani, Yohanna, & Chukwujama (2020) realizaron en su concentración del 0%, 2%, 4%, 6% y 8% por peso seco del suelo de laterita.

En la investigación de Chijioke & Donald (2019) realizaron su estudio en un 2% a 8% con 0% a 15% de CCA y 0% a 8% de fibra. Mientras que, Brahmachary et al. (2019), realizó la comparación de sus resultados de las siguientes dosificaciones 0%, 5%, 15%, 20% de adición.

Morais, Pereira, Souza y Cardoso (2017) afirman que, para un suelo limoso con alta plasticidad se estabiliza con 4% cemento y 4% de cemento con 3% de CCA a temperatura de 250°C, logrando suelos estabilizados y puros. Además de ello, Liu et al. (2019) afirman que, la adición 5%, 10%, 15% y 20%. Mientras que, Chhokar; y Sonthwal (2020), a fin de mejorar la resistencia del suelo, se realizó en su estudio sobre estabilización la incorporación de este residuo agroindustrial y combinaciones de materiales cementosos en diversos tipos de suelos, evaluando de esta manera a siete muestras conformadas de la siguiente manera: suelo sin adición, suelo con 3%, 6% y 9% de CCA, y las últimas muestras de CCA con 0.1%, 0.2% y 0.3% de fibras PP.

En la propuesta de Phai y Eisazadeh (2019), se realizó la adición del 0%, 10%, 20%,

30% y 50% de ceniza de cáscara de arroz por masa de suelo seco en reemplazo del 0%, 4%, 8%, 12% de cal para realizar estudios experimentales en pruebas de compactación.

Jaiswal M. & Lal (2016) determinaron realizar la adición de ceniza en un 1%, 2%, 3%, 4%, 6%, 8% y 10% en suelos arcillosos.

En la investigación de Widjajakusuma & Winata (2017), se realizó el empleo de ceniza, en un combinación de la siguiente manera: 3% CCA+ 4% cemento, 3% CCA+4% cemento+3% arcilla.

INFLUENCIA DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO CON LA INCORPORACIÓN DE CCA

a) Límites de consistencia y clasificación

Jittin et. al. (2020), afirma que en un 2.5% a 12.5%, se obtiene el valor de su índice de plasticidad del suelo estabilizado se reduce al incrementar su proporción de cenizas, obtenido así una diferencia de 13 a 24 para suelos estabilizados con este material residuo. Mientras que, en la investigación de Montejo, Raymundo y Chávez (2020), se obtuvo la reducción de su índice de plasticidad, evidenciando en su límite líquido, la reducción de un 36.32% y en su límite plástico en un 64.75% ante la adición de ceniza de cáscara de arroz en un suelo arcilloso y limoso en Piura.

Mientras que, Ma et al. (2020) afirmaron que, el límite plástico en un 36.9%, límite líquido en un 77.60% y por ende, un índice de plasticidad de 40.70%.

En la investigación de Sani et al. (2020) determinaron que, su muestra de suelo natural obtuvo un límite plástico de 27.27%, un límite líquido de 48% y un índice de plasticidad de 20.73%. Asimismo, se obtuvo una gravedad específica de 2.73 y una

clasificación según SUCS como CL y según AASHTO como un suelo A-7-6 (10).

Jafer et al. (2020) afirmaron que, un índice de límite líquido de 50.10%, un índice de plasticidad de 25.34%, y un 24.11% como contenido óptimo de humedad. En la investigación de Chhokar; y Sonthwal (2020), en su estudio obtuvo en las muestras de suelo sin adición, un valor de límite líquido de 37.2%, un límite de plástico de 26.61%, y un índice de plasticidad de 10.59. Además de ello, a la muestra natural, se le realizó su evaluación del tipo de suelo considerando una clasificación CI con un porcentaje de finos del 51.5% y una gravedad específica de 2.68. Estas características no fueron obtenidas en las muestras de suelo con adición, por no haber sido evidente mejoras algunas.

Se logró evidenciar un incremento considerable en su límite líquido y plástico de un suelo, reduciendo así una máxima densidad seca (Chhokar & Sonthwal, 2020). Mientras que, Faray & Rahay (2020), en su investigación logró obtener un límite líquido de 30.52%, un límite plástico de 20.62% y un índice de plasticidad de 9.9% en su muestra natural. En su muestra con adición, logró obtener los siguientes resultados 41.90%, 40.31% y 1.59% respectivamente, evidenciando su reducción significativa al estudio de dicha muestra.

Al igual en la investigación de Mittal (2021), que lograron obtener significativas mejoras en su CBR con la adición reforzada con la adición de fibras, evidenciando un incremento del 54% de CBR. En el estudio del CBR, la investigación de Fattah, Rahil, & Al-Soudany (2017), logra reducirse hasta en un 11% a 18% ante la incorporación del 9% de ceniza de cáscara de arroz, asimismo su índice de plasticidad reduciendo aproximadamente de 32% a 80%.

Según Sarapu (2017), el suelo en su estado natural presentó un L.L en un 49.5%, 24.4% de L.P y por ende un I.P de 25.1%. Mientras que, el límite líquido y el límite plástico aumentan con el aumento del porcentaje de SS al 5% L y al 10% RHA. Obteniendo como límite de la mezcla óptima mencionada en un 41.5%, evidenciando así una mejora de un 73.5% mayor al del suelo arcilloso sin adición (Ashango & Ranjan, 2016).

En la investigación de Widjajakusuma & Winata (2017), que realizó un estudio de la muestra de suelo natural y dos dosificaciones con su incorporación obtuvieron un límite líquido de 73.33%, 35.77% y 52.43% respectivamente, un límite plástico de 53.02%, 0% y 46.03% respectivamente. Finalmente, un índice de plasticidad de 20.31% para la muestra natural y para la muestra de adición conformada por 3% CCA+4% cemento+3% arcilla logró obtener un 5.40%, evidenciando de esta manera, una reducción significativa.

b) Contenido óptimo de humedad

Jittin et. al. (2020) determinan que, un suelo estabilizado presenta características específicas de compactación, por lo que, se reduce su máxima densidad seca mientras su contenido de humedad óptimo se incrementa al adicionar la CCA.

A diferencia de Sani et al. (2020), en su investigación obtuvo en el estudio de su muestra natural del suelo un contenido óptimo de humedad de 18% y una máxima densidad de 1.85 Mg/m³, y con la adición del 6% de ceniza, se evidenció un incremento en su contenido óptimo de humedad logrando alcanzar un valor de 26.5%.

Liu et al. (2019), obtuvieron en sus resultados de investigación en una reducción de la densidad máxima seca y así un incremento del contenido óptimo de humedad al incrementar de manera proporcional de ceniza de cáscara de arroz.

Mientras que, Brahmachary et al. (2019) afirma que, la inclusión de mayor cantidad de CCA incrementa su contenido de humedad óptimo, y así la reducción de su máxima densidad seca, obteniendo un valor incrementado de 12.23% a 16.88%.

En la investigación de Jaiswal M. & Lal (2016) obtuvieron como resultados con 0%, 1%, 2%, 3%, 4%, 6%, 8% y 10% en suelos arcillosos, se logró obtener un contenido óptimo de humedad de 11%, 16.5%, 19.5%, 21.5%, 22%, 23%, 23% y 24% respectivamente, evidenciando un incremento de su porcentaje al incrementar mayor cantidad de CCA.

Mientras que, en el contenido óptimo obtenido de la muestra cruda o muestra sin adición fue del 15%, mientras que, en las muestras del suelo con adición, no fue considerado importante su estudio, ya que, se centró más en la influencia de la ceniza de cáscara de arroz en su resistencia (Chhokar y Sonthwal, 2020). Según Sarapu (2017), el suelo en su estado natural obtuvo un contenido máximo de humedad de 18.38% antes de su estabilización.

INFLUENCIA DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL SUELO CON LA INCORPORACIÓN DE CCA

a) Máxima densidad seca

Jittin, Bahurudeen & Ajinkya (2020) en su investigación, afirmaron que, la incorporación de la ceniza de cáscara de arroz y cemento en el suelo incrementa el contenido óptimo de humedad y se reduce la densidad máxima seca del suelo. Ma et al.

(2020), en su investigación llegó a obtener un contenido óptimo de agua de la muestra de suelo en un 28% y una máxima densidad seca de 1.37 gr/cm³. Jafer et al. (2020) obtuvo en su muestra de suelo natural una densidad máxima de 15.47%.

Mittal (2021) afirma que, los valores del contenido óptimo de humedad es de 18.98% en la mezcla patrón y 24.17%, específicamente para la muestra modificada de 20% RHA + 6% cemento.

Anjani et al. (2017), afirmaron que, en el caso de suelos plásticos mediano, los estabilizadores reducen su máxima densidad seca, mientras que incrementa su contenido de humedad. Mientras que, en la investigación de Sani et al. (2020), se obtuvo una MDD reducido en un 1.85 mg/m³ para el suelo natural, mientras el suelo con 8% de ceniza de cáscara de arroz se obtuvo un 0.25% de SF por peso seco del suelo.

La adición de un 15% de contenido de arena a las cenizas del estanque aumenta la densidad seca máxima en un 15% y reduce el contenido óptimo de humedad en un 14% y se considera un contenido óptimo de arena (Sharma, 2020).

Sani et al. (2020) afirmaron que, su máxima densidad seca se redujo de 1.85 mg/m³ que obtuvo un suelo natural a 1.48 mg/m³ del suelo con 8% de ceniza. Además de ello, Phai y Eisazadeh (2019), se evidenció un incremento del contenido de humedad óptimo (OMC), al agregar más reemplazos o estabilizadores. Es importante mencionar que, el suelo requiere de más agua para llegar a lograr su densidad máxima seca, siendo esta aquella que se reduce al incrementar la adición.

En la investigación de Brahmachary et al. (2019) determinó que, su valor de máxima densidad seca se reduce gradualmente al

incrementar el contenido óptimo de humedad. Se obtuvo un valor MDD reducido de 16.66 a 13.08kn/m³.

Jaiswal M. & Lal (2016) obtuvieron como resultados con 0%, 1%, 2%, 3%, 4%, 6%, 8% y 10% en suelos arcillosos, una MDD de 1.765 gm/cc, 1.69 gm/cc, 1.65 gm/cc, 1.55 gm/cc, 1.58 gm/cc, 1.55 gm/cc, 1.54 gm/cc y 1.51 gm/cc respectivamente.

En cuanto a su contenido de humedad óptimo, al aumentar dosificación del residuo en el suelo, se determina el incremento proporcionalmente a su humedad óptimo. Asimismo, un incremento en su resistencia la compresión no confinada (Fattah, Rahil, & Al-Soudany, 2017). En la investigación de Behak & Peres (2016), el MDD de la muestra de suelo con adición de CCA y cal resultó ser menor frente al MDD del suelo convencional o sin adición, mientras que su contenido óptimo de humedad fue mayor.

b) CBR

Anjani et al. (2017), determinaron que el CBR óptimo con 92.5% del suelo y 7.5% de ceniza de composición. El valor de este CBR estabilizado con las cenizas incrementó en un 134%, 79.81% y 48.92% respectivamente frente a un suelo no estabilizado.

En cuanto a su resistencia a la compresión ilimitada se evidenció un incremento lineal prácticamente al adicionar las cenizas (Jittin, Bahurudeen & Ajinkya, 2020). Con su adición del 7.5% de CCA en un suelo, se logró incrementar en un 134% en su CBR.

En la investigación de Chijioke & Donald (2019), el CBR en suelo natural con 2% y con la adición de ceniza de cáscara de arroz, se llegó a obtener un 13% evidenciando una mejora significativa. Además de ello, un incremento de módulo de resiliente del suelo de un 94.5% y 94.2%.

Sarapu (2017) afirmó que su CBR del suelo natural antes de su estabilización fue de 5.5% a 8.5%, la cual incrementa al agregar un porcentaje de adición de 6% a 8% de ceniza de cáscara de arroz.

En CBR, la investigación de Ma et al. (2020), el contenido óptimo de adición en las muestras de suelo fue de 10%, al superar más 3% en suelos expansivos.

Gupta & Kumar (2017) lograron obtener dentro de sus resultados, que la adición de esta ceniza no evidencia mejora considerable en la capacidad de carga, pero se considera que al presentar un porcentaje óptimo, es que, mejoró sus condiciones en la mezcla de arcilla, al haber pasada 3 días de curado, de un CBR de arcilla no estabilizada con un valor de 2.1% a 3.2%. Mientras que, en la investigación de Brahmachary et al. (2019), se determinó que, el CBR de la muestra de suelo natural es de 3.02%, mientras que el porcentaje con adición en un 5%, 10%, 15% y 20%, se logró obtener un CBR de 3.52%, 4.05%, 4.48% y 4.11 respectivamente, evidenciando así un porcentaje más óptimo del 15%.

La adición en un suelo arcilloso y expansivo no tratado, un 20% escoria de acero+ 10% CCA+5% cal viva, se logra evidenciar un incremento de u resistencia entre un 45% a 90% a los 30 días, demostrando así que su CBR incrementa no solo con la adición sino con sus tiempos de curados.

Montejo, Raymundo y Chávez (2020) afirman que, el incremento del 4% y 7% de CCA, incrementando su capacidad de soporte CBR, de la que en su muestra sin adición obtuvo un 2.85%, con la adición de CCA se logró obtener 4.52% y 7.8% respectivamente.

Es importante mencionar que, Yuyi, y otros (2019), obtuvo que, en un 20% de adición de ceniza de cáscara de arroz fue el porcentaje más óptimo, logrando 2.70 veces mayor en su CBR frente al suelo sin curar.

Jaiswal M. & Lal (2016) afirmaron que, en adición de un 0%, 1%, 2%, 3%, 4%, 6%, 8% y 10% en suelos arcillosos, se obtiene un valor CBR de 8.4%, 7.7%, 9.4%, 9.2%, 10.1%, 10.8%, 3.9% y 1.6% respectivamente. Por ende, se puede evidenciar una evidente mejora con los siguientes porcentajes: 2%, 3%, 4%, y 6% de adición.

En la investigación de Mittal (2021), existió un incremento máximo de 138% y 170% en CBR en los suelos arcillosos con una subrasante pobre mediante la adición de 10% RHA + 6% cemento + 30% polvo de piedra, cambiando así su subrasante de muy pobre a buena. Esta adición genera una reducción del espesor del pavimento en un 32% y en costos en un 12% de un presupuesto total.

La relación de carga del CBR de un suelo estabilizado con ceniza incrementó con las

adiciones de 0 a 1.5% (Adedokun & Oluremi, 2019).

En la investigación de Azizan et al. (2020), se determinó que el porcentaje óptimo de adición fue el 10% de ceniza de cáscara de arroz en suelo arcilloso, logrando su estabilización mediante un incremento del 30% de su resistencia.

Vinh & Viet (2020), realizó su estudio, en la cual determina que la adición de 1% CCA+ 4% lime, se convierte en una dosificación óptima mejorando en un 68.2%

Sin embargo, en el estudio del CBR de suelos estabilizados con ceniza de cáscara de arroz, lograron obtener un incremento a los 14 días de remojo o curación, un incremento hasta de un 100% de su valor inicial de la muestra natural.

Tabla 2: Caracterización de las muestras de suelo

| Nº | Autores | Tipo de suelo | Temperatura de ceniza | Porcentaje óptimo de adición | CBR sin adición | CBR con adición |
|----|---|-----------------------------|-----------------------|------------------------------|-----------------|-----------------------|
| 1 | (Gupta & Kumar, 2017) | Suelo arcilloso | - | 10% CCA | 2.1% | 3.2% |
| 2 | (Mittal, 2021) | Suelos arcilloso expansivos | - | 20% CCA+ 5% cal + 3% yeso | - | Incremento del 54% |
| 3 | (Jittin, Bahurudeen, & Ajinkya, 2020) | Suelos arcillosos arenosos | 700 a 800°C | 20% CCA | - | - |
| 4 | (Anjani, Kumar, & Kishor, 2017) | Suelos arcilloso y limoso | 600 a 700 °C | 7.5% CCA | - | Incrementó en un 134% |
| 5 | (Montejo, Raymundo, & Chávez, 2020) | Suelos arcilloso y limoso | - | 7% CCA | 2.85% | 7.80% |
| 6 | (Aquino, Herrera, Gamaier, & Cachaca, 2021) | Suelo- cemento | 700 °C a 800 °C | 2.5% CCA | - | - |
| 7 | (Yuyi, y otros, 2019) | Suelo expansivo | - | 20% CCA | - | - |
| 8 | (Sani, Yohanna, & Chukwujama, 2020) | Suelo laterítico | - | 6% CCA | 18% | 26.5% |
| 9 | (Quispe, Navia, & Ramzy, 2019) | Enfoque ambiental | - | - | - | Reducción del 97% |

| | | | | | | producción |
|----|--|------------------------------|------------|--|-------|----------------------------|
| 10 | (Chijioke & Donald, 2019) | Suelo arcilla expansiva | - | 15% CCA | 2% | 13% |
| 11 | (Morais, Pereira, Souza, & Cardoso, 2017) | Suelo limo-arcilloso | 250°C | 3% CCA+ 4 cemento | - | Incremento del 10% |
| 12 | (Widjajakusuma & Winata, 2017) | Suelos limosos y arcillosos | 250°C | 3% CCA | - | - |
| 13 | (Liu, Su, Namdar, Zhou, & She, 2019) | Suelos arcillosos expansivos | 100°C | 15% CCA | 2% | 7.8% |
| 14 | (Phai & Eisazadeh, 2019) | Suelo arcilloso limoso | - | 10% CCA+4 % cal | 5% | 10.56% |
| 15 | (Ma, Su, Liu, & Tao, 2020) | Suelo expansivo | - | 15% CCA | - | 1.2 veces mayor |
| 16 | (Lakshmi, Geetha, Selvakumar, & Divya, 2021) | Suelos arena arcillosa | - | 20% CCA + 4% cal | - | - |
| 17 | (Verma, Sagar, & Mittal, 2020) | Suelos coluviales | - | 15% CCA+ 4% polvo de microsilíce 20% | - | Máxima resistencia deseada |
| 18 | (Sharma & Kumar, 2021) | Suelos arcillosos | - | CCA+75% escoria de cobre + 5% cemento | - | Incremento de su CBR |
| 19 | (Azizan, Marhami, Rahman, Arshad, & Azhar, 2020) | Suelo arcilloso | - | 10% CCA | - | Incrementó en un 30% |
| 20 | (Jafer, Majeed, & Dulaimi, 2020) | Suelo arcilloso | - | 20% CCA | - | - |
| 21 | (Brahmachary, Ahsan, & Rokonuzzaman, 2019) | Suelos arcillosos | 500- 700°C | 15% CCA | 3.02% | 4.48% |
| 22 | (Jaiswal M. & Lal., 2016) | Suelos arcillosos | - | 6% CCA | 8.4% | 10.8% |
| 23 | (Chhokar & Sonthwal, 2020) | Suelos arcillosos | 750°C | 15% CCA | - | - |
| 24 | (Faray & Rahay, 2020) | Suelos arcillosos | - | 12% CCA+ Cal | - | Aumento en un 9% |
| 25 | (Mittal, 2021) | Suelo arcilloso | - | 10% CCA+ 6% cemento+30 % polvo de piedra | - | Aumento en un 138% y 170% |
| 26 | (Widjajakusuma & Winata, 2017) | Suelo arcilloso | + 250°C | 3% CCA+ 4% cemento+ 3% arcilla | - | Incremento en un 100% |
| 27 | (Sharma A. , 2020) | Suelo areno-arcilloso | - | 15% CCA | - | Incrementa MDS 15% |
| 28 | (Vinh & Viet, 2020) | Suelos arcillosos, limosos | - | 1% CCA+4% lime | - | 68.2% |
| 29 | (Tiwari, Kumar, & Umang, 2020) | Suelos arcillosos | - | 10% CCA | - | Aumenta en un 5% |

| | | | | | | |
|----|-------------------------------------|------------------------------|------------------------|--|------|----------------------|
| 30 | (Sarapu, 2017) | Suelo arcilloso | - | 6% a 8% CCA | 5.5% | - |
| 31 | (Fattah, Rahil, & Al-Soudany, 2017) | Suelo arenoso | Temperatura controlada | 6% al 8% CCA | - | - |
| 32 | (Ashango & Ranjan, 2016) | Suelos arcillosos expansivos | - | 20% escoria de acero+ 10% CCA+5% cal viva | - | Incrementa en un 45% |
| 33 | (Behak & Peres, 2016) | Suelo limo-arcilloso | 650°C – 800 °C | 5%CCA | - | Incrementa en un 5% |
| 34 | (Ulate, 2017) | Suelos diversos | - | - | - | Revisión |
| 35 | (Adedokun & Oluremi, 2019) | Suelos lateríticos | 800°C | - | - | Revisión |

CONCLUSIONES

El presente artículo se basó en recopilar la información necesaria que está relacionada con las variables de estudio como suelos y estabilización, obteniendo así, un mejoramiento de suelos en pavimentos durante el periodo del 2016 al 2021, con una revisión de 35 investigaciones en revistas. Esta investigación permitió obtener las propiedades del suelo de estudio en las revistas que fueron seleccionadas para el estudio. Asimismo, permitió obtener mejores propiedades mecánicas de los diversos tipos de suelo, teniendo un efecto distinto en cada muestra.

Se verificó que, esta revisión literaria está conformada por varios resultados interpretados en cuanto a sus propiedades del suelo, con el fin de mejorarlo mediante la adición de un residuo como la ceniza de cascarilla de arroz. Esta propuesta se convertirá como guía esencial a futuros investigaciones que consignent el mismo tipo de investigación dentro del periodo de estudio delimitado. Finalmente, esta propuesta de recopilación permite tener una orientación más detallada del comportamiento de los suelos estabilizados, conforme a sus resistencias, y así su influencia económica que presenta una

estabilización convencional con aditivos, que resulta más costoso, frente a la propuesta de estabilización con cenizas de cascarilla de arroz.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco principalmente a Dios, nuestro Señor Jesucristo, a mis padres, a nuestro asesor Ing. Pedro Sócrates Muñoz Pérez por ser piezas fundamentales para el desarrollo de la presente propuesta.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adedokun, S., & Oluremi, J. (2019). A review of the stabilization of lateritic soils with some agricultural waste products. *International Journal of Engineering*, 63- 74.
- Alarcón, J., Jiménez, M., & Benítez, R. (2020). Estabilización de suelos mediante el uso de lodos aceitoso. *Revista Ingeniería de Construcción*, 35(1).

- doi:<http://dx.doi.org/10.4067/S0718-50732020000100005>
- Anjani, Y., Kumar, R., & Kishor, S. S. (2017). Stabilization of alluvial soil for subgrade using rice husk ash, sugarcane bagasse ash and cow dung ash for rural roads. *Materials today: Proceedings*, 10, 254- 261.
- Ansu, R., Tripathi, L., & Yadu, K. (2018). A Laboratory Investigation of Soil Stabilization Using Enzyme and Alkali- Activated Ground Granulated Blast- Furnace Slag. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 5193–5202.
- Aquino, J., Herrera, M., Gamaier, N., & Cachaca, S. (2021). Physical-mechanical assessment for soil-cement blocks including rice husk ash. *Estudios de caso en materiales de construcción*, 14.
- Arrieta, J., Dos Santos, R., Da Silva, É., & Lundgren, J. (2020). Sustainable Use of Recycled- Gass Powder in Soil Stabilization. *Revista American Society of Civil Engineers*, 32(5). doi:[10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0003081](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0003081)
- Ashango, A., & Ranjan, N. (2016). Behavior of Expansive Soil Treated with Steel Slag, Rice Husk Ash, and Lime. *Revista de Materiales en Ingeniería Civil*, 28(7). doi:[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0001547](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0001547)
- Azizan, F., Marhami, N., Rahman, Z., Arshad, A., & Azhar, I. (2020). Evaluación del uso de residuos de baldosas en la estabilización de capa de subrasante con arroz cáscara ceniza como agente activador. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 476(1). doi:<https://doi.org/10.1088/1755-1315/476/1/012042>
- Bada, D. (2016). Aplicación del aditivo químico Conaid para atenuar la plasticidad del material granular del tramo de la carretera tauca - bambas (km73 + 514 - km132 + 537) de la ruta nacional pe - 3na. Universidad Privada Antenor Orrego, Trujillo.
- Behak, L., & Peres, W. (2016). Effect of burning temperature on alkaline reactivity of rice husk ash with lime. *Road Materials and Pavement Design*, 14(3), 570-585. doi:[10.1080/14680629.2013.779305](https://doi.org/10.1080/14680629.2013.779305)
- Beibei, Z., & Xiaopeng, C. (2017). Effect of Nano-Carbon on Water Holding Capacity in a Sandy Soil of the Loess Plateau. *Earth Sciences Research Journal*, 21(4), 189-195.
- Bernal, A., Hernández, A., Mesa, M., Rodríguez, O., Gonzáles, P., & Reyes, R. (2015). Características de los suelos y sus factores limitantes de la región de murgas, provincia La Habana. *Revista Cultivos Tropicales*, 36(2).
- Brahmachary, T., Ahsan, M., & Rokonzaman, M. (2019). Impact of rice husk ash (RHA) and nylon fiber on the bearing capacity of organic soil. *SN Applied Sciences*, 1(3). doi:<https://doi.org/10.1007/s42452-019-0275-0>
- Chhokar, S., & Sonthwal, V. K. (2020). Soil stabilization of clayey soil using rice husk ash. *International Journal of Creative Research Thoughts*, 901-903.

- Chijioke, C., & Donald, C. (2019). Emerging trends in expansive soil stabilisation: A review. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 22(3), 423-440. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2018.08.013>
- Dávalos, J., Bonilla, A., Villaquiran, M., Gutierrez, R., & Rincón, J. (2020). Preparation of glass-ceramic materials from coal ash and rice husk ash: Microstructural, physical and mechanical properties. *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*, 17. doi:<https://doi.org/10.1016/j.bsecv.2020.02.002>
- Faray, I., & Rahay, W. (2020). Durability and strength improvement of clayshale using various stabilized materials. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. doi:10.1088/1755-1315/426/1/012028
- Fattah, M., Rahil, F., & Al-Soudany, K. (2017). Improvement of Clayey Soil Characteristics Using Rice Husk Ash. *Journal of Civil Engineering and Urbanism*, 3(1), 12-18.
- Gupta, D., & Kumar, A. (2017). Performance evaluation of cement-stabilized pond ash-rice husk ash-clay mixture as a highway construction material. *Revista de mecánica de rocas e ingeniería geotécnica*, 9(1), 159-169. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2016.05.010>
- Higuera, C., Gómez, J., & Pardo, O. (2016). Caracterización de un suelo arcilloso tratado con hidróxido de calcio. *Revista Facultad de Ingeniería, UP*, 21(32), 21-40.
- Hu, L., He, Z., & Zhang, S. (2020). Sustainable use of rice husk ash in cement-based materials: Environmental evaluation and performance improvement. *Journal of Cleaner Production*, 264. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121744>
- Jafer, H., Majeed, Z., & Dulaimi, A. (2020). Incorporación de dos materiales de desecho para su uso en la estabilización de suelos de grano fino. *Revista de ingeniería civil*, 6(6), 1114-1123. doi:<https://doi.org/10.28991/cej-2020-03091533>
- Jaiswal, M., & L. B. (2016). Impact of rice husk ash on soil stability (including micro level investigation). *Indian Journal of Science and Technology*, 9(30). doi:<https://doi.org/10.17485/ijst/2016/v9i30/99189>
- Jittin, V., Bahurudeen, A., & Ajinkya, D. (2020). Utilisation of rice husk ash for cleaner production of different construction products. *Journal of Cleaner Production*, 263(1). doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121578>
- Lakshmi, M., Geetha, S., Selvakumar, M., & Divya, K. (2021). Strength enhancement of Clayey Sand subgrade using lime and rice husk ash. *Materials today: Proceedings*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.01.039>
- Liu, J., Bai, Y., Song, Z., Prasanna, D., Wang, Y., Bu, F., . . . Xiao. (2020). Stabilization of sand using different types of short fibers and organic polymer. *Construction and Building Materials*, 119-164.

- doi:<https://doi.org/10.1016/j.conbuil-dmat.2020.119164>
- Liu, Y., Su, Y., Namdar, A., Zhou, G., & She, Y. (2019). Utilization of Cementitious Material from Residual Rice Husk Ash and Lime in Stabilization of Expansive Soil. *Advances in Civil Engineering*. Obtenido de 10.1155/2019/5205276
- Ma, J., Su, Y., Liu, Y., & Tao, X. (2020). Strength and Microfabric of Expansive Soil Improved with Rice Husk Ash and Lime. *Advances in Civil Engineering*. doi:10.1155/2020/9646205
- Malik, M., & Tangri, A. (2020). Soil stabilization using Lime & RICE HUSK ASH. *Journal of Green Engineering*, 10(10), 8075-8082.
- Manoochehr, F., Mohammad, T., & Mohammad, T. (2019). Effect of Lime and Rice Husk Ash on Horizontal Saturated Hydraulic Conductivity of Sandy Loam Soils. *Geotechnical and Geological Engineering*, 38(1), 2027-2037. doi:<https://doi.org/10.1007/s10706-019-01146>
- Mittal, A. (2021). Effect of rice husk ash and stone dust on selecting engineering properties of poor subgrade soil. *Jordan Journal of Civil Engineering*, 15(1), 133-141.
- Mohd, R. J., Malik, I., & Tangri, A. (2020). Influence of Lime, Rice Husk Ash and Coconut Fibre on Strength Properties of Subgrade. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*, 9(8), 767-772.
- Montejo, R., Raymundo, J., & Chávez, J. (2020). Materiales alternativos para estabilizar suelos: el uso de ceniza de cáscara de arroz en vías de bajo tránsito de Piura. *Latindex*.
- Morais, M., Pereira, L., Souza, A., & Cardoso, D. (2017). *Revista Materia*. Effect of rice husk ash on plasticity and compaction parameters of a soil-lime mixture, 22(3). doi:<https://doi.org/10.1590/S1517-707620170003.0209>
- Phai, H., & Eisazadeh, A. (2019). Compaction Properties of Rice Husk Ash-Lime-Bangkok Clay Mixtures. *Key Engineering Materials*. doi:10.1155/2019/5205276
- Quispe, I., Navia, R., & Ramzy, K. (2019). Life Cycle Assessment of rice husk as an energy source. A Peruvian case study. *Journal of Cleaner Production*, 209(1), 1235-1244. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.10.312>
- Sánchez, D., Vargas, M., Ortega, R., & Piñeros, Y. (2018). Extracción y encapsulación de compuestos fenólicos provenientes de cascarilla de arroz. *Revista Colombiana Ciencias Química y Tecnológica*, 47(3), 410-423. doi:<http://dx.doi.org/10.15446/rcciquifa.v47n3.77373>
- Sani, J., Yohanna, P., & Chukwujama, I. (2020). Effect of rice husk ash admixed with treated sisal fibre on properties of lateritic soil as a road construction material. *Journal of King Saud University - Engineering Sciences*, 32(1), 11-18. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jksues.2018.11.001>
- Sarapu, D. (2017). Potentials of rice husk ash for soil stabilization. *Journal of*

- Environmental Research and Development, 5(3).
- Sharma, A. (2020). Only Bearing capacity of sand admixed pond ash reinforced with natural fiber. *Journal of Natural Fibers*.
- Sharma, K., & Kumar, A. (2021). Influence of rice husk ash, lime and cement on compaction and strength properties of copper slag. *Transportation Geotechnics*, 27. doi:<https://doi.org/10.1016/j.trgeo.2020.100464>
- Syahida, Z., Farhayu, N., Syed, S., & Shukor, N. (2021). Review paper: Performance of rice husk ash as a material for partial cement replacement in concrete. *Materials today: proceedings*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.02.400>
- Tiwari, R., Kumar, A., & Umang, Y. (2020). Soil stabilisation using rice husk and lime sludge. *International Journal of Engineering Development and Research*, 8(2).
- Ulate, A. (2017). Estabilización de suelos y materiales granulares en caminos de bajo volumen de tránsito, empleando productos no tradicionales. *Revista PITRA-LanammeUCR*, 8(2).
- Verma, S., Sagar, V., & Mittal, A. (2020). Stabilization of colluvial soil using rice husk ash and micro silica powder. *Materials today: Proceedings*, 32(4), 819-823. doi:<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.04.019>
- Vinh, P., & Viet, T. (2020). Rice husk ash burnt in simple conditions for soil stabilization. *Geotechnics for Sustainable Infrastructure Development*, 62.
- Widjajakusuma, J., & Winata, H. (2017). Influence of Rice Husk Ash and Clay in Stabilization of Silty Soils Using Cement. *EDP Sciences*, 138. doi:[10.1051/mateconf/20171380404](https://doi.org/10.1051/mateconf/20171380404)
- Yadav, R., Kumar, V., & Prakash, S. (2021). Eggshell and rice husk ash utilization as reinforcement in development of composite material: A review. *Materials today: Proceedings*, 43(1), 426-433. doi:<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.11.717>
- Yuyi, L., Che-Way, C., Abdoullah, N., Yue xin, S., Chen-Hua, L., Xiang, Y., & Qin, Y. (2019). Stabilization of expansive soil using cementing material from rice husk ash and calcium carbide residue. *Construction and building materials*, 1-11. doi:<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.05.157>
- Zhu, H., Zhai, M., Liang, G., Li, H., Wu, Q., Zhang, C., & Hua, S. (2021). Experimental study on the freezing resistance and microstructure of alkali-activated slag in the presence of rice husk ash. *Journal of Building Engineering*, 38(1), 102-173. doi:<https://doi.org/10.1016/j.job.2021.102173>