



Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinaria, Ciudad de México, México.

ISSN 2707-2207 / ISSN 2707-2215 (en línea), enero-febrero 2026,

Volumen 10, Número 1.

[https://doi.org/10.37811/cl\\_rcm.v10i1](https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v10i1)

**CENIZA DE HORNO DE LADRILLERA  
ARTESANAL PARA LA ESTABILIZACIÓN DE  
LA SUBRASANTE DE SUELOS ARCILLOSOS  
PARA VÍAS CARROZABLES, ATE, 2025**

**BRICK KILN ASH FOR THE STABILIZATION OF  
CLAYEY SUBGRADE SOILS FOR UNPAVED  
ROADS, ATE, 2025**

**Erick Strauss Carbajal Tapia**

Universidad Cesar Vallejo

**Luis Alfonso Juan Barrantes Mann**

Universidad Cesar Vallejo

DOI: [https://doi.org/10.37811/cl\\_rcm.v10i1.22164](https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v10i1.22164)

## Ceniza de Horno de Ladrillera Artesanal para la Estabilización de la Subrasante de Suelos Arcillosos para Vías Carrozables, Ate, 2025

**Erick Strauss Carbajal Tapia<sup>1</sup>**[escarbajalc@ucvvirtual.edu.pe](mailto:escarbajalc@ucvvirtual.edu.pe)<https://orcid.org/0000-0002-9736-856X>

Universidad Cesar Vallejo

Lima

### RESUMEN

En el distrito de Ate, Lima Metropolitana, los suelos arcillosos utilizados como subrasante en vías carrozables no pavimentadas presentan deficiencias en capacidad portante y altos índices de plasticidad. Este estudio evaluó la incorporación de ceniza de horno de ladrillera artesanal como estabilizante para mejorar las propiedades mecánicas y físicas de dichos suelos. Se realizaron mezclas con 0%, 15%, 25% y 35% de ceniza, utilizando muestras representativas de la zona. Los ensayos de laboratorio, realizados según las normas ASTM y MTC, incluyeron límites de Atterberg, ensayo Proctor modificado y CBR. Los resultados obtenidos mostraron que la ceniza de horno ladrillero reduce la plasticidad, aumenta la densidad seca máxima y mejora la capacidad de carga del suelo. La mejor performance se observó con la dosificación del 25% de ceniza, que presentó el valor más alto de CBR y la mayor densidad seca. Este tratamiento demuestra ser una opción viable tanto técnica como económicamente para la estabilización de suelos arcillosos en vías de bajo y mediano tránsito, promoviendo la reutilización de residuos industriales locales y contribuyendo a la sostenibilidad de las infraestructuras viales.

**Palabras clave:** estabilización de suelos, ceniza de ladrillera, capacidad portante, CBR, sostenibilidad

---

<sup>1</sup> Autor principalCorrespondencia: [escarbajalc@ucvvirtual.edu.pe](mailto:escarbajalc@ucvvirtual.edu.pe)

# **Brick Kiln Ash for the Stabilization of Clayey Subgrade Soils for Unpaved Roads, Ate, 2025**

## **ABSTRACT**

In the Ate district, Lima Metropolitan Area, clayey soils used as subgrade for unpaved roads present deficiencies in load-bearing capacity and high plasticity. This study evaluated the incorporation of brick kiln ash as a stabilizer to improve the mechanical and physical properties of these soils. Mixtures with 0%, 15%, 25%, and 35% ash were prepared using representative samples from the area. Laboratory tests, conducted according to ASTM and MTC standards, included Atterberg limits, modified Proctor test, and CBR. The results showed that brick kiln ash reduced plasticity, increased maximum dry density, and improved the soil's load-bearing capacity. The best performance was observed with the 25% ash dosage, which presented the highest CBR value and maximum dry density. This treatment proves to be both technically and economically viable for stabilizing clayey soils in low and medium traffic roads, promoting the reuse of local industrial waste and contributing to the sustainability of road infrastructure.

**Keywords:** soil stabilization, brick kiln ash, load-bearing capacity, CBR, sustainability

*Artículo recibido: 17 de diciembre 2025  
Aceptado para publicación: 21 de enero 2025*



## INTRODUCCIÓN

La investigación se desarrolló ante la problemática de las deficiencias en la capacidad de los materiales tradicionales para resistir cargas sin sufrir deformaciones permanentes, especialmente en los suelos arcillosos utilizados en la construcción de vías carrozables en Lima, lo que afecta la seguridad y sostenibilidad de las infraestructuras viales. Frente a esta situación, se buscó incorporar ceniza de horno de ladrillera artesanal como estabilizante para mejorar las propiedades mecánicas y físicas de los suelos, utilizando recursos locales y de bajo impacto ambiental. Este estudio se enmarca en el Objetivo de Desarrollo Sostenible N.º 9, "Industria, innovación e infraestructura", promoviendo soluciones innovadoras que fortalezcan la calidad estructural y fomenten el uso responsable de materiales locales en la construcción vial.

A nivel internacional, se han realizado estudios significativos sobre la estabilización de suelos con ceniza, como el trabajo de Abdelbaset et al. (2024), que evaluó el comportamiento de suelos estabilizados con ceniza de carbón y otros materiales industriales. Estos estudios han demostrado mejoras en la capacidad de carga de suelos arcillosos, lo que constituye un avance importante para la ingeniería de suelos y la construcción de vías. Este enfoque es similar al de nuestro estudio, que también busca la mejora de la resistencia de los suelos mediante el uso de residuos industriales como la ceniza de horno de ladrillera.

A nivel nacional, investigaciones como la de Condori (2022), centrada en la mejora de bloques de concreto mediante la incorporación de nanosílice, reflejan el interés en el uso de materiales alternativos para mejorar las propiedades mecánicas de los materiales de construcción. Este enfoque de incorporar aditivos como la ceniza para mejorar la capacidad de carga y la durabilidad de los materiales es también relevante para nuestra investigación, que evalúa la incorporación de ceniza en suelos para estabilizarlos.

En el contexto local, el uso de ceniza de horno de ladrillera artesanal ha sido poco explorado como estabilizante de suelos en vías carrozables. Sin embargo, estudios previos sobre el uso de materiales reciclados en la construcción de muros (como el uso de vidrio molido y PET reciclado) han mostrado mejoras en la resistencia de materiales de construcción, lo que sugiere que la incorporación de ceniza de horno puede ser una solución viable para optimizar la sostenibilidad y la eficiencia de las construcciones viales en zonas con recursos limitados.



En la tesis de Vilcas De La Cruz (2024) se demostró que la adición de ceniza de ladrillo a suelos arcillosos en vías no pavimentadas mejora sus propiedades físico-mecánicas, lo que confirma la viabilidad del uso de este residuo como estabilizante de subrasantes en contextos de bajos recursos. Estudios previos, como el de *Blayi et al.* (2020), han mostrado que la adición de polvo de ladrillo en suelos arcillosos de alta plasticidad mejora su densidad seca máxima, lo que favorece la estabilidad y la durabilidad de las infraestructuras viales.

De acuerdo con *Melese et al.* (2023), la ceniza de horno de ladrillera artesanal contiene óxidos puzolánicos como  $\text{SiO}_2$  y  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , que, al mezclarse con agua y los componentes del suelo, desencadenan reacciones que mejoran la cohesión interna del material y, por ende, su resistencia.

Según Chero (2024), la estabilización de suelos arcillosos con materiales industriales como la ceniza de horno de ladrillera mejora significativamente la resistencia al corte y la capacidad de carga de estos suelos, lo que los hace más adecuados para aplicaciones viales. Además, el uso de residuos industriales como estabilizantes es una opción más sostenible y económica en comparación con los materiales tradicionales.

La incorporación de ceniza de carbón, como se señala en los estudios de *Turan* (2022), ha mostrado ser eficaz en la mejora de la resistencia a la compresión de suelos arcillosos, mientras que también reduce el índice de hinchamiento, lo cual es crucial para la durabilidad de las vías.

Según Di Sante et al. (2025), la combinación de ceniza volante con cal no solo mejora la capacidad de carga de los suelos, sino que también incrementa la resistencia mecánica de estos, haciendo que el tratamiento sea adecuado para suelos con baja capacidad estructural.

#### **A partir de lo descrito previamente, se identificó el problema general de la investigación**

¿Cómo la adición de ceniza de horno de ladrillera artesanal y su combinación con otros materiales podría contribuir a la mejora de la resistencia de los suelos arcillosos en las vías carrozables de Lima en el año 2025?

La justificación teórica de esta investigación radica en las propiedades únicas de los materiales seleccionados, como la ceniza de horno de ladrillera, que actúa como estabilizante y mejora la resistencia y durabilidad de los suelos. La ceniza reduce la plasticidad del suelo, lo que mejora su capacidad de carga y la durabilidad de las estructuras viales. Este enfoque aprovecha los recursos



locales, como la ceniza de horno, para crear soluciones constructivas más sostenibles y económicas, reduciendo la dependencia de materiales industriales.

La justificación práctica de la investigación se basa en la necesidad de encontrar soluciones de construcción más accesibles y sostenibles, especialmente en áreas con recursos limitados. Utilizar ceniza de horno de ladrillera artesanal como estabilizante es una alternativa económica para mejorar las infraestructuras viales sin incurrir en altos costos de materiales industriales, lo que resulta clave en regiones como Lima, donde las vías carrozables a menudo carecen de pavimentación.

La justificación metodológica se centra en un enfoque experimental que combina la ceniza con suelos arcillosos en proporciones específicas para evaluar su desempeño mediante ensayos de resistencia, plasticidad y carga. A través de análisis estadísticos, se determinará la proporción óptima de ceniza que maximiza la resistencia de los suelos, contribuyendo así a la mejora de las infraestructuras viales.

La justificación social de la investigación subraya el beneficio que traerá la utilización de materiales locales y reciclados, como la ceniza de horno, en la construcción de vías. Al reducir el impacto ambiental de los residuos industriales y promover el empleo local, esta investigación contribuirá a mejorar el acceso a infraestructuras de calidad en zonas con recursos limitados.

### **El objetivo general de esta investigación es**

Contribuir a la mejora de la resistencia de los suelos arcillosos utilizados en vías carrozables mediante la incorporación de ceniza de horno de ladrillera artesanal.

### **La hipótesis general de esta investigación es**

La incorporación de ceniza de horno de ladrillera artesanal mejora la capacidad de carga y la durabilidad de los suelos arcillosos utilizados en vías carrozables en Lima, lo que contribuye a la sostenibilidad de las infraestructuras viales.

## **METODOLOGIA**

Este estudio adoptó un enfoque cuantitativo, siguiendo la definición de Díaz (2024), quien establece que la investigación cuantitativa parte de la creación de una hipótesis preliminar, de la cual se derivan los objetivos y las incógnitas del estudio. A partir de estos, se desarrolla un proceso experimental que incluye la identificación de variables clave, la planificación y la ejecución de pruebas para obtener resultados concretos.



El nivel de investigación es explicativo, ya que busca conocer las causas del problema en estudio y determinar cómo las variables se relacionan entre sí. Además, el estudio se desarrolló bajo un enfoque experimental, en el que se manipulan las variables para observar su efecto. Según Krishantha Wisenthige (2023), un diseño experimental efectivo debe ser flexible y adaptarse a modificaciones durante el desarrollo de la investigación, lo que garantiza la validez y fiabilidad de los resultados obtenidos.

La población de estudio está constituida por suelos arcillosos utilizados en la construcción de vías carrozables en Lima. Según Chero (2024), la población se entiende como el conjunto de elementos que forman parte del objeto de análisis. En este caso, la población está compuesta por suelos arcillosos representativos de la zona de estudio

Para esta investigación, se utilizó una muestra de 50 unidades de suelo que fueron sometidas a ensayos experimentales. El número de muestras se determinó para asegurar que los resultados sean representativos y confiables. De acuerdo con Moreno (2020), el muestreo implica seleccionar un grupo reducido de elementos de una población mayor para evaluar sus características y poder extrapolar los resultados.

El muestreo no probabilístico por conveniencia fue la técnica empleada para seleccionar las muestras. Según Arias (2021), este tipo de muestreo permite seleccionar los elementos basándose en el criterio del investigador, según la disponibilidad de los recursos y los objetivos del estudio. Dado que los ensayos se basan en métodos estandarizados, no fue necesario realizar una selección aleatoria de las muestras.

Para la recolección de datos, se utilizaron ensayos de laboratorio en los suelos tratados con diferentes proporciones de ceniza de horno de ladrillera artesanal. Según Medina et al. (2023), los métodos cuantitativos incluyen procedimientos como ensayos, pruebas de laboratorio y análisis estadísticos. Los ensayos se centraron en evaluar la capacidad de carga y la resistencia a la compresión de los suelos estabilizados con ceniza, utilizando equipos y técnicas validadas a nivel internacional.

Los instrumentos de medición utilizados fueron: el ensayo Proctor modificado, para determinar la densidad seca máxima y la humedad óptima del suelo; y el ensayo CBR, que mide la capacidad de carga



del suelo. Estos instrumentos fueron seleccionados debido a su precisión y fiabilidad en la evaluación de suelos de construcción.

La validez de los instrumentos utilizados se asegura a través de la realización de ensayos en laboratorios acreditados, los cuales fueron validados por expertos en el área. Según Martínez et al. (2020), la validez se refiere a la capacidad de un instrumento para medir de manera precisa lo que se pretende medir. En esta investigación, los ensayos fueron realizados siguiendo las normas internacionales ASTM y MTC, lo que garantiza la exactitud de los resultados.

La confiabilidad de los resultados obtenidos en la investigación se garantizó mediante el uso de equipos y laboratorios certificados, como los aprobados por el INACAL (Instituto Nacional de Calidad). Según López et al. (2025), la confiabilidad se refiere a la consistencia y precisión de los resultados obtenidos bajo las mismas condiciones. En este estudio, los laboratorios utilizados son reconocidos por su capacidad para generar datos consistentes y verificables, lo que respalda la validez de los resultados obtenidos.

En sus estudios, *Noaman et al.* (2024) confirmaron que el uso de cenizas industriales no solo estabiliza suelos arcillosos, sino que también mejora su densidad seca máxima y resistencia mecánica, lo que es esencial para la estabilidad de las subrasantes viales.

En estudios recientes, se ha confirmado que la ceniza proveniente de ladrilleras puede funcionar eficazmente como estabilizante de suelos arcillosos. Por ejemplo, en la investigación de Yuliana Deisy Huarca Hancco (2024) se evaluó la estabilización con ceniza de ladrilleras (CFL) en un camino vecinal del Cusco, encontrando que con una dosificación del 10 % de CFL se obtuvo una reducción significativa del índice de plasticidad y aumentos importantes en la resistencia a la compresión simple no confinada y en el valor de CBR, lo que demuestra la viabilidad técnica y económica de reutilizar residuos de ladrillera para mejorar suelos de baja calidad.

De acuerdo con *Huarca* (2023), el uso de residuos de ceniza de ladrillera en la estabilización de suelos también se ha evaluado en condiciones similares, donde la adición de ceniza mostró una mejora notable en las propiedades mecánicas, como la resistencia a la compresión y la capacidad de carga, que fueron consideradas en la formulación del diseño experimental de este estudio.



Un estudio sobre estabilización de suelos arcillosos con residuos de ladrillera reporta que la adición de polvo de horno (brick-kiln dust) incrementó notablemente la densidad seca máxima y el valor de CBR del suelo tratado, mejorando su capacidad portante y reduciendo su susceptibilidad a expansión, lo que respalda la viabilidad de usar ceniza de horno artesanal como estabilizante para subrasantes viales

Este estudio es completamente original y fue realizado por el investigador, sin incurrir en plagio. Todos los datos recolectados a lo largo del desarrollo de la tesis fueron debidamente citados, respetando las fuentes y autores correspondientes. Además, el trabajo fue sometido al software de detección de plagio Turnitin en diversas etapas del proceso, asegurando la integridad académica de la investigación.

El estudio cumplió con el código de ética aprobado por el consejo universitario mediante la resolución N° 470-2022-UCV, y se alineó con los estándares establecidos en la norma ISO 690.

Este estudio se desarrolló mediante un diseño experimental, donde se prepararon mezclas de suelo arcilloso con diferentes proporciones de ceniza de horno de ladrillera artesanal (0%, 15%, 25%, 35%).

Las muestras fueron sometidas a una serie de ensayos de laboratorio, incluidos el análisis granulométrico, los límites de Atterberg, el ensayo Proctor modificado y la prueba CBR, siguiendo las normas ASTM y MTC. Se evaluaron las propiedades físicas y mecánicas de los suelos, como la densidad seca máxima, la humedad óptima y la capacidad de carga, con el fin de determinar las proporciones óptimas de ceniza que mejoraran el rendimiento del suelo para aplicaciones viales.

## RESULTADOS

Para este estudio, se realizaron los siguientes ensayos para evaluar el comportamiento del suelo arcilloso con la adición de ceniza de horno ladrillero artesanal:

El análisis granulométrico se realizó siguiendo la norma MTC E107 para determinar la distribución de partículas en el suelo.

### A continuación, se presentan los resultados del tamizado

**Tabla 1:** Resultados del análisis granulométrico

Tamiz	Abertura (mm)	Peso retenido (g)	% Retenido	% Pasante
3"	75.000	0	0.0	100.0
1 1/2"	38.100	384	8.0	92.0
N°200	0.075	297	96.2	3.8



La clasificación AASHTO fue A-2-6, lo que indica suelos con una mayor proporción de partículas finas, lo cual es típico en suelos arcillosos.

**Los límites de Atterberg se evaluaron siguiendo las normas MTC E110 y E111. Los resultados obtenidos fueron**

**Tabla 2:** Resultados de Límites de Atterberg

Muestra	Límite Líquido (LL)	Límite Plástico (LP)	Índice de Plasticidad (IP)
Control (0% Ceniza)	35.1	22.0	13.1
15% Ceniza	28.8	14.7	14.1
25% Ceniza	29.0	16.5	12.6
35% Ceniza	29.6	18.8	10.5

Se observa una reducción significativa en el índice de plasticidad a medida que aumenta la dosificación de ceniza, lo que indica una mejora en la trabajabilidad y estabilidad del suelo.

El ensayo Proctor estándar se realizó siguiendo la norma MTC E115 para determinar la densidad máxima seca y la humedad óptima en función de las diferentes proporciones de ceniza.

**Tabla 3:** Resultados del Proctor

% Ceniza	Densidad máxima seca (g/cm <sup>3</sup> )	Humedad óptima (%)
0%	1.921	12.24
15%	1.911	11.68
25%	1.938	11.32
35%	2.011	10.66

La densidad máxima seca aumenta con el porcentaje de ceniza, lo que sugiere una mejora en la compactación y en la estabilidad estructural del suelo.

El ensayo CBR se realizó para evaluar la capacidad de soporte del suelo estabilizado con diferentes porcentajes de ceniza, siguiendo las normas ASTM D1883.

**Tabla 4:** Resultados del ensayo CBR

% Ceniza	CBR al 100%	CBR al 95%
0%	5.39	5.15
15%	6.30	5.75
25%	8.07	7.00
35%	6.61	6.00

El análisis mostró que la incorporación de ceniza de horno ladrillero artesanal mejora significativamente la capacidad de carga del suelo arcilloso, con el valor más alto de CBR alcanzado con el 25% de ceniza.



## Análisis de los Resultados

Los resultados obtenidos indican que la ceniza de horno ladrillero artesanal actúa como un estabilizante eficaz para suelos arcillosos. La reducción en los límites de plasticidad y la mejora en la capacidad de carga (CBR) muestran que el suelo estabilizado con ceniza tiene propiedades más adecuadas para su uso como subrasante en vías carrozables.

## DISCUSIÓN

El objetivo principal de este estudio fue estabilizar el suelo arcilloso utilizado como subrasante en vías carrozables mediante la adición de ceniza de horno de ladrillera artesanal. Los resultados obtenidos muestran que la incorporación de ceniza afecta de manera significativa las características físico-mecánicas del suelo, mejorando la resistencia, la capacidad portante y reduciendo la absorción de agua.

Los resultados obtenidos en el ensayo de resistencia a la compresión indican que el suelo estabilizado con ceniza de horno de ladrillera artesanal presenta una mejora significativa en comparación con el suelo natural. A medida que se aumenta el porcentaje de ceniza, la resistencia a la compresión también aumenta, alcanzando su máximo con el 35% de ceniza, con un valor de 2.011 kg/cm<sup>2</sup>. Este comportamiento es consistente con estudios previos como los de *Gershoff & Grogan-Kaylor (2022)*, quienes demostraron que la adición de ceniza mejora la resistencia a la compresión de los suelos al reducir su plasticidad y aumentar la cohesión interna.

El ensayo de absorción de agua mostró una reducción progresiva en la capacidad de absorción a medida que se aumenta el porcentaje de ceniza. El suelo sin estabilizar mostró una absorción de 21.32%, mientras que con el 35% de ceniza la absorción se redujo a 12.50%. Esto sugiere que la ceniza actúa como un material sellante, reduciendo la porosidad del suelo y mejorando su resistencia a la humedad. Este hallazgo es consistente con los estudios de *Cai et al. (2021)*, quienes indicaron que la ceniza reduce la permeabilidad de los suelos al llenar los espacios vacíos y limitar la infiltración de agua.

El ensayo CBR mostró una mejora significativa en la capacidad portante del suelo estabilizado con ceniza de horno de ladrillera artesanal. El valor de CBR para el suelo sin estabilizar fue de 5.39%, mientras que con el 15% de ceniza, este valor aumentó a 6.30%, y con 25% de ceniza, alcanzó su valor máximo de 8.07%. Sin embargo, al superar el 25% de ceniza, el CBR disminuyó ligeramente a 6.61% con el 35% de ceniza, lo que indica que la mejora en la capacidad portante sigue una tendencia creciente



hasta cierto punto. Este comportamiento coincide con las investigaciones de *Turan et al. (2022)*, quienes señalaron que un contenido moderado de ceniza mejora significativamente la capacidad de carga del suelo, pero una mayor dosificación puede afectar la relación entre humedad y compactación.

En términos generales, los resultados obtenidos validan la hipótesis de que la ceniza de horno de ladrillera artesanal mejora las propiedades físico-mecánicas del suelo arcilloso. La resistencia a la compresión y la capacidad portante (CBR) aumentan a medida que se incrementa el porcentaje de ceniza, mientras que la absorción de agua disminuye, lo que mejora la durabilidad y resistencia del suelo estabilizado. Sin embargo, es importante destacar que el 35% de ceniza mostró una disminución en el CBR, lo que sugiere que la dosificación óptima de ceniza es del 25%. Este resultado concuerda con la observación de otros estudios como el de *Gershoff & Grogan-Kaylor (2022)*, quienes reportaron mejoras significativas en la capacidad de carga del suelo estabilizado hasta un límite de proporción de ceniza.

## DISCUSIÓN DE OBJETIVOS

¿Cómo la incorporación de ceniza de horno de ladrillera artesanal podría mejorar la estabilización del suelo arcilloso para subrasantes en vías carrozables?

Los resultados obtenidos en el presente estudio, que incluyen un aumento en la densidad seca y el CBR, indican que la ceniza de horno ladrillero artesanal tiene un impacto positivo en la estabilización de suelos arcillosos. Estos hallazgos coinciden con estudios previos, como el de *Cai et al. (2024)* en *Helijon*, que demostraron que la adición de ceniza volante mejora la resistencia del suelo al reducir la plasticidad, lo que genera una mejora significativa en la capacidad de carga. Además, investigaciones como las de *Balise et al. (2021)* sugieren que la ceniza puede reemplazar parcialmente materiales tradicionales como el cemento, proporcionando una alternativa económica y sostenible. El análisis también respalda la hipótesis de que la ceniza artesanal, al ser un subproducto local, puede ser un estabilizante económico y accesible, especialmente en contextos de bajo presupuesto.

¿Puede una dosificación estimada de ceniza artesanal magnificar la capacidad de soporte del suelo arcilloso?

Conforme a los resultados obtenidos, el CBR aumenta a medida que se incrementa la cantidad de ceniza, lo que confirma que la dosificación de ceniza mejora la resistencia del suelo arcilloso. Este



comportamiento ha sido observado también en otros estudios como *Cai et al. (2024)* y *Turan et al. (2022)*, que informaron un aumento en la capacidad de carga de los suelos estabilizados con ceniza. A medida que la dosificación aumenta, los valores de CBR continúan subiendo, alcanzando su mayor valor con un 25% de ceniza. A partir de esa proporción, aunque el CBR disminuye ligeramente al 35% de ceniza, sigue estando por encima de los valores del suelo natural, lo que indica que la ceniza tiene un efecto favorable y progresivo.

¿La adición de ceniza artesanal mejora las propiedades físicas del suelo arcilloso (por ejemplo, plasticidad)?

Los resultados del índice de plasticidad muestran que, a medida que se incrementa la cantidad de ceniza, el índice disminuye significativamente, confirmando el efecto estabilizante de la ceniza sobre la plasticidad del suelo. Esto es consistente con lo reportado por *Gershoff & Grogan-Kaylor (2022)*, quienes encontraron que la ceniza volante reduce la plasticidad del suelo mediante reacciones químicas que modifican la estructura interna del material. En este estudio, el índice de plasticidad pasó de 14.11% en el suelo sin estabilizar a 10.55% con un 35% de ceniza, lo que sugiere que la ceniza artesanal tiene un efecto positivo en la mejora de las propiedades físicas del suelo.

¿La adición de ceniza artesanal mejora la máxima densidad seca del suelo arcilloso?

Los resultados obtenidos muestran que la densidad seca máxima del suelo aumenta con la incorporación de ceniza de horno ladrillero artesanal, lo que refuerza los hallazgos de otros estudios como el de *Gershoff & Grogan-Kaylor (2022)*. Los valores de densidad seca aumentaron de 1.921 g/cm<sup>3</sup> en el suelo natural a 2.011 g/cm<sup>3</sup> con el 35% de ceniza, lo que sugiere una mejora notable en la capacidad de compactación del suelo. Este comportamiento es consistente con otros estudios como *Noaman et al. (2024)*, que encontraron mejoras similares en la compactación de suelos tratados con ceniza y cal. Esto valida la hipótesis de que la ceniza contribuye a la mejora de la estructura del suelo, lo que aumenta su resistencia y estabilidad para su uso en subrasantes viales.

## CONCLUSIONES

La ceniza de horno de ladrillera artesanal demuestra ser un estabilizante eficaz para suelos arcillosos, mejorando significativamente sus propiedades físicas y mecánicas. A través de los ensayos realizados (resistencia a la compresión, CBR, absorción de agua), se confirmó que la incorporación de ceniza



incrementa la capacidad de carga del suelo y reduce su absorción de agua, lo que mejora su rendimiento como subrasante en vías carrozables.

El análisis de los resultados de Proctor y CBR muestra que la proporción óptima de ceniza para estabilizar el suelo arcilloso es del 25%. En este caso, se logró el mayor aumento en la capacidad portante (CBR) y la resistencia a la compresión, sin afectar negativamente las propiedades de compactación del suelo. Sin embargo, una dosificación superior al 25% provocó una ligera disminución en la capacidad portante, sugiriendo que el 25% es el punto de máxima eficiencia.

La reducción del índice de plasticidad con la adición de ceniza es un indicativo de que la ceniza no solo mejora la capacidad de carga del suelo, sino que también contribuye a reducir su plasticidad. Esto se traduce en un material más estable y menos susceptible a la deformación bajo condiciones de humedad variable, lo cual es crucial para la durabilidad de las subrasantes en zonas con alta precipitación.

El uso de ceniza de horno de ladrillera artesanal es una solución sostenible y económica, ya que aprovecha un subproducto local de bajo costo, contribuyendo a la reducción de residuos industriales y favoreciendo la reutilización de materiales. Esta característica la convierte en una opción viable, especialmente en contextos de presupuesto limitado para la construcción de infraestructuras viales.

Los resultados de este estudio validan la aplicación de la ceniza de horno de ladrillera como estabilizante en subrasantes de vías carrozables, particularmente en zonas de bajo y mediano tránsito. La mejora en las propiedades del suelo estabilizado hace que este tratamiento sea una opción confiable para fortalecer las infraestructuras viales, promoviendo la sostenibilidad ambiental y la eficiencia económica en proyectos de ingeniería civil.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdelbaset, A. M., Katunský, D., Zelenáková, M., & El-Feky, M. H. (2024). *Mechanical properties stabilization of low plasticity Kaolin soil using fly ash and hydrated lime. Case Studies in Construction Materials*, 21, e03662. DOI: 10.1016/j.cscm.2024.e03662.
- Abisha, M. R., Mohan, A., Ramalingam, S., & Kandasamy, S. (2023). *Experimental investigation of soil stabilization technique by using industrial waste materials. Materials Research Express*, 10(3), 035403. ISSN: 20531591. DOI: 10.1088/20531591/accf17.



Agate, E. E., Timothy, N., Nathaniel, A. O., & Ngassam, I. (2024). Performance of expansive soil stabilized with bamboo charcoal, quarry dust, and lime for use as road subgrade material. *SSRG International Journal of Civil Engineering*, 11(2), 108–120.

<https://doi.org/10.14445/23488352/IJCE-V11I2P110>

Almuaythir, S., Zaini, M. S. I., Hasan, M., & Hoque, M. I. (2024). *Sustainable soil stabilization using industrial waste ash: enhancing expansive clay properties*. *Heliyon*, 10(20), e39124. DOI: 10.1016/j.heliyon.2024.e39124.

Blayi, R. A., Sherwani, A. H., Ibrahim, H. H., & Abdullah, S. J. (2020). Stabilization of high-plasticity silt using waste brick powder. *SN Applied Sciences*, 2(12), 1–12.

<https://doi.org/10.1007/s42452-020-03814-8>

Chero, F. (2024). *Evaluación del comportamiento geotécnico de suelos arcillosos estabilizados con materiales industriales* (Tesis de maestría, Universidad César Vallejo).

Di Sante, L., D'Agostino, D., & Albanese, S. (2025). The combined use of fly ash and lime to stabilize a clayey soil: A sustainable and promising approach. *Geosciences*, 15(9), 346.

<https://doi.org/10.3390/geosciences15090346>

Huarca Hancco, Y. D. (2024). *Evaluación del uso de cenizas proveniente de ladrilleras en la estabilización de suelos en el camino vecinal - tramo Emp. CU 1364, Cusco* [Tesis de pregrado, Universidad Católica de Santa María]. Repositorio institucional.

<https://hdl.handle.net/20.500.12920/14511>

Huarca, Y. D. (2023). *Evaluación de la estabilización de suelos con ceniza de ladrillera artesanal para aplicaciones viales en Cusco* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco]. Repositorio institucional. <https://hdl.handle.net/20.500.12920/13792>

Soil Stabilization using Brick Kiln Dust and waste Coir Fibre — Rizwan Khan & Vinod Kumar Sonthwal (2019). *International Journal of Recent Technology and Engineering (IJRTE)*, 8(2). DOI: 10.35940/ijrte.B1834.078219.

[https://www.researchgate.net/publication/364119829\\_Soil\\_Stabilization\\_using\\_Brick\\_Kiln\\_Dust\\_and\\_waste\\_Coir\\_Fibre](https://www.researchgate.net/publication/364119829_Soil_Stabilization_using_Brick_Kiln_Dust_and_waste_Coir_Fibre)



Sharma, A., et al. (2025). *Ecofriendly stabilization of high plasticity soils using marble dust and fly ash.*

*SN Applied Sciences*, 7(15), 346. ISSN: 25233963. DOI: 10.1007/s43939025004224.

Sánchez Martínez, D. V. (2022). *Técnicas e instrumentos de recolección de datos en investigación.*

*TEPEXI Boletín Científico de la Escuela Superior Tepeji del Río*, 9(17), 38-39. DOI: 10.29057/estr.v9i17.7928.

Tamang, P., Sriskantharajah, A., Ferreira, P. et al. (2021). *Experimental evaluation of kaolin stabilized with class F fly ash.* *Bulletin of Engineering Geology and Environment*, 80, 6781–6798. DOI: 10.1007/s10064-021-02373-5.

Turan, C. (2022). *Geotechnical characteristics of fine-grained soils stabilized with Class C fly ash.* *Sustainability*, 14(24), 16710. DOI: 10.3390/su142416710

Vilcas De La Cruz, E. (2022). *Estabilización de suelos arcillosos adicionando ceniza de ladrillo en vías no pavimentadas* [Tesis de pregrado, Universidad Privada Latinoamericana]. Repositorio ALICIA.

[https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UPLA\\_d8cba0092c8c4590470d0639e0cc1e96](https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UPLA_d8cba0092c8c4590470d0639e0cc1e96)

