



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

**Uso de cenizas volantes y conchas marinas en la estabilización
de suelos de subrasante: Revisión de literatura**

TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE:

Bachiller en Ingeniería Civil

AUTORES:

Principe Lopez, Jhadira Jamileth (orcid.org/0000-0002-9059-8143)

Risco Huaman, Miguel Angel (orcid.org/0000-0003-3575-4681)

ASESOR:

Dr. Farfan Cordova, Marlon Gaston (orcid.org/0000-0001-9295-5557)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Diseño de Infraestructura Vial

LÍNEA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA:

Desarrollo económico, empleo y emprendimiento

TRUJILLO – PERÚ

2024

Declaratoria de autenticidad del asesor



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

Declaratoria de Autenticidad del Asesor

Yo, FARFAN CORDOVA MARLON GASTON, docente de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA CIVIL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - TRUJILLO, asesor de Trabajo de Investigación titulado: "Uso de cenizas volantes y conchas marinas en la estabilización de suelos de subrasante: revisión de literatura", cuyos autores son RISCO HUAMAN MIGUEL ANGEL, PRINCIPE LOPEZ JHADIRA JAMILETH, constato que la investigación tiene un índice de similitud de 12.00%, verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin, el cual ha sido realizado sin filtros, ni exclusiones.

He revisado dicho reporte y concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender el Trabajo de Investigación cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

En tal sentido, asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

TRUJILLO, 04 de Julio del 2024

Apellidos y Nombres del Asesor:	Firma
FARFAN CORDOVA MARLON GASTON DNI: 03371691 ORCID: 0000-0001-9295-5557	Firmado electrónicamente por: MFARFANC el 05-07- 2024 00:23:38

Código documento Trilce: TRI - 0795370



Declaratoria de originalidad los autores



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

Declaratoria de Originalidad de los Autores

Nosotros, RISCO HUAMAN MIGUEL ANGEL, PRINCIPE LOPEZ JHADIRA JAMILETH estudiantes de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA CIVIL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - TRUJILLO, declaramos bajo juramento que todos los datos e información que acompañan el Trabajo de Investigación titulado: "Uso de cenizas volantes y conchas marinas en la estabilización de suelos de subrasante: revisión de literatura", es de nuestra autoría, por lo tanto, declaramos que el Trabajo de Investigación:

1. No ha sido plagiado ni total, ni parcialmente.
2. Hemos mencionado todas las fuentes empleadas, identificando correctamente toda cita textual o de paráfrasis proveniente de otras fuentes.
3. No ha sido publicado, ni presentado anteriormente para la obtención de otro grado académico o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados.

En tal sentido asumimos la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de la información aportada, por lo cual nos sometemos a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

Nombres y Apellidos	Firma
JHADIRA JAMILETH PRINCIPE LOPEZ DNI: 73815668 ORCID: 0000-0002-9059-8143	Firmado electrónicamente por: JPRINCIPELO12 el 04-07-2024 22:32:58
MIGUEL ANGEL RISCO HUAMAN DNI: 72375445 ORCID: 0000-0003-3575-4681	Firmado electrónicamente por: MIHUAMANR el 04-07-2024 22:34:40

Código documento Trilce: TRI - 0795371

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Declaratoria de autenticidad del asesor	ii
Declaratoria de originalidad los autores	iii
Índice de contenidos.....	iv
Resumen	v
Abstract	vi
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. METODOLOGÍA	4
III. RESULTADOS	5
IV. CONCLUSIONES	15
REFERENCIAS.....	16
ANEXOS	23

Resumen

Esta investigación inspecciona y explora el uso de cenizas volantes y conchas marinas en la estabilización de suelos. Se examinaron 40 estudios de los 5 últimos años de distintos países, con Indonesia y Malasia liderando el número de artículos en la investigación; se observó los diferentes tipos de cenizas volantes y conchas marinas con distintas dosificaciones, que permitieron mejorar las propiedades tanto físico como mecánicas del suelo de baja calidad; estas propiedades se lograron tener a partir de 4 ensayos fundamentales como los Límites de Atterberg, Proctor Modificado, CBR y UCS. Estos materiales no solo ayudan a disminuir costos y mejoría de las propiedades del suelo, sino que contribuyen ambientalmente a reducir gases de invernadero, malos olores, y pasar de desecho a algo reutilizable que suma al campo de la ingeniería civil. Este estudio destaca la viabilidad de usar conchas marinas y cenizas volantes como sustituto de otros materiales usados como estabilizadores de suelos con baja calidad.

Palabras clave: Estabilización, cenizas volantes, conchas marinas, mecánicas y físicas.

Abstract

This research surveys and explores the use of fly ash and seashells in soil stabilization. 40 studies from the last 5 years from different countries were examined, with Indonesia and Malaysia leading the number of articles in the research; Different types of fly ash and seashells were observed with different dosages, which allowed improving both the physical and mechanical properties of the low-quality soil; These properties were achieved from 4 fundamental tests such as Atterberg Limits, Modified Proctor, CBR and UCS. These materials not only help reduce costs and improve soil properties, but also contribute environmentally to reducing greenhouse gases, bad odors, and going from waste to something reusable that adds to the field of civil engineering. This study highlights the feasibility of using seashells and fly ash as a substitute for other materials used as soil stabilizers with low quality.

Keywords: Stabilization, fly ash, seashells, mechanics and physics.

I. INTRODUCCIÓN

La red de carreteras y autopistas de un país es un componente esencial para su desarrollo económico y la generación de empleos dignos, al unir diversas regiones y ciudades. Esta unión facilita el movimiento de personas y bienes, impulsando la economía al fomentar el comercio y la inversión. Así, se convierte en un catalizador para el progreso económico, la generación de empleo, y la obtención de un crecimiento sostenible y empleo de calidad. Además, la mejora de suelos para uso de subrasante es crucial en la construcción de carreteras; no solo aporta soporte estructural a las capas superiores del pavimento, sino que también contribuye a la reducción de costos al permitir un diseño de pavimento más eficaz.

En el ámbito internacional, la infraestructura vial que se encuentra en mal estado o se ha diseñado de forma inadecuada es uno de los factores más importantes que contribuyen a provocar accidentes. Mejorarla ha sido el foco de atención de muchas de las operaciones del área de transporte del BID (Yañez 2019). La infraestructura vial en México como en otros países se ve afectada por el alto volumen de tráfico y el gran número de vehículos de carga pesada que circulan por ella. Esto provoca fallas en los pavimentos debido a que los suelos son blandos, arcillosos y tienen un bajo CBR (Hernández et al. 2021). En diferentes oportunidades estos suelos no cuentan con las características ideales para ser utilizados en proyectos del rubro de ingeniería, ya que tienen desgastes, deformaciones, poca resistencia a cargas y a largo plazo se deterioran rápidamente (Delgado y Mormontoy 2021).

En el ámbito nacional, en los últimos años, en el Perú se han presentado diversos fenómenos naturales que han ocasionado daños a las carreteras y dificultado la circulación vehicular, entre otros efectos adversos (García 2020). La variedad de formas del terreno, los diferentes climas y el tráfico en nuestro país, contribuyen a que el deterioro de nuestras carreteras sea más intenso, ya que los pavimentos se ven sometidos a condiciones extremas (Lazo 2023). En relación a las cenizas volantes o conchas marinas, según Mori (2020) la ceniza de hoja de pino y conchas marinas (CM) son sustancias alcalinas que, cuando se agregan a suelos arcillosos, reducen su índice de plasticidad.

Además, se ha demostrado que la adición de patrones de ceniza de hoja de pino y CM en proporciones del 5% y 10%, respectivamente, puede aumentar la resistencia del suelo y el CBR.

Por lo expuesto, es necesario desarrollar procesos que permitan mejorar y volver a los suelos aptos para su respectivo uso, a partir de procesos o tratamientos como “la estabilización de suelos” se obtienen terrenos más estables, resistentes, firmes y fijos con la capacidad de soportar circunstancias más críticas ya sean climáticas, diseño o de tránsito (Parra 2018). Existen diferentes materiales con los cuales se realiza mejoramiento de los suelos para uso de subrasante, por ejemplos las “Cenizas volantes” (CV) y “Conchas marinas” (CM).

Karami et al. (2021) en su estudio, menciona que usando cenizas volantes y cemento, obtuvo mejores características del suelo con una Máxima Densidad Seca (MDS) y reducción de humedad, la MDS aumentó en un 80% su resistencia y redujo 100 mm el espesor de la base; usando dosificaciones 15% y 25% de cenizas volantes tipo C, se obtienen buenos resultados, lo cual permite que se pueden utilizar para la estabilización de suelos de grano fino logrando disminución de la compresibilidad y una mejora en los parámetros de resistencia, resistencia al corte y capacidad de carga (Turan et al. 2020). Las cenizas volantes del papel usado tienen algunas propiedades cementosas y su composición química se compone principalmente de calcio, silicio y aluminio. La caracterización mineralógica muestra la existencia de cal y algunas fases reactivas (silicatos de calcio), que en presencia de agua pueden reaccionar y endurecerse (Baloochi, Aponte y Barra 2020).

Rahman et al. (2023) en su estudio, el polvo de cáscara de berberecho se puede utilizar prácticamente como un material estabilizador alternativo para aumentar la resistencia a la compresión de la arcilla en la capa de subsuelo de carreteras de pavimento, pistas de aeropuertos y áreas de estacionamiento; asimismo, se confirmó que la estabilización del suelo contaminado con arsénico y metales pesados por estrellas de mar y conchas de berberecho se atribuía a reacciones puzolánicas y a la formación de precipitados insolubles. Además, podrían utilizarse como estabilizadores de residuos naturales debido a su alto contenido en carbonato cálcico (Park et al. 2024). Según Nujid, Tholibon y Rahman (2022),

en su estudio al hacer uso del 5% al 10% ceniza de cáscara de Berberecho, obtuvo mejor resistencia del suelo estabilizado al reaccionar con el suelo y otros compuestos aditivos.

Por lo comentado con anterioridad, nace la interrogante, ¿qué efecto producen las cenizas volantes y conchas marinas en suelos para uso de subrasante?, de esta misma se despliegan las siguientes preguntas específicas: ¿cuáles son los tipos de conchas marinas y cenizas volantes utilizadas en la estabilización de suelos?, ¿cuáles son las dosificaciones de conchas marinas y cenizas que mejoran la estabilización de suelos?, ¿qué ensayos se realizan para verificar el efecto que produce las cenizas volantes y conchas marinas en la estabilización de suelo?, ¿cómo mejoran las propiedades físicas y mecánicas del suelo al usar cenizas volantes y conchas marinas en la estabilización de suelos?, y por último, ¿cuáles son los beneficios socioambientales de estabilizar suelos con cenizas volantes y conchas marinas?.

La investigación se justificó en la necesidad de ilustrar y divulgar los diversos materiales que pueden emplearse en la estabilización de suelos, un aspecto crucial en la ingeniería geotécnica, mostrando las diversas metodologías en diferentes estudios realizados que pueden variar dependiendo del tipo de suelo y la aplicación deseada.

En este trabajo de investigación se propuso como objetivo general, conocer el efecto que producen las cenizas volantes y conchas marinas en la estabilización de suelos a través fuentes de información confiables y fidedignas; como objetivos específicos, identificar los tipos de conchas marinas y cenizas volantes utilizadas en la estabilización de suelos, identificar dosificaciones de conchas marinas y cenizas volantes que mejoran la estabilización de suelos, identificar los tipos de ensayos para la utilización de cenizas volantes y conchas marinas en la estabilización de suelos, identificar la mejora de las propiedades físicas y mecánicas del suelo estabilizado al usar cenizas volantes y conchas marinas; y por último, conocer los beneficios socioambientales de estabilizar suelos con cenizas volantes y conchas marinas.

II. METODOLOGÍA

Se realizó una revisión bibliográfica sobre las diversas metodologías o procedimientos utilizados en el uso de cenizas volantes y conchas marinas en la estabilización de suelos de subrasante, centrándose primordialmente en artículos de investigación de bases de datos confiables; esta investigación tuvo un enfoque narrativo.

Además, se llevó a cabo una búsqueda exhaustiva en las bases de datos de Google Académico, IOP Science, ScienceDirect, y Scopus, utilizando términos de búsqueda en inglés (types of seashells and ashes, proportions of seashells and ashes, types of essays, socio-environmental benefits) y operadores booleanos AND, OR y NOT. La información para este trabajo de investigación se obtuvo de las bases de datos de Google Académico, IOP Science, ScienceDirect y Scopus, abarcando el período de 2019 a 2024.

Se incorporaron investigaciones originales en inglés sobre el uso de cenizas volantes y conchas marinas en la estabilización de suelos de subrasante. Se excluyeron estudios no específicos, revisiones sistemáticas y documentos no evaluados por expertos; se descartaron 5 tesis, 2 páginas web de fuente de información, 1 blog y dos documentos; finalmente, se utilizaron 40 artículos de estudios confiables, dispersas en las bases de datos Google Académico (25); IOP Science (9); ScienceDirect (4) y Scopus (2).

Esta investigación se adhirió a los principios éticos, respetando los derechos de autor y citando todas las fuentes según la norma ISO 690. Se siguió la estructura de estudio de la Universidad César Vallejo, conforme a la Resolución N°110-2022-VI-UCV. Se destacaron los valores de un ingeniero civil, como responsabilidad e integridad, y se cumplió con la política anti plagio de la universidad, manteniendo un porcentaje de similitud inferior al 20%. Se enfatizó la originalidad de la investigación, respetando los derechos de autor y fomentando la originalidad, en línea con los principios de la Universidad César Vallejo.

III. RESULTADOS

Se clasificaron los 40 artículos para el análisis según se muestra en la Tabla 1 de anexos, teniendo en cuenta el autor, el año de publicación, el país de origen de la investigación y el tipo de material como estabilizador. De los 40 artículos el 50% (20) fueron de cenizas volantes y el otro 50% (20) conchas marinas. En relación a las cenizas volantes, Indonesia fue el país con más presencia de artículos (10%: 4), seguido de la India (5%: 3), Australia, Irán, Malasia y Turquía (5%: 2 cada uno); por último, Canadá, EE. UU, España, Nigeria y Perú (2.5%: 1 cada uno). Respecto a las conchas marinas, Malasia fue el país con más presencia de artículos (12.5%: 5), seguido de la India (10%: 4), Perú (7.5%: 3), Indonesia (5%: 2); por último, Chile, Colombia, Corea del Sur, EE. UU, Filipinas y Singapur (2.5%: 1 cada uno).

La tabla 2 y figura 1 de anexos, detallan artículos referenciados a los tipos de conchas marinas y cenizas volantes utilizados en la estabilización de suelos, de los cuales referente a las cenizas volantes, las cenizas volantes variadas (CV) tuvieron más presencia de investigaciones ((Bandara et al. 2020); Farichah et al. 2023; Hastuty y Rahman 2021; Hatmoko et al. 2024; Sahak et al. 2021; Singh et al. 2024; Sudrajat et al. 2023; Wibowo et al. 2023; Yazıcı y Unsever 2024; Yusof et al. 2023 y Zimar et al. 2022); seguido de cenizas volantes de clase C (Amhadi y Assaf 2021 y Turan et al. 2020) y F (Karami et al. 2021 y Şengül et al. 2023); caña de azúcar (Ewa et al. 2023); carbón (Labajos y Núñez 2020); geopolímeros (Diana et al. 2023); mijo (Kumar et al. 2020); y papel (Baloochi et al. 2020).

En concordancia con las conchas marinas, las investigaciones más numerosas fueron las conchas de Berberecho (Islam et al. 2017; Mol y Ninan 2022; Nujid et al. 2021; Nujid et al. 2022; Park et al. 2024 y Rahman et al. 2023); seguido de conchas marinas variadas (Anggraini et al. 2023; Muthu et al. 2023; Ruiz y Farfán 2016; Vinod et al. 2020 y Zunaithur et al. 2014); conchas marinas de abanico (López et al. 2021; Muñoz et al. 2023 y Peña et al. 2022); conchas marinas de almeja (Hastuty y Rahman 2021; Royan et al. 2023 y Vasquez et al. 2024); concha marina de bígara (Otoko y Cynthia 2014); concha marina de gallo (Nujid et al. 2020) y conchas marinas mytilus chilensis (Şengül et al. 2023).

La tabla 3 y figura 2 de anexos, especifican las dosificaciones de conchas marinas y cenizas volantes que permitieron una mejoría de las características mecánicas y físicas del suelo al realizar la estabilización. De acorde a las cenizas volantes se presentaron diez tipos de dosificaciones donde la más sobresaliente en las investigaciones fue del 15% (Diana et al. 2023; Ewa et al. 2023; Karami et al. 2021; Singh et al. 2024 y Yazıcı y Unsever 2024); seguido de la dosificación del 10% (Farichah et al. 2023; Kumar et al. 2020; Şengül et al. 2023 y Zimar et al. 2022); dosificación del 25% (Bandara et al. 2020; Labajos y Núñez 2020 y Turan et al. 2020); dosificación del 20% (Sahak et al. 2021 y Sudrajat et al. 2023); dosificación del 2% (Farzaneh y Mosaddegh 2011); dosificación del 4.2% (Hatmoko et al. 2024); dosificación del 5% (Baloochi et al. 2020); dosificación del 7% (Amhadi y Assaf 2021); dosificación del 9% (Wibowo et al. 2023) y dosificación del 12% (Yusof et al. 2023).

Referente a las conchas marinas hubieron diez tipos de dosificaciones, donde la más sobresaliente fue del 10% (Nujid et al. 2022; Nujid et al. 2020; Park et al. 2024; Rahman et al. 2023; Royan et al. 2023; Vasquez et al. 2024 y Vinod et al. 2020); dosificación del 12% (Anggraini et al. 2023 y Hastuty y Rahman 2021); dosificación del 80% (Otoko y Cynthia 2014 y Ruiz y Farfán 2016); dosificación del 5% (Islam et al. 2017); dosificación del 6% (López et al. 2021); dosificación del 7.5% (Zunaithur et al. 2014); dosificación del 9% (Peña et al. 2022); dosificación del 15% (Muthu et al. 2023); dosificación del 16% (Mol y Ninan 2022); por último, la dosificación del 20% (Leiva et al. 2023).

La tabla 4 y figura 3 de anexos, menciona los tipos de ensayos (Límites de Atterberg, Proctor Modificado, CBR y UCS) utilizados al estabilizar suelos de baja calidad con cenizas volantes y conchas marinas. De acuerdo a las cenizas volantes el ensayo que se realizó casi siempre es el Proctor modificado, efectuado en 19 de 20 artículos, solo en un estudio no se realizó (Bandara et al., 2020); el consecuente es el ensayo de Límites de Atterberg o Plasticidad, realizado en 17 de 20 artículos, en tres no se realizaron (Amhadi y Assaf 2021; Baloochi et al. 2020 y Yusof et al. 2023); el ensayo de CBR fue realizado en doce investigaciones (Amhadi y Assaf 2021; Ewa et al. 2023; Farzaneh y Mosaddegh 2011; Hatmoko et al. 2024; Karami et al. 2021; Kumar et al. 2020; Labajos y

Núñez 2020; Sahak et al. 2021; Singh et al. 2024; Sudrajat et al. 2023; Yazıcı y Unsever 2024 y Zimar et al. 2022); por último, el ensayo de UCS fue desarrollado en 11 investigaciones (Amhadi y Assaf 2021; Baloochi et al. 2020; Bandara et al. 2020; Ewa et al. 2023; Farichah et al. 2023; Kumar et al. 2020; Sahak et al. 2021; Şengül et al. 2023; Turan et al. 2020; Wibowo et al. 2023 y Yusof et al. 2023).

En relación a las conchas marinas en la figura 4 de anexos se detalla el ensayo que más se desarrollo fue el ensayo de Proctor Modificado 20 de 20 de los artículos analizados; el que le sigue fue el ensayo Limites de Atterberg o Plasticidad, efectuado en 19 de 20 investigaciones, solo hubo la excepción de uno (Peña et al. 2022); el ensayo de CBR fue realizado en 11 investigaciones (Hastuty y Rahman 2021; Islam et al. 2017; Leiva et al. 2023; Muthu et al. 2023; Nujid et al. 2020; Otoko y Cynthia 2014; Park et al. 2024; Peña et al. 2022; Royan et al. 2023; Ruiz y Farfán 2016 y Vasquez et al. 2024); por último, el ensayo de UCS fue efectuado en 13 investigaciones (Anggraini et al. 2023; Hastuty y Rahman 2021; López et al. 2021; Mol y Ninan 2022; Muñoz et al. 2023; Muthu et al. 2023; Nujid et al. 2020; Nujid et al. 2021; Nujid et al. 2022; Peña et al. 2022; Rahman et al. 2023; Vinod et al. 2020 y Zunaithur et al. 2014).

La tabla 5, refleja los resultados de las características físicas y mecánicas del suelo natural producto de los ensayos, el primero fue el de Limites de Atterberg (LL y LP); respecto a las cenizas volantes, hubo investigaciones que presentaron LL más alto en el rango de 20% a 40% (Ewa et al. 2023; Farzaneh y Mosaddegh 2011 y Sahak et al. 2021); seguido del rango entre 40% a 60% ((Bandara et al. 2020); Hatmoko et al. 2024; Karami et al. 2021; Kumar et al. 2020; Singh et al. 2024; Turan et al. 2020; Wibowo et al. 2023 y Zimar et al. 2022); y en el rango de 60% a 80% (Diana et al. 2023; Farichah et al. 2023; Labajos y Núñez 2020; Şengül et al. 2023; Sudrajat et al. 2023 y Yazıcı y Unsever 2024).

El LP más alto (rango de 40% a 50%) en dichas investigación (Labajos y Núñez 2020; Şengül et al. 2023 y Wibowo et al. 2023); seguido entre el rango de 30% a 40% (Diana et al. 2023; Farichah et al. 2023; Singh et al. 2024; Sudrajat et al. 2023; Turan et al. 2020 y Yazıcı y Unsever 2024); rango entre 20% a 30% (Bandara et al. 2020; Ewa et al. 2023; Hatmoko et al. 2024; Kumar et al. 2020 y

Zimar et al. 2022); y en el rango de 10% a 20% (Farzaneh y Mosaddegh 2011; Karami et al. 2021 y Sahak et al. 2021).

La Máxima Densidad Seca (MDS) se estimó a través del ensayo de Proctor Modificado, la MDS con valores más altos (rango 1.80 a 2.05 gr/cm³) se presentó en dos investigaciones (Baloochi et al. 2020 y Farzaneh y Mosaddegh 2011); en el rango de 1.55 a 1.80 gr/cm³ seis investigaciones (Amhadi y Assaf 2021; Ewa et al. 2023; Hatmoko et al. 2024; Karami et al. 2021; Kumar et al. 2020 y Sahak et al. 2021); en rango de 1.30 a 1.55 gr/cm³ cinco investigaciones (Labajos y Núñez 2020; Şengül et al. 2023; Turan et al. 2020; Wibowo et al. 2023 y Yazıcı y Unsever 2024); en el rango de 1.05 a 1.30 gr/cm³ cinco investigaciones (Diana et al. 2023; Farichah et al. 2023; Singh et al. 2024; Sudrajat et al. 2023; Zimar et al. 2022); y en el rango de 0.80 a 1.05 gr/cm³ una investigación (Yusof et al. 2023).

El Optimo Contenido de Humedad (OCH) al igual que la MDS resultó a partir de realizar el Proctor Modificado, presentándose el OCH mayor en el rango de 35% a 42% en una investigación (Yusof et al. 2023); en el rango de 28 a 35% 4 investigaciones (Ewa et al. 2023; Labajos y Núñez 2020; Şengül et al. 2023 y Sudrajat et al. 2023); en el rango de 21% a 28% cinco investigaciones (Ewa et al. 2023; Farichah et al. 2023; Wibowo et al. 2023; Yazıcı y Unsever 2024 y Zimar et al. 2022); en el rango de 14% a 21% cinco investigaciones (Hatmoko et al. 2024; Karami et al. 2021; Kumar et al. 2020; Singh et al. 2024 y Turan et al. 2020); en el rango de 7% a 14% en dos investigaciones (Baloochi et al. 2020 y Farzaneh y Mosaddegh 2011); y en el rango de 0% a 7% en 2 investigaciones (Amhadi y Assaf 2021 y Sahak et al. 2021).

La resistencia se evaluó a partir del ensayo de California Bearing Ratio (CBR) y Unconfined Compressive Strength (UCS), respecto al CBR se obtuvo resultados en el rango de 0% a 5% en 6 investigaciones (Hatmoko et al. 2024; Karami et al. 2021; Kumar et al. 2020; Labajos y Núñez 2020; Sahak et al. 2021 y Sudrajat et al. 2023); en el rango 5% a 10% cuatro investigaciones (Ewa et al. 2023; Singh et al. 2024; Yazıcı y Unsever 2024 y Zimar et al 2022); en el rango 15% a 20% una investigación (Farzaneh y Mosaddegh 2011); y en el rango 20% a 25 % una investigación (Amhadi y Assaf 2021).

Referente a UCS se alcanzó valores en el rango 0 a 0.50 MPa en seis investigaciones (Ewa et al. 2023; Sahak et al. 2021; Şengül et al. 2023; Turan et al. 2020; Wibowo et al. 2023 y Yusof et al. 2023); en el rango 0.50 a 1.00 MPa tres investigaciones (Amhadi y Assaf 2021; Farichah et al. 2023 y Muthu et al. 2023); y en el rango 1.00 a 2.00 MPa tres investigaciones (Baloochi et al. 2020; Farzaneh y Mosaddegh 2011 y Kumar et al. 2020).

De acuerdo a las investigaciones relacionadas con las conchas marinas, el LL de los suelos analizados con menor valor (rango 35% a 45%) se presentó en cuatro investigaciones (Islam et al. 2017; Otoko y Cynthia 2014; Park et al. 2024 y Vasquez et al. 2024); en el rango 45% a 55% en siete investigaciones (Anggraini et al. 2023; Hastuty y Rahman 2021; Leiva et al. 2023; López et al. 2021; Muñoz et al. 2023; Muthu et al. 2023 y Nujid et al. 2022); en el rango 55% a 65% tres investigaciones (Mol y Ninan 2022; Royan et al. 2023; Zunaithur et al. 2014); y en el rango 65% a 75% cuatro investigaciones (Nujid et al. 2020; Nujid et al. 2021; Rahman et al. 2023 y Vinod et al. 2020).

El LP en el rango 15% a 30% en ocho investigaciones (Anggraini et al. 2023; Hastuty y Rahman 2021; Islam et al. 2017; López et al. 2021; Otoko y Cynthia 2014; Park et al. 2024; Royan et al. 2023 y Zunaithur et al. 2014); en el rango 30% a 45% en ocho investigaciones (Leiva et al. 2023; Muñoz et al. 2023; Muthu et al. 2023; Nujid et al. 2020; Nujid et al. 2022; Rahman et al. 2023; Vasquez et al. 2024 y Vinod et al. 2020); y en el rango 45% a 60% una investigación (Mol y Ninan 2022).

La MDS con valores mas bajos (rango 1.20 a 1.40 gr/cm³) se rescató en seis investigaciones (Hastuty y Rahman 2021; Muñoz et al. 2023; Park et al. 2024; Vasquez et al. 2024; Vinod et al. 2020 y Zunaithur et al. 2014); en el rango de 1.40 a 1.60 gr/cm³ cuatro investigaciones (Leiva et al. 2023; Muthu et al. 2023; Rahman et al. 2023 y Royan et al. 2023); en el rango 1.60 a 1.80 gr/cm³ cinco investigaciones (Islam et al. 2017; López et al. 2021; Nujid et al. 2020; Nujid et al. 2021 y Peña et al. 2022); y en el rango 1.80 a 2.00 gr/cm³ cinco investigaciones (Anggraini et al. 2023; Mol y Ninan 2022; Nujid et al. 2022; Otoko y Cynthia 2014 y Ruiz y Farfán 2016).

Del OCH se obtuvo resultados mínimos en el rango de 0% a 10% en tres investigaciones (López et al. 2021; Peña et al. 2022 y Ruiz y Farfán 2016); en el rango de 10% a 20% en nueve investigaciones (Anggraini et al. 2023; Islam et al. 2017; Nujid et al. 2020; Nujid et al. 2021; Nujid et al. 2022; Otokoy Cynthia 2014; Park et al. 2024; Rahman et al. 2023 y Vasquez et al. 2024); en el rango 20% a 30% seis investigaciones (Leiva et al. 2023; Muñoz et al. 2023; Muthu et al. 2023; Royan et al. 2023; Vinod et al. 2020 y Zunaithur et al. 2014); y en el rango 30% a 40% dos investigaciones (Hastuty y Rahman 2021; Mol y Ninan 2022).

La resistencia mediante el ensayo de CBR se obtuvo resultados mínimos en el rango de 0% a 5% en seis investigaciones (Islam et al. 2017; Leiva et al. 2023; Muñoz et al. 2023; Muthu et al. 2023; Otokoy Cynthia 2014; Peña et al. 2022); en el rango 5% a 10% cuatro investigaciones (Hastuty y Rahman 2021; Park et al. 2024; Royan et al. 2023 y Vasquez et al. 2024); y de 20% a más dos investigaciones (Nujid et al. 2022 y Ruiz y Farfán 2016).

En relación al ensayo de UCS se obtuvo valores en el rango 0.00 a 0.30 MPa en siete investigaciones (Anggraini et al. 2023; Hastuty y Rahman 2021; Mol y Ninan 2022; Nujid et al. 2020; Nujid et al. 2021; Rahman et al. 2023 y Vinod et al. 2020); en el rango 0.60 a 0.90 MPa en cuatro investigaciones (Muthu et al. 2023; Nujid et al. 2022; Peña et al. 2022 y Zunaithur et al. 2014).

La tabla 6, refleja los resultados de las características físicas y mecánicas del suelo mejorado con las dosificaciones que brindaron mejor aporte de calidad a los suelos; respecto a las cenizas volantes, hubo nueve investigaciones que presentaron LL más bajo en el rango de 15% a 40% (Ewa et al. 2023; Farzaneh y Mosaddegh 2011; Hatmoko et al. 2024; Karami et al. 2021; Kumar et al. 2020; Sahak et al. 2021; Singh et al. 2024; Wibowo et al. 2023 y Zimar et al. 2022); en el rango 40% a 60% seis investigaciones (Bandara et al. 2020; Diana et al. 2023; Labajos y Núñez 2020; Sudrajat et al. 2023; Turan et al. 2020 y Yazıcı y Unsever 2024); y en el rango 60% a 80% en dos investigaciones (Farichah et al. 2023; Şengül et al. 2023); al compararlo con los resultados de LL del suelo natural en los diferentes rangos de las investigaciones se puede decir que si hubo reducción en de LL.

Respecto al LP dos investigaciones alcanzaron valores entre el rango de 10% a 20% (Farzaneh y Mosaddegh 2011 y Sahak et al. 2021); en el rango 20% a 30% diez investigaciones (Bandara et al. 2020; Diana et al. 2023; Ewa et al. 2023; Farichah et al. 2023; Hatmoko et al. 2024; Karami et al. 2021; Kumar et al. 2020; Singh et al. 2024; Sudrajat et al. 2023 y Zimar et al. 2022); y en el rango 30% a 40% cinco investigaciones (Labajos y Núñez 2020; Şengül et al. 2023; Turan et al. 2020; Wibowo et al. 2023 y Yazıcı y Unsever 2024). Al igual que LL el LP se redujo respecto a los resultados del suelo natural.

La MDS mas baja estuvo entre en rango 1.10 a 1.30 gr/cm³ en tres investigaciones (Farichah et al. 2023; Sudrajat et al. 2023 y Yusof et al. 2023); en el rango 1.30 a 1.50 gr/cm³ cinco investigaciones (Diana et al. 2023; Şengül et al. 2023; Singh et al. 2024; Turan et al. 2020 y Zimar et al. 2022), en el rango 1.50 a 1.70 gr/cm³ cuatro investigaciones (Labajos y Núñez 2020; Sahak et al. 2021; Wibowo et al. 2023 y Yazıcı y Unsever 2024); en el rango 1.70 a 1.90 gr/cm³ cuatro investigaciones (Ewa et al. 2023; Hatmoko et al. 2024; Karami et al. 2021 y Kumar et al. 2020); y en el rango 1.90 a 2.10 gr/cm³ tres investigaciones (Amhadi y Assaf 2021; Baloochi et al. 2020 y Farzaneh y Mosaddegh 2011). La MDS de suelo dosificado en comparación con el suelo natrual en algunos estudios se disminuyó, pero mayoritariamente se incremento al agregar cenizas volantes.

De acuerdo al OCH, se obtuvieron valores en el rango de 0% a 7% en una investigación (Amhadi y Assaf 2021); en el rango 7% a 14% cinco investigaciones (Baloochi et al. 2020; Farzaneh y Mosaddegh 2011; Hatmoko et al. 2024; Sahak et al. 2021 y Singh et al. 2024); en el rango 14% a 21% cinco investigaciones (Karami et al. 2021; Kumar et al. 2020; Turan et al. 2020; Yazıcı y Unsever 2024 y Zimar et al. 2022); en el rango 21% a 28% cinco investigaciones (Diana et al. 2023; Ewa et al. 2023; Farichah et al. 2023; Labajos y Núñez 2020 y Wibowo et al. 2023); en el rango 28% a 35% dos investigaciones (Sahak et al. 2021 y Yusof et al. 2023); y en el rango 35% a 42% una investigación (Şengül et al. 2023).

La resistencia a partir del CBR se obtuvieron valores en el rango de 5% a 10% en dos investigaciones (Ewa et al. 2023; Kumar et al. 2020); en el rango 10% a

20% siete investigaciones (Karami et al. 2021; Labajos y Núñez 2020; Sahak et al. 2021; Singh et al. 2024; Sudrajat et al. 2023; Yazıcı y Unsever 2024; Zimar et al. 2022); y en el rango 20% a más, tres investigaciones (Amhadi y Assaf 2021; Farzaneh y Mosaddegh 2011 y Hatmoko et al. 2024).

Mediante el UCS se alcanzaron resultados en el rango de 0.00 a 0.50 MPa en cuatro investigaciones (Ewa et al. 2023; Sahak et al. 2021; Şengül, Akray y Vitosoglu 2023; Yusof et al. 2023); en el rango 0.50 a 1.00 MPa, tres investigaciones (Bandara et al. 2020; Farichah et al. 2023; Wibowo et al. 2023); y en el rango 1.00 MPa a más, cinco investigaciones (Amhadi y Assaf 2021; Baloochi, Aponte y Barra 2020; Farzaneh y Mosaddegh 2011; Kumar, Kishor y Nidhi 2020; Turan et al. 2020); al agregar dosificaciones al suelo natural se pudo notar que realizando ambos ensayos (CBR y UCS), la resistencia sube.

Referente a los resultados al agregar distintos tipos de conchas marinas al suelo natural, en el LL se alcanzaron valores en el rango de 25% a 35% en ocho investigaciones (Anggraini et al. 2023; Hastuty y Rahman 2021; López, Barrionuevo y Díaz 2021; Nujid et al. 2020; Nujid, Michael y Tholibon 2021; Otoko y Cynthia 2014; Park et al. 2024; Vasquez, Fuentes y Casinillo 2024); en el rango 35% a 45% siete investigaciones (Islam et al. 2017; Leiva, Shene y Silva 2023; Muñoz, Aguilar y Díaz 2023; Muthu et al. 2023; Nujid, Tholibon y Rahman 2022; Rahman et al. 2023; Zunaithur et al. 2014); en el rango 45% a 55% dos investigaciones (Royan et al. 2023; Vinod 2020); y en el rango de 55% a 65% una investigación (Mol y Ninan 2022).

El LP adquirió valores en el rango de 15% a 30% en catorce investigaciones (Amhadi y Assaf 2021; Hastuty y Rahman 2021; Islam et al. 2017; López, Barrionuevo y Díaz 2021; Muñoz, Aguilar y Díaz 2023; Muthu et al. 2023; Nujid et al. 2020; Nujid, Michael y Tholibon 2021; Nujid, Tholibon y Rahman 2022; Otoko y Cynthia 2014; Park et al. 2024; Vasquez, Fuentes y Casinillo 2024; Vinod 2020; Zunaithur et al. 2014); en el rango 30% a 45% tres investigaciones (Leiva, Shene y Silva 2023; Rahman et al. 2023; Royan et al. 2023); y en el rango 45% a 60% una investigación (Mol y Ninan 2022). Tanto el LL como LP redujeron al agregar dosificaciones de polvo de distintos tipos de conchas marinas al suelo natural.

La MDS alcanzó valores en el rango de 0.80 a 1.20 gr/cm³ en dos investigaciones (Nujid et al. 2020; Rahman et al. 2023); en el rango 1.20 a 1.60 gr/cm³ seis investigaciones (Hastuty y Rahman 2021; Leiva, Shene y Silva 2023; Mol y Ninan 2022; Vasquez, Fuentes y Casinillo 2024; Vinod 2020; Zunaithur et al. 2014); en el rango 1.60 a 2.00 gr/cm³ ocho investigaciones (Islam et al. 2017; López, Barrionuevo y Díaz 2021; Muñoz, Aguilar y Díaz 2023; Muthu et al. 2023; Otoko y Cynthia 2014; Park et al. 2024; Ruiz y Farfán 2016); y en el rango 2.00 gr/cm³ cuatro investigaciones (Anggraini et al. 2023; Nujid et al. 2020; Nujid, Tholibon y Rahman 2022; Peña, Sifuentes y Sagastegui 2022).

De acuerdo al OCH se obtuvieron valores en el rango 0% a 10% en dos investigaciones (Peña, Sifuentes y Sagastegui 2022; Ruiz y Farfán 2016); en el rango 10% a 20% ocho investigaciones (Anggraini et al. 2023; Islam et al. 2017; López, Barrionuevo y Díaz 2021; Nujid et al. 2020; Otoko y Cynthia 2014; Park et al. 2024; Vasquez, Fuentes y Casinillo 2024; Zunaithur et al. 2014); en el rango 20% a 30% siete investigaciones (Hastuty y Rahman 2021; Leiva, Shene y Silva 2023; Muñoz, Aguilar y Díaz 2023; Muthu et al. 2023; Nujid, Tholibon y Rahman 2022; Royan et al. 2023; Vinod 2020); y en el rango 30% a 50% tres investigaciones (Mol y Ninan 2022; Nujid, Michael y Tholibon 2021; Rahman et al. 2023). Tanto la MDS como el OCH aumentaron y disminuyeron en la mayoría de estudios respectivamente.

Los resultados del CBR alcanzados estuvieron el rango de 6% a 10% dos investigaciones (Hastuty y Rahman 2021; Muñoz, Aguilar y Díaz 2023), en el rango 10% a 20% seis investigaciones (Leiva, Shene y Silva 2023; Muthu et al. 2023; Otoko y Cynthia 2014; Park et al. 2024; Royan et al. 2023; Vasquez, Fuentes y Casinillo 2024); en el rango 20% a 30% una investigación (Islam et al. 2017); y en el rango de 30% a más tres investigaciones (Nujid, Tholibon y Rahman 2022; Peña, Sifuentes y Sagastegui 2022; Ruiz y Farfán 2016). Respecto a los resultados provenientes del ensayo de UCS se alcanzaron valores en el rango 0.00 a 0.30 MPa en dos investigaciones (Hastuty y Rahman 2021; Vinod 2020); en el rango 0.30 a 0.60 MPa una investigación (Mol y Ninan 2022); en el rango 0.60 a 0.90 MPa tres investigaciones (Nujid et al. 2020; Nujid, Michael y Tholibon 2021; Rahman et al. 2023); y en el rango de 0.90 MPa a más,

seis investigaciones (Anggraini et al. 2023; López, Barrionuevo y Díaz 2021; Muthu et al. 2023; Nujid, Tholibon y Rahman 2022; Peña, Sifuentes y Sagastegui 2022; Zunaithur et al. 2014);

Al realizar los ensayos de CBR y UCS se nota que la resistencia aumenta agregando dosificaciones de polvo de distintos de conchas marinas al suelo natural, situándolos de suelos pobres o apenas buenos a suelos muy buenos y de calidad para uso de subrasante; en algunos estudios llega a valores que permiten usarlo como materiales de subbase.

En la tabla 6 se detallan los beneficios socio ambientales al usar cenizas volantes y conchas materiales como estabilizantes de suelos pobres; respecto a las cenizas volantes los 20 artículos de investigación en su mayoría mencionan que la utilización de cenizas volantes en la estabilización de suelos no solo ayuda a resolver los desafíos ambientales asociados con la eliminación de residuos, sino también a transformar lo que normalmente se considera desperdicio en un producto útil para aplicaciones de ingeniería. Además, su costo es menor en comparación con otras soluciones establecidas, como la estabilización del suelo con cemento. Estas cenizas volantes, que ya son subproductos o materiales de desecho, contribuyen a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. Según los datos de investigaciones, por cada tonelada de cenizas volantes utilizada en lugar del cemento tradicional, se reduce aproximadamente una tonelada de dióxido de carbono; de igual manera referente al uso de conchas marinas, mencionan que la existencia de estas mismas como residuos en el suelo provoca daños ambientales y contaminación. Además, los olores desagradables y la apariencia poco estética que generan tienen un impacto negativo en el entorno natural. Por lo tanto, si las utilizamos como sustituto de la piedra caliza, podríamos obtener beneficios ambientales significativos

IV. CONCLUSIONES

Las investigaciones sobre el uso de cenizas volantes y conchas marinas como estabilizadores de suelos revelan una amplia variedad. En 40 artículos, se identificaron 8 tipos distintos de cenizas volantes (caña de azúcar, carbón, clase C, clase F, geopolímero, mijo, papel y otros) y 7 tipos de conchas marinas (abanico, almeja, berberecho, bígaro, gallo, mytilus chilensis y otros).

En los estudios relacionados con cenizas volantes y conchas marinas, se emplearon diversas dosificaciones. Sin embargo, las más efectivas para mejorar la calidad, resistencia y soporte del suelo fueron el 10% de polvo de conchas marinas y el 15% de cenizas volantes. Estas dosificaciones proporcionaron características físicas y mecánicas superiores al del suelo natural.

En los estudios sobre la estabilización de suelos, se emplearon diferentes ensayos para analizar las propiedades del suelo natural y dosificado. Los Límites de Atterberg se utilizaron en 37 de los 40 estudios, mientras que el Proctor Modificado se aplicó en 39 de los 40 hallazgos. Estos ensayos son esenciales en investigaciones relacionadas con la estabilización del suelo. Por otro lado, el CBR y el UCS se utilizaron en un número reducido de estudios, si se realiza un ensayo de CBR, no es necesario repetir el UCS, y viceversa; ya que ambos miden la resistencia y capacidad de soporte del suelo.

Agregando cenizas volantes y conchas marinas los suelos pobres en su mayoría mejoran sus propiedades tanto físicas como mecánicas; el LL y LP se reducen, la MDS y OCH se reducen y aumentan en pocos casos, pero igual se mantienen alineados, el CBR aumenta con gran notoriedad ya que tanto las CV y CM presentan óxido de calcio (CaO) y eso hace que la resistencia mejore, lo mismo sucede con la resistencia confinada obtenida del UCS. Entonces se puede decir que estos materiales si permiten una buena estabilización de suelos pobres.

Ambientalmente, la utilización de cenizas volantes y conchas marinas como estabilizantes de suelos pobres ofrece beneficios socioambientales notables, ya que no solo ayudan a resolver los desafíos ambientales asociados con la eliminación de residuos, sino también transforman lo que normalmente se considera desperdicio en un producto útil para aplicaciones de ingeniería.

REFERENCIAS

- AMHADI, T.S. y ASSAF, G.J., 2021. Improvement of Pavement Subgrade by Adding Cement and Fly Ash to Natural Desert Sand. *Infrastructures*, vol. 6, no. 11, ISSN 2412-3811. DOI [10.3390/infrastructures6110151](https://doi.org/10.3390/infrastructures6110151).
- ANGGRAINI, V., DASSANAYAKE, S., EMMANUEL, E., YONG, L.L., KAMARUDDIN, F.A. y SYAMSIR, A., 2023. Response Surface Methodology: The Improvement of Tropical Residual Soil Mechanical Properties Utilizing Calcined Seashell Powder and Treated Coir Fibre. *Sustainability*, vol. 15, no. 4, ISSN 2071-1050. DOI [10.3390/su15043588](https://doi.org/10.3390/su15043588).
- BALOOCHI, H., APONTE, D. y BARRA, M., 2020. Soil Stabilization Using Waste Paper Fly Ash: Precautions for Its Correct Use. *Applied Sciences*, vol. 10, DOI [10.3390/app10238750](https://doi.org/10.3390/app10238750).
- BANDARA, N., HETTIARACHCHI, H., JENSEN, E. y BINOY, T., 2020. Upcycling Potential of Industrial Waste in Soil Stabilization: Use of Kiln Dust and Fly Ash to Improve Weak Pavement Subgrades Encountered in Michigan, USA. *Sustainability*, vol. 12, DOI [10.3390/su12177226](https://doi.org/10.3390/su12177226).
- DELGADO, C.A. y MORMONTOY, V.D., 2021. *Estabilización de suelos arcillosos con adición de ceniza de mazorca de maíz y cal* [en línea]. CUSCO: UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO. [consulta: 6 mayo 2024]. Disponible en: <http://repositorio.uandina.edu.pe/handle/20.500.12557/4587>.
- DIANA, W., HARTONO, E., PRATAMA, W. y WARDANI, W., 2023. Shear strength characteristic of geopolymer fly ash and egg shell powder stabilized clay soil. *E3S Web of Conferences*, vol. 429, DOI [10.1051/e3sconf/202342904024](https://doi.org/10.1051/e3sconf/202342904024).
- EWA, D.E., EGBE, E.A., UKPATA, J.O. y ETIKA, A., 2023. Sustainable subgrade improvement using limestone dust and sugarcane bagasse ash. *Sustainable Technology and Entrepreneurship*, vol. 2, no. 1, ISSN 2773-0328. DOI [10.1016/j.stae.2022.100028](https://doi.org/10.1016/j.stae.2022.100028).

- FARICHAH, H., HUTAMA, D., SOLIN, D. y SOLIN, D., 2023. Evaluation of the strength characteristic of soil stabilized with fly ash. *Jurnal PenSil*, vol. 12, DOI [10.21009/jpensil.v12i3.37489](https://doi.org/10.21009/jpensil.v12i3.37489).
- FARZANEH, O. y MOSADDEGH, A., 2011. Experimental Analysis to Evaluate the Effectiveness of Lime and Non-Traditional Additives on Subgrade Soil Stabilization of Kerman-Zangiabad Road. *Journal of Civil and Surveying Engineering*, vol. 45, no. 1,
- GARCÍA, G., 2020. Carreteras en el Perú: ¿Qué debemos tener en cuenta para su mantenimiento y conservación? - Revista Economía. *Carreteras en el Perú: ¿Qué debemos tener en cuenta para su mantenimiento y conservación?* [en línea]. [consulta: 9 octubre 2023]. Disponible en: <https://www.revistaeconomia.com/carreteras-en-el-peru-que-debemos-tener-en-cuenta-para-su-mantenimiento-y-conservacion-2/>.
- HASTUTY, I. y RAHMAN, A., 2021. Effect of using clamshell ash as stabilization material for clay. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 1122, DOI [10.1088/1757-899X/1122/1/012018](https://doi.org/10.1088/1757-899X/1122/1/012018).
- HATMOKO, D., RIFA'I, A., ISMANTI, S. y ISMANTI, S., 2024. Effect of using lime and fly ash as a cement substitute for soil stability. *KURVATEK*, vol. 9, DOI [10.33579/krvtk.v9i1.4834](https://doi.org/10.33579/krvtk.v9i1.4834).
- HERNÁNDEZ, J., SÁNCHEZ, V., CASTILLO, I., DAMIÁN, S. y TÉLLEZ, R., 2021. *Impacto ambiental de proyectos carreteros. efectos por la Construcción y Conservación de superficies de rodamiento: II Pavimentos Rígidos* [en línea]. 2021. S.l.: s.n. [consulta: 6 mayo 2024]. Disponible en: <https://www.imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt173.pdf>.
- ISLAM, M.N., TAKI, G., NGUYEN, X.P., JO, Y.-T., KIM, J. y PARK, J.-H., 2017. Heavy metal stabilization in contaminated soil by treatment with calcined cockle shell. *Environmental Science and Pollution Research International*, vol. 24, no. 8, ISSN 1614-7499. DOI [10.1007/s11356-016-8330-5](https://doi.org/10.1007/s11356-016-8330-5).

- KARAMI, H., POONI, J.S., ROBERT, D.J., COSTA, S., LI, J. y SETUNGE, S., 2021. Use of Secondary Additives in Fly ash based Soil Stabilization for Soft Subgrades. *Transportation Geotechnics*, vol. 29, DOI [10.1016/j.trgeo.2021.100585](https://doi.org/10.1016/j.trgeo.2021.100585).
- KUMAR, A., KISHOR, R. y NIDHI, C., 2020. Improvement of Pavement Subgrade Soil using Millet Husk Ash for Rural Roads. En: journalAbbreviation: International Journal of Engineering and Advanced Technology, *International Journal of Engineering and Advanced Technology* [en línea], vol. 9, DOI 10.35940/ijeat.D7212.049420. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/341294742>.
- LABAJOS, O.G. y NÚÑEZ, J.H.S., 2020. Estabilización de suelos con cenizas de carbón para uso como subrasante mejorada. *Revista Científica UNTRM: Ciencias Naturales e Ingeniería*, vol. 3, no. 1, ISSN 2520-0356. DOI [10.25127/ucni.v3i1.589](https://doi.org/10.25127/ucni.v3i1.589).
- LAZO, G., 2023. *Pavimentos en el Perú, nuevos retos y tecnologías | Universidad de Lima* [en línea]. 2023. S.l.: s.n. [consulta: 4 octubre 2023]. Disponible en: <https://www.ulima.edu.pe/pregrado/ingenieria-civil/noticias/pavimentos-en-el-peru-nuevos-retos-y-tecnologias>.
- LEIVA, J., SHENE, C. y SILVA, D., 2023. Optimization of neutralizing power of mytilus chilensis seashells in acid alluvial soil of ñuble coast. *Chilean journal of agricultural & animal sciences*, vol. 39, DOI [10.29393/CHJAA39-18ONJD30018](https://doi.org/10.29393/CHJAA39-18ONJD30018).
- LÓPEZ, H., BARRIONUEVO, B. y DÍAZ, C., 2021. Application of Glass and Fan Shells to a Clay Soil to Increase its Mechanical Properties. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 1054, DOI [10.1088/1757-899X/1054/1/012004](https://doi.org/10.1088/1757-899X/1054/1/012004).
- MOL, C. y NINAN, P., 2022. Comparative Study on the Effect of Cockle Shell Powder on Laterite Soil and Clayey Soil. *International Journal of Advanced Research in Science, Communication and Technology*, DOI [10.48175/IJARSCT-5017](https://doi.org/10.48175/IJARSCT-5017).

- MORI, C., 2020. *Capacidad de soporte de suelo de la carretera del Centro Poblado de Chinchobamba-Sihuas con la adición de 5% de ceniza de hojas de pino y 10% de ceniza de marucha (donax obesulus)* [en línea]. Perú: Universidad San Pedro. [consulta: 4 octubre 2023]. Disponible en: <http://repositorio.usanpedro.edu.pe/handle/20.500.129076/20664>.
- MUÑOZ, S., AGUILAR, J. y DÍAZ, I., 2023. Subgrade soil stabilization using marine debris: A literature review. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, no. 109, ISSN 2422-2844. DOI [10.17533/udea.redin.20220994](https://doi.org/10.17533/udea.redin.20220994).
- MUTHU, S., GEETHA, S., SELVAKUMAR, M., VEDHANAYAGHI, V.J., MITHUN, R. y KARTHICKRAJA, V., 2023. Addition of Sea Shell Waste to Silty Sand Subgrade for Economical Design of Flexible Pavement. En: K.K. HAU, A.K. GUPTA, S. CHAUDHARY y T. GUPTA (eds.), *Recent Advances in Structural Engineering and Construction Management*. Singapore: Springer Nature, pp. 773-782. ISBN 978-981-19404-0-8. DOI [10.1007/978-981-19-4040-8_61](https://doi.org/10.1007/978-981-19-4040-8_61).
- NUJID, M., IDRUS, J., THOLIBON, D., BAWADI, N. y FIROOZI, A.A., 2020. Bearing Capacity of Soft Marine Soil Stabilization with Cockel Shell Powder (CSP). *International Journal of Engineering and Advanced Technology*, vol. 9, DOI [10.35940/ijeat.B3989.029320](https://doi.org/10.35940/ijeat.B3989.029320).
- NUJID, M., MICHAEL, M. y THOLIBON, D., 2021. Failure Assessment of Strength and Bearing Capacity on Marine Stabilized Subgrade Soil. *Journal of Failure Analysis and Prevention*, vol. 21, DOI [10.1007/s11668-021-01232-5](https://doi.org/10.1007/s11668-021-01232-5).
- NUJID, M., THOLIBON, D. y RAHMAN, M., 2022. Effect of cockle shell powder as sustainable additive on geotechnical engineering properties of stabilized soil. *Arabian Journal of Geosciences*, vol. 15, DOI [10.1007/s12517-022-10593-6](https://doi.org/10.1007/s12517-022-10593-6).
- OTOKO, Dr.G. y CYNTHIA, E., 2014. Mechanical stabilization of a deltaic clayey soil using crushed waste periwinkle shells. *International Journal of Engineering and Technology Research*, vol. 2, DOI [10.13140/2.1.1354.6242](https://doi.org/10.13140/2.1.1354.6242).

- PARK, Se, KIM, Y., PARK, Sang y MOON, D.H., 2024. Stabilization of Heavy Metal Contaminated Soil Around an Abandoned Mine Using Starfish(*Asterina pectinifera*) and Cockle Shell. *Journal of Korean Society of Environmental Engineers*, vol. 46, DOI [10.4491/KSEE.2024.46.2.33](https://doi.org/10.4491/KSEE.2024.46.2.33).
- PARRA, M., 2018. *Estabilización de un suelo con cal y ceniza volante* [en línea]. COLOMBIA: UNIVERSIDAD CATOLICA DE COLOMBIA. [consulta: 6 mayo 2024]. Disponible en: <https://repository.ucatolica.edu.co/server/api/core/bitstreams/e5575558-aa31-4b1f-b5c7-016a71787c97/content>.
- PEÑA, M., SIFUENTES, N. y SAGASTEGUI, G., 2022. Stabilization of the subgrade using Viaforte cement and Calcareous Residues from Concha de Abanico from the Bella Mar Sector – Huanchaquito Bajo, 2021. , ISSN 2414-6390. DOI <http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2022.1.1.283>.
- RAHMAN, M., NUJID, M., IDRUS, J., THOLIBON, D. y BAWADI, N., 2023. Unconfined compressive strength assessment of stabilized marine soil with cockle shell powder as sustainable material on subgrade pavement. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, vol. 1205, DOI [10.1088/1755-1315/1205/1/012057](https://doi.org/10.1088/1755-1315/1205/1/012057).
- ROYAN, N., MARTINI, R.A., SETIAWATI, M. y YULIANTI, R., 2023. The effect of blood clam shell powder addition on shear strength value of clay soil. *International Journal of Engineering Technologies and Management Research*, vol. 10, DOI [10.29121/ijetmr.v10.i1.2023.1284](https://doi.org/10.29121/ijetmr.v10.i1.2023.1284).
- RUIZ, G. y FARFÁN, P., 2016. Use of crushed seashell by-products for sandy subgrade stabilization for pavement purpose. [en línea], DOI 10.18687/LACCEI2016.1.1.053. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/307090528>.
- SAHAK, B., SINGH, M., ADHIKARI, A. y SHAIK, H., 2021. Sustainable soil stabilization using combination of geotextile, fly-ash and saw dust for pavement subgrade. *Archives of Materials Science and Engineering*, vol. 1, DOI [10.5604/01.3001.0015.0511](https://doi.org/10.5604/01.3001.0015.0511).

- ŞENGÜL, T., AKRAY, N. y VITOSOGLU, Y., 2023. Investigating the effects of stabilization carried out using fly ash and polypropylene fiber on the properties of highway clay soils. *Construction and Building Materials*, vol. 400, DOI [10.1016/j.conbuildmat.2023.132590](https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.132590).
- SINGH, KUMAR, V. y TIWARI, R., 2024. Stabilization of Expansive Soil: A Review. En: DOI: 10.1007/978-981-99-3557-4_20, DOI [10.1007/978-981-99-3557-4_20](https://doi.org/10.1007/978-981-99-3557-4_20).
- SUDRAJAT, K., NURAINI, A., ISRADI, M., PRASETIJO, J. y HAMID, A., 2023. Effect of Fly Ash Addition in West Jakarta Cengkareng Area Soil on CBR Value. *Engineering and Technology Journal*, vol. 08, DOI [10.47191/etj/v8i9.11](https://doi.org/10.47191/etj/v8i9.11).
- TURAN, C., JAVADI, A., VINAI, R., SHARIATMADARI, N. y FARMANI, R., 2020. Use of class C fly ash for stabilization of fine-grained soils. *E3S Web of Conferences*, vol. 195, DOI [10.1051/e3sconf/202019506001](https://doi.org/10.1051/e3sconf/202019506001).
- VASQUEZ, F.Y.C., FUENTES, A.G.P. y CASINILLO, L.F., 2024. Evaluating eco-friendly soil neutralizers: The use of pulverized eggshells and clam shells in enhancing rice field soil acidity. *EDUCATUM Journal of Science, Mathematics and Technology*, vol. 11, no. 1, ISSN 2462-2451. DOI [10.37134/ejsmt.vol11.1.10.2024](https://doi.org/10.37134/ejsmt.vol11.1.10.2024).
- VINOD, B.R., 2020. Stabilization on Expansive soil using sea shell powder and Rubber powder Stabilization on Expansive soil using sea shell powder and Rubber powder. En: journalAbbreviation: IOP Conference Series: Materials Science and EngineeringDOI: 10.1088/1757-899X/814/1/012028, *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 814, DOI [10.1088/1757-899X/814/1/012028](https://doi.org/10.1088/1757-899X/814/1/012028).
- WIBOWO, D.E., RAMADHAN, D., ENDARYANTA, M. y PRAYUDA, H., 2023. Soil stabilization using rice husk ash and cement for pavement subgrade materials. , vol. 22, DOI [10.7764/RDLC.22.1.192](https://doi.org/10.7764/RDLC.22.1.192).

- YAÑEZ, P., 2019. ¿Trabajamos de manera efectiva para evitar muertes en las carreteras? *Impacto* [en línea]. [consulta: 6 mayo 2024]. Disponible en: <https://blogs.iadb.org/efectividad-desarrollo/es/seguridad-vial/>.
- YAZICI, E. y UNSEVER, Y., 2024. Investigation of Cement and Fly Ash on the Improvement of Fine Sand Soil. *Applied Sciences*, vol. 14, DOI [10.3390/app14072908](https://doi.org/10.3390/app14072908).
- YUSOF, Z., MOKSIN, H., ZAINORABIDIN, A., ABU TALIB, M.K., DAN@AZLAN, M., PAKIR, F. y NOH, N., 2023. Effect of Curing Time on Compressive Strength Performance of Coconut Shell Charcoal Ash (CSCA) and Fly Ash Stabilized Peat Soil. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, vol. 1249, DOI [10.1088/1755-1315/1249/1/012040](https://doi.org/10.1088/1755-1315/1249/1/012040).
- ZIMAR, Z., DILAN, R., ZHOU, A. y GIUSTOZZI, F., 2022. Application of coal fly ash in pavement subgrade stabilisation: A review. *Journal of Environmental Management*, vol. 312, ISSN 0301-4797. DOI [10.1016/j.jenvman.2022.114926](https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.114926).
- ZUNAITHUR, R., ANEES, F., MOHAMED, M. y WASIF, M., 2014. PERFORMANCE OF SEASHELL POWDER ON SOIL STABILIZATION. [en línea], vol. 10, [consulta: 13 mayo 2024]. ISSN 2349-5162. Disponible en: <https://www.jetir.org/papers/JETIR2305143.pdf>.

ANEXOS

Tabla 1. *Referencias de los estudios incluidos en la revisión literaria.*

Ref.	Autor (año)	País	CM/CV	Ref.	Autor (año)	País	CM/CV
(1)	Amhadi y Assaf (2021)	Canadá	CV clase C	(21)	Nujid et al. (2022)	Malasia	CM berberecho
(2)	Anggraini et al. (2023)	Malasia	CM variados	(22)	Nujid et al. (2020)	Malasia	CM Gallo
(3)	Baloochi (2020)	España	CV papel	(23)	Otoko y Cynthia (2014)	EE. UU	CM bigaro
(4)	Bandara et al. (2020)	EE. UU	CV variadas	(24)	Park et al. (2024)	Corea del Sur	CM berberecho
(5)	Diana et al. (2023)	Indonesia	CV Geopolimero	(25)	Peña et al. (2022)	Perú	CM abanico
(6)	Ewa et al. (2023)	Nigeria	CV Caña azúcar	(26)	Rahman et al. (2023)	Malasia	CM berberecho
(7)	Farichach et al. (2023)	Indonesia	CV variadas	(27)	Royan et al. (2023)	Indonesia	CM almeja
(8)	Farzaneh y Mosaddegh (2011)	Irán	CV variadas	(28)	Ruiz y Farfan (2016)	Perú	CM variadas
(9)	Hastuty Y Rahman (2021)	Indonesia	CM almeja	(29)	Sahak et al. (2021)	India	CV variadas
(10)	Hatmoko et al. (2024)	Indonesia	CV variadas	(30)	Sengül et al. (2023)	Turquía	CV clase F
(11)	Islam et al. (2017)	India	CM berberecho	(31)	Singh et al. (2024)	India	CV variadas
(12)	Karami et al. (2021)	Australia	CV clase F	(32)	Sudrajat et al. (2023)	Malasia	CV variadas
(13)	Kumar et al. (2020)	India	CV Mijo	(33)	Turan et al. (2020)	Irán	CV clase C
(14)	Labajos y Nuñez (2020)	Perú	CV carbón	(34)	Vasquez et al. (2024)	Filipinas	CM almeja
(15)	Leiva et al. (2023)	Chile	CM <i>Mytilus chilensis</i>	(35)	Vinod et al. (2020)	India	CM variadas
(16)	López et al. (2021)	Perú	CM abanico	(36)	Wibowo (2023)	Indonesia	CV variadas
(17)	Mol y Ninan (2022)	India	CM berberecho	(37)	Yazici y Unsever (2024)	Turquía	CV variadas
(18)	Muñoz et al. (2023)	Colombia	CM abanico	(38)	Yusof et al. (2023)	Malasia	CV variadas
(19)	Muthu et al. (2023)	Singapur	CM variadas	(39)	Zimar et al. (2022)	Australia	CV variadas
(20)	Nujid et al. (2021)	Malasia	CM berberecho	(40)	Zunaitur et al. (2014)	India	CM variadas

Cenizas Volantes (CV) y Conchas Marinas (CM).

Tabla 2. Tipos de conchas marinas y cenizas volantes utilizados en la estabilización de suelos.

Referencia	Tipos	N° Investigaciones	%
(6)	CV Caña de azúcar	1	2.5
(14)	CV carbón	1	2.5
(1)(33)	CV clase C	2	5
(12)(30)	CV clase F	2	5
(5)	CV Geopolimero	1	2.5
(13)	CV mijo	1	2.5
(3)	CV papel	1	2.5
(4)(7)(8)(10)(29)(31)(32)(36)(37)(38)(39)	CV variadas	11	27.5
(16)(18)(25)	CM abanico	3	7.5
(9)(27)(34)	CM almeja	3	7.5
(11)(17)(20)(21)(24)(26)	CM berberecho	6	15
(23)	CM bígaro	1	2.5
(22)	CM Gallo	1	2.5
(15)	CM Mytilus chilensis	1	2.5
(2)(19)(28)(35)(40)	CM variadas	5	12.5
40 artículos	Total	40	100

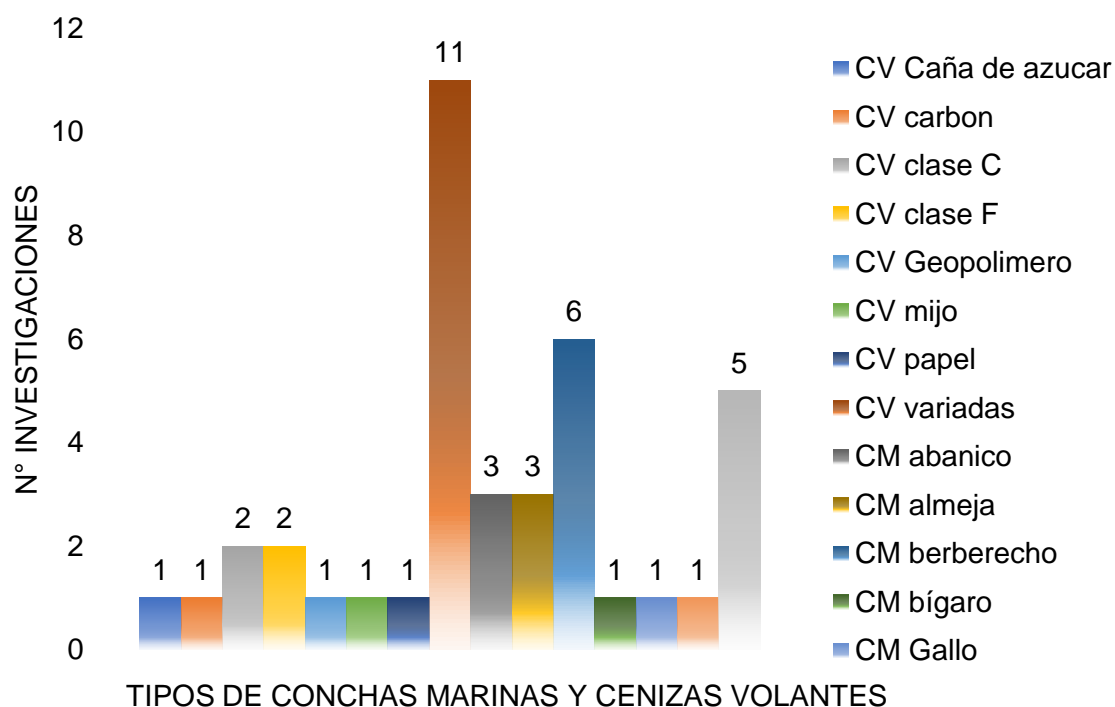


Figura 1. Tipos de conchas marinas y cenizas volantes utilizados en la estabilización de suelos.

Tabla 3. Dosificaciones de conchas marinas y cenizas volantes utilizados en la estabilización de suelos.

Referencia	Tipos	Dosificación	N° Investigaciones	%
(8)	Cenizas Volantes (CV)	2% CV	1	2.5
(10)		4.2% CV	1	2.5
(3)		5% CV	1	2.5
(1)		7% CV	1	2.5
(36)		9% CV	1	2.5
(7)(13)(30)(39)		10% CV	4	10
(38)		12% CV	1	2.5
(5)(6)(12)(31)(37)		15% CV	5	12.5
(29)(32)		20% CV	2	5
(4)(14)(33)		25% CV	3	7.5
(11)	Conchas Marinas (CM)	5% CM	1	2.5
(16)		6% CM	1	2.5
(40)		7.5% CM	1	2.5
(25)		9% CM	1	2.5
(18)(20)(21)(22)(24)(26)(27)(34)(35)		10% CM	9	22.5
(2)(9)		12% CM	2	5
(19)		15% CM	1	2.5
(17)		16% CM	1	2.5
(15)		20% CM	1	2.5
(23)(28)		80% CM	2	5
40 artículos	Total	20	40	100

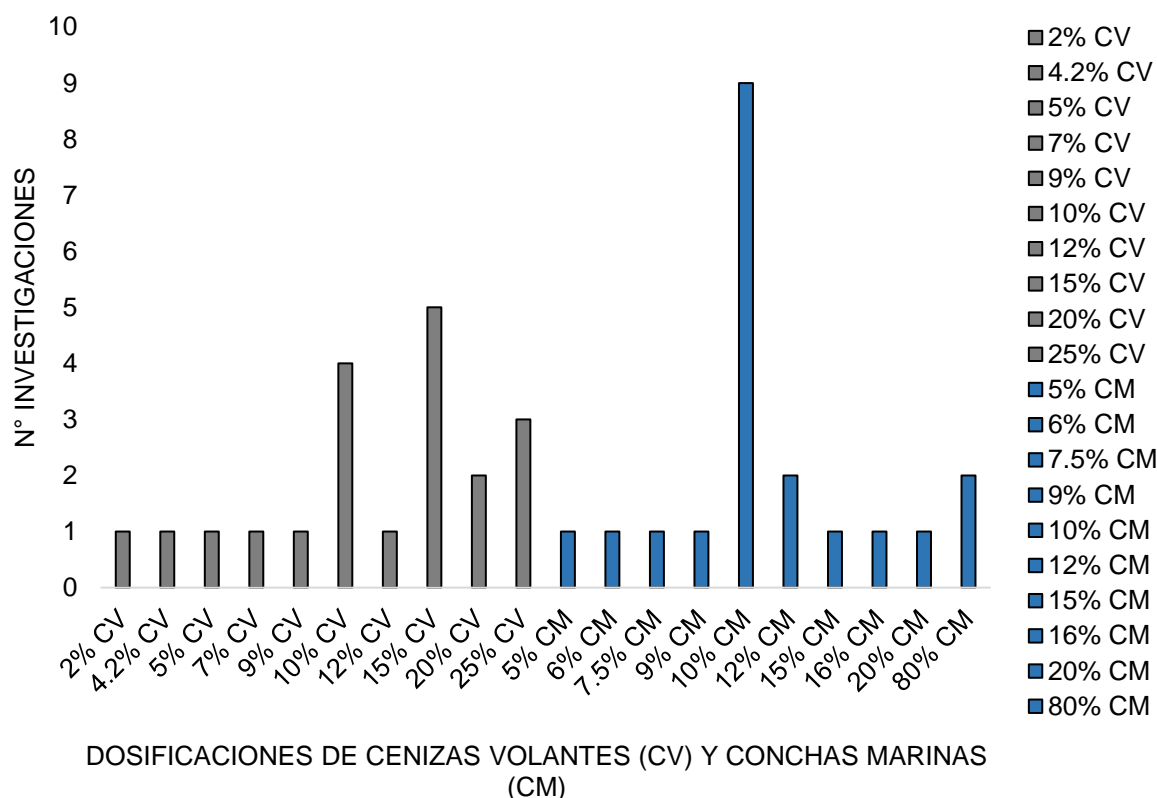


Figura 2. Dosificaciones de cenizas volantes y conchas marinas.

Tabla 4. Tipos de ensayos utilizados en la estabilización de suelos usando conchas marinas y cenizas volantes.

Referencia	CM/CV	Ensayos	N° Investigaciones
(4)(5)(6)(7)(8)(10)(12)(13)(14)(29) (30)(31)(32)(33)(36)(37)(39)	Cenizas Volantes (CV)	Límites de Atterberg	17
(1)(3)(5)(6)(7)(8)(10)(12)(13)(14) (29)(30)(31)(32)(33)(36)(37)(38) (39)		Proctor Modificado	19
(1)(6)(8)(10)(12)(13)(14)(29)(31) (32)(37)(39)		CBR	12
(1)(3)(4)(6)(7)(13)(29)(30)(33)(36) (38)		UCS	11
(2)(9)(11)(15)(16)(17)(18)(19)(20) (21)(22)(23)(24)(26)(27)(28)(34) (35)(40)	Conchas marinas (CM)	Límites de Atterberg	19
(2)(9)(11)(15)(16)(17)(18)(19)(20) (21)(22)(23)(24)(25)(26)(27)(28) (34)(35)(40)		Proctor Modificado	20
(9)(11)(15)(19)(22)(23)(24)(25) (27)(28)(34)		CBR	11
(2)(9)(16)(17)(18)(19)(20)(21)(22) (25)(26)(35)(40)		UCS	13

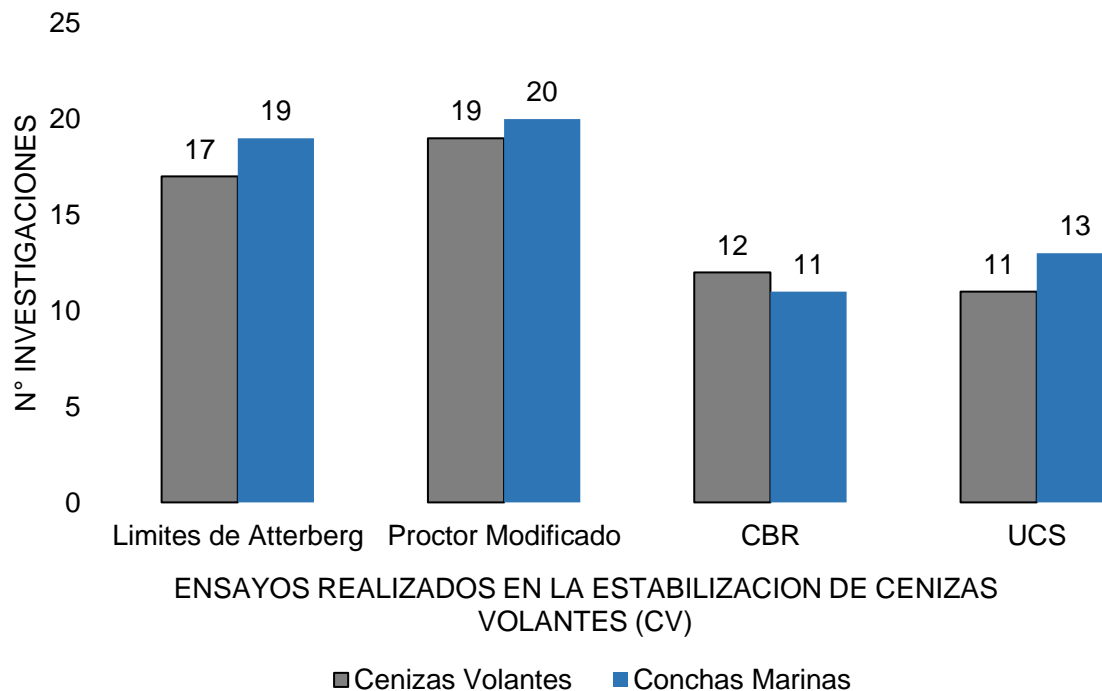


Figura 3. Ensayos realizados en la estabilización de cenizas volantes y conchas marinas.

Tabla 5. Resultados del suelo natural producto de la estabilización de suelos usando conchas marinas y cenizas volantes.

Referencia	CM/CV	Ensayos	Resultados		
			Ensayos	Rango	N° investigaciones
(6)(8)(29)	Cenizas Volantes	Límites de Atterberg	LL (%)	20 a 40	3
(4)(10)(12)(13)(31)(33)(36)(39)				40 a 60	8
(5)(7)(14)(30)(32)(37)				60 a 80	6
(8)(12)(29)			LP (%)	10 a 20	3
(4)(6)(10)(13)(39)				20 a 30	5
(5)(7)(31)(32)(33)(37)				30 a 40	6
(14)(30)(36)		40 a 50	3		
(38)		Proctor Modificado	MDS (gr/cm ³)	0.80 a 1.05	1
(5)(7)(31)(32)(39)				1.05 a 1.30	5
(14)(30)(33)(36)(37)				1.30 a 1.55	5
(1)(6)(10)(12)(13)(29)				1.55 a 1.80	6
(3)(8)				1.80 a 2.05	2
(1)(29)				OCH (%)	0 a 7
(3)(8)		7 a 14	2		
(10)(12)(13)(31)(33)		14 a 21	5		
(6)(7)(36)(37)(39)	21 a 28	5			
(5)(14)(30)(32)	28 a 35	4			
(38)	35 a 42	1			
(10)(12)(13)(14)(29)(32)	California Bearing Ratio	CBR (%)	0 a 5	6	
(6)(31)(37)(39)			5 a 10	4	
(8)			15 a 20	1	
(1)			20 a 25	1	
(6)(29)(30)(33)(36)(38)	Unconfined Compressive Strength	UCS (Mpa)	0.00 a 0.50	6	
(1)(7)(8)			0.50 a 1.00	3	
(3)(8)(13)			1.00 a 2.00	3	

(11)(23)(24)(34)	Conchas Marinas	Límites de Atterberg	LL (%)	35 a 45	4
(2)(9)(15)(16)(18)(19)(22)			LL (%)	45 a 55	7
(17)(27)(40)			LL (%)	55 a 65	3
(20)(21)(26)(35)			LL (%)	65 a 75	4
(2)(9)(11)(16)(23)(24)(27)(40)		LP (%)	LP (%)	15 a 30	8
(15)(18)(19)(20)(22)(26)(34)(35)			LP (%)	30 a 45	8
(17)		Proctor Modificado	MDS (gr/cm ³)	45 a 60	1
(9)(18)(24)(34)(35)(40)				1.20 a 1.40	6
(15)(19)(26)(27)				1.40 a 1.60	4
(11)(16)(20)(21)(25)				1.60 a 1.80	5
(2)(17)(22)(23)(28)		OCH (%)	OCH (%)	1.80 a 2.00	5
(16)(25)(28)				0 a 10	3
(2)(11)(20)(21)(22)(23)(24)(26)(34)				10 a 20	9
(15)(18)(19)(27)(35)(40)		California Bearing Ratio	CBR (%)	20 a 30	6
(9)(17)				30 a 40	2
(11)(15)(18)(19)(23)(25)		Unconfined Compressive Strength	UCS (Mpa)	0 a 5	6
(9)(24)(27)(34)	5 a 10			4	
(22)(28)	20 a mas			2	
(2)(9)(17)(20)(21)(26)(35)	Unconfined Compressive Strength	UCS (Mpa)	0.00 a 0.30	7	
(19)(22)(25)(40)			0.60 a 0.90	4	
(16)			0.90 a 1.20	1	

Tabla 6. Resultados del suelo dosificado producto de la estabilización de suelos usando conchas marinas y cenizas volantes.

Referencia	CM/CV	Ensayos	Resultados			
			Ensayos	Rango	N° investigaciones	
(6)(8)(10)(12)(13)(29)(31)(36)(39)	Cenizas Volantes	Límites de Atterberg	LL (%)	15 a 40	9	
(4)(5)(14)(32)(33)(37)				40 a 60	6	
(7)(30)				60 a 80	2	
(8)(29)				10 a 20	2	
(4)(5)(6)(7)(10)(12)(13)(31)(32)(39)				LP (%)	20 a 30	10
(14)(30)(33)(36)(37)				30 a 40	5	
(7)(32)(38)		Proctor Modificado	MDS (gr/cm ³)	1.10 a 1.30	3	
(5)(30)(31)(33)(39)				1.30 a 1.50	5	
(14)(29)(36)(37)				1.50 a 1.70	4	
(6)(10)(12)(13)				1.70 a 1.90	4	
(1)(3)(8)				1.90 a 2.10	3	
(1)		OCH (%)		0 a 7	1	
(3)(8)(10)(29)(31)				7 a 14	5	
(12)(13)(33)(37)(39)				14 a 21	5	
(5)(6)(7)(14)(36)				21 a 28	5	
29(38)	28 a 35			2		
(30)	35 a 42			1		
(6)(13)	CBR (%)		5 a 10	2		
(12)(14)(29)(31)(32)(37)(39)			10 a 20	7		
(1)(8)(10)			20 a mas	3		
(6)(29)(30)(38)	Unconfined Compressive Strength	UCS (Mpa)	0.00 a 0.50	4		
(4)(7)(36)			0.50 a 1.00	3		
(1)(3)(8)(13)(33)			1.00 a mas	5		

(2)(9)(16)(20)(21)(23)(24)(34)	Conchas Marinas	Límites de Atterberg	LL (%)	25 a 35	8
(11)(15)(18)(19)(22)(26)(40)				35 a 45	7
(27)(35)				45 a 55	2
(17)				55 a 65	1
(2)(9)(11)(16)(18)(19)(20)(21)(22)(23)(24)(34)(35)(40)		Proctor Modificado	LP (%)	15 a 30	14
(15)(26)(27)				30 a 45	3
(17)				45 a 60	1
(21)(26)				0.80 a 1.20	2
(9)(15)(17)(34)(35)(40)		MDS (gr/cm ³)	1.20 a 1.60	6	
(11)(16)(18)(19)(23)(24)(27)(28)			1.60 a 2.00	8	
(2)(20)(22)(25)	2.00 a mas		4		
(25)(28)	0 a 10		2		
(2)(11)(16)(20)(23)(24)(34)(40)	California Bearing Ratio	OCH (%)	10 a 20	8	
(9)(15)(18)(19)(22)(27)(35)			20 a 30	7	
(17)(21)(26)			30 a 50	3	
(9)(18)			6 a 10	2	
(15)(19)(23)(24)(27)(34)	Unconfined Compressive Strength	CBR (%)	10 a 20	6	
(11)			20 a 30	1	
(22)(25)(28)			30 a mas	3	
(9)(35)			0.00 a 0.30	2	
(17)	UCS (Mpa)	0.30 a 0.60	1		
(20)(21)(26)		0.60 a 0.90	3		
(2)(16)(19)(22)(25)(40)		0.90 a mas	6		

Tabla 7. Beneficios socioambientales usando conchas marinas y cenizas volantes para estabilizar suelos.

Referencia	CM / CV	Beneficios	N° Investigaciones
(1)(3)(4)(5)(6)(7)(8)(10)(12) (13)(14)(29)(30)(31)(32)(33)(36)(37)(38)(39)	Cenizas Volantes	Es más barato en comparación con otras soluciones establecidas, como la estabilización de suelos con cemento. Sin embargo, las cenizas volantes ya son materiales de desecho (o subproductos, en el mejor de los casos), por lo que el costo de estabilizar el suelo con ellos será sustancialmente menor	20
(2)(9)(11)(15)(16)(17)(18)(19)(20)(21)(22)(23)(24)(25) (26)(27)(28)(34)(35)(40)	Conchas marinas	La presencia de conchas marinas como desechos en las tierras causa daños ambientales y contaminación. Además, los malos olores y las monstruosidades que crean tienen un impacto negativo en el medio ambiente, por ello al utilizarlo como remplazado de la piedra caliza, traería beneficios ambientales.	20