ISBN: 978-628-96613-1-6. ISSN: 2414-6390. Digital Object Identifier: https://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2025.1.1.152

Literature review on the addition of coconut husk and cement to improve soil properties

Párrraga Vidal Anderson[1]; Herrera Rojas José Manuel [2]
[1]Universidad Tecnológica del Perú, Perú, U20213223@utp.edu.pe
[2]Universidad Tecnológica del Perú, Perú, U20209277@utp.edu.pe

Abstract— **Soil stabilization using natural materials has gained importance in civil engineering, highlighting the use of agroindustrial waste such as coconut shells, a sustainable resource with multiple benefits. This article reviews the current literature on the effects of coconut husk and cement in soil stabilization, focusing on its chemical and physical properties, as well as its application in clayey soils with low bearing capacity. The studies analyzed indicate that the use of coconut husk, in its shredded form or as charcoal powder, significantly improves shear strength, bearing capacity (measured through CBR tests) and resistance to deformation. Also, the addition of this residue reduces soil expansion under wet conditions, which is crucial for the durability of road infrastructures in regions with problematic soils. The optimal incorporation percentages and test methods used in the investigations reviewed are also discussed, highlighting the usefulness of this alternative as an ecologically and economically viable method for subgrade stabilization. The review concludes that the use of coconut shell in soil stabilization projects is an effective strategy to improve soil mechanical properties, reduce environmental impact and promote the reuse of organic wastes.**

Key words: coconut husk; soil stabilization; sustainable material; clay soils; subgrade; subgrade

Revisión de la literatura sobra la adición de cascara de coco y cemento para mejorar las propiedades del suelo

Párrraga Vidal Anderson[1]; Herrera Rojas José Manuel [2]
[1]Universidad Tecnológica del Perú, Perú, U20213223@utp.edu.pe
[2]Universidad Tecnológica del Perú, Perú, U20209277@utp.edu.pe

***Resumen*— La** estabilización de suelos mediante materiales naturales ha cobrado importancia en la ingeniería civil, destacándose el uso de residuos agroindustriales como la cáscara de coco, un recurso sostenible con múltiples beneficios. Este artículo realiza una revisión de la literatura actual sobre los efectos de la cáscara de coco y cemento en la estabilización de suelos, enfocándose en sus propiedades químicas y físicas, así como en su aplicación en suelos arcillosos y de baja capacidad portante. Los estudios analizados indican que el uso de cáscara de coco, en sus formas triturada o como polvo de carbón, mejora significativamente la resistencia al corte, la capacidad de carga (medida a través de ensayos CBR) y la resistencia a la deformación. Asimismo, la adición de este residuo reduce la expansión del suelo en condiciones de humedad, lo cual es crucial para la durabilidad de las infraestructuras viales en regiones con suelos problemáticos. Se discuten además los porcentajes óptimos de incorporación y los métodos de ensayo empleados en las investigaciones revisadas, resaltando la utilidad de esta alternativa como un método ecológico y económicamente viable para la estabilización de subrasantes. La revisión concluye que el empleo de la cáscara de coco en proyectos de estabilización de suelos es una estrategia eficaz para mejorar las propiedades mecánicas del suelo, reducir el impacto ambiental y fomentar la reutilización de residuos orgánicos.

Palabras clave: Cascara de coco; estabilización de suelos; material sostenible; suelos arcillosos; subrasante

***Abstract*— Soil** stabilization using natural materials has gained importance in civil engineering, highlighting the use of agroindustrial waste such as coconut shells, a sustainable resource with multiple benefits. This article reviews the current literature on the effects of coconut husk and cement in soil stabilization, focusing on its chemical and physical properties, as well as its application in clayey soils with low bearing capacity. The studies analyzed indicate that the use of coconut husk, in its shredded form or as charcoal powder, significantly improves shear strength, bearing capacity (measured through CBR tests) and resistance to deformation. Also, the addition of this residue reduces soil expansion under wet conditions, which is crucial for the durability of road infrastructures in regions with problematic soils. The optimal incorporation percentages and test methods used in the investigations reviewed are also discussed, highlighting the usefulness of this alternative as an ecologically and economically viable method for subgrade stabilization. The review concludes that the use of coconut shell in soil stabilization projects is an effective strategy to improve soil mechanical properties, reduce environmental impact and promote the reuse of organic wastes.

Key words: coconut husk; soil stabilization; sustainable material; clay soils; subgrade; subgrade

I. Introducción

La referencia [1] señala que ciertos tipos de suelos requieren un análisis específico al desarrollar un proyecto, debido a los efectos adversos que pueden surgir al modificar sus condiciones in situ, como ocurre con los suelos expansivos. Estos suelos son de tipo cohesivo, con un bajo nivel de saturación, y están compuestos principalmente por materiales finos como limos y arcillas; una característica clave de estos suelos es su potencial de expansión [2]. La referencia [3], en el Perú existen extensas áreas con suelos expansivos, lo que hace esencial su estudio para su uso en proyectos de carreteras, pavimentaciones, edificaciones, entre otros. Los suelos expansivos presentan problemas de deformación debido a los cambios volumétricos causados por la alta presencia de agua. Una posible solución para mejorar las propiedades de estos suelos es el uso de aditivos naturales como la ceniza de cáscara de coco, un residuo agroindustrial que ofrece beneficios tanto en la mejora de la capacidad de carga y resistencia al corte como en la reducción de la expansión del suelo bajo condiciones húmedas. Investigaciones han demostrado que en cantidades óptimas, este aditivo incrementa la cohesión y estabilidad de suelos expansivos, favoreciendo un suelo más resistente y estable. Además, el empleo de ceniza de cáscara de coco aporta un enfoque sostenible al incorporar materiales

residuales que, de otro modo, podrían desecharse sin aprovechamiento alguno. El estudio de estos aditivos y su eficacia en la estabilización de suelos para infraestructuras de bajo y mediano tránsito permite entender mejor las mejoras alcanzables en términos de capacidad portante y reducción de deformaciones, contribuyendo a la seguridad y durabilidad de la vía. Esta revisión se enfoca en las investigaciones recientes sobre el uso de ceniza de cáscara de coco para la estabilización de suelos expansivos, explorando su efectividad, métodos de aplicación y beneficios ambientales como una alternativa viable para la infraestructura vial.

II. METODOLOGÍA

Este artículo se desarrolló a partir de una metodología de revisión sistemática, centrada en literatura científica de los últimos cinco años, para reunir información actual sobre el uso de aditivos en la estabilización de suelos, en especial suelos expansivos. Ref [4] resalta que las revisiones sistemáticas permiten integrar estudios que abordan preguntas similares, ofreciendo una visión amplia y bien estructurada del tema. Además, la referencia [5] subrayan que el método PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) es una herramienta efectiva para organizar y presentar resultados en revisiones, minimizando sesgos y mejorando la calidad de los hallazgos.

Para la recopilación de información, se emplearon bases de datos académicas de amplio alcance como Scopus, Dialnet, IOPscince y Springer Nature, que proporcionan acceso a investigaciones de alta calidad revisadas por pares. La selección de artículos se hizo mediante una búsqueda avanzada usando términos clave específicos como "ceniza de cáscara de coco", "suelos expansivos", "estabilización del suelo", “subrasante” y "material sostenible", lo que permitió encontrar estudios recientes y relevantes para los objetivos de la investigación.

El proceso metodológico siguió los siguientes:

1. Búsqueda inicial de información de acuerdo con las variables de la investigación.
2. Ser estudios actuales, publicados entre 2018 y 2024,
3. Se seleccionaron artículos que cumplían con los criterios de ser investigaciones primarias.
4. Se consideraron solo artículos en inglés y español, publicados en revistas científicas revisadas por pares y con enfoque en la estabilización de suelos mediante aditivos.
5. Se realizó una búsqueda secundaria en las referencias de los artículos seleccionados para identificar estudios adicionales.
6. Se verificaron los estudios siguiendo el protocolo PRISMA para evaluar su coherencia y relevancia en relación con la pregunta de investigación.

TABLA I
CRITERIOS FIJADOS DE INCLUSIÓN Y CRITERIOS DE EXCLUSIÓN DE LA REVISIÓN

Criterios fijados de inclusión	Criterios fijados de exclusión
Investigaciones publicadas entre los años 2018-2024.	Investigaciones publicadas antes del rango 2018-2024.
Investigaciones en idioma español e inglés.	Investigaciones que no sean del idioma español e inglés.
Bases de datos bibliográficos (Scopus, Dialnet, IOPscince y Springer Nature)	Investigaciones que carezcan de autor ni fecha de publicación.
País de publicación nacional e internacional	Investigaciones que no sean indexadas.
El título de la investigación debe tener palabras clave como: Estabilización de suelos, subrasante, cascara de coco, cemento.	Investigaciones que no tengan las palabras clave como: Estabilización de suelos, subrasante, cascara de coco, cemento.

Los criterios de inclusión presentados en la tabla anterior facilitaron que la búsqueda y recolección de información resultaran en la siguiente tabla, la cual detalla los aspectos y datos evaluados para garantizar la calidad de las investigaciones seleccionadas.

TABLA II
MATRIZ DE BÚSQUEDA PARA LA REVISIÓN SISTEMÁTICA

Aspecto	Valoración para la selección
Título y resumen	Si el título y el resumen están asociados con el tema de estabilización de suelos, específicamente con el uso de aditivos naturales (como ceniza de cáscara de coco) y describen claramente el propósito del estudio.
Objetivos y fundamento	Si se presentan de forma clara los objetivos del estudio y el fundamento teórico, detallando la relevancia de los aditivos en la mejora de las propiedades de los suelos expansivos.
Método y tipo de investigación.	Si se detalla el tipo de investigación y el método utilizado, especialmente en estudios que emplean metodologías experimentales o analíticas para evaluar el rendimiento de los aditivos en suelos.
Hallazgos de resultados	Si los resultados presentados están directamente relacionados con la eficacia de los aditivos en la estabilización de suelos, mostrando datos sobre las propiedades mejoradas del suelo.
Conclusiones	Si las conclusiones están alineadas con los hallazgos y ofrecen implicaciones prácticas sobre el uso de aditivos naturales en la ingeniería.

III. DESARROLLO

Luego de haber realizado la búsqueda sistemática se obtuvo como resultado 35 documentos de investigación, pero al ser

evaluado por los criterios de exclusión e inclusión, se llego a obtener 12 investigaciones.

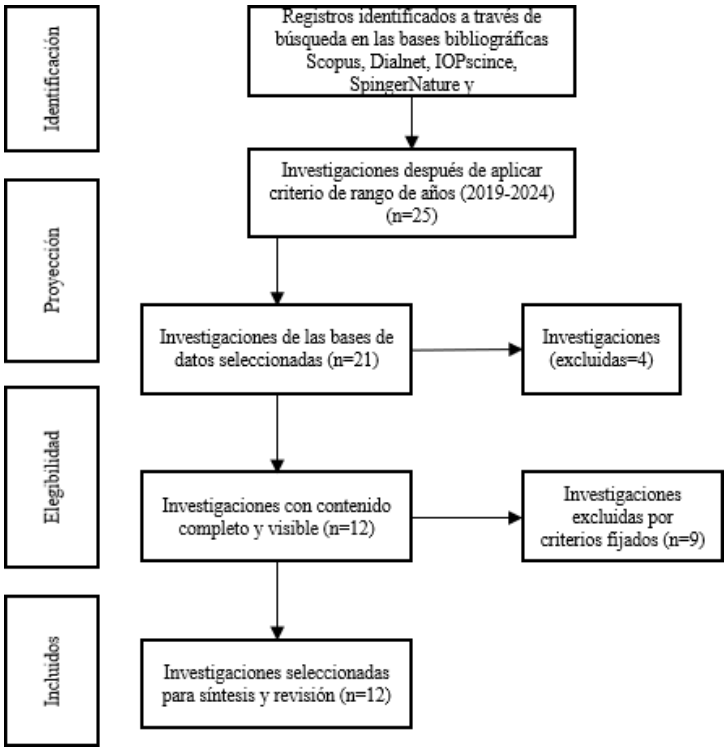

Fig. 1 Diagrama del método Prisma

Nota: Elaboración propia

Como apreciamos en la Fig. 1 podemos ver que las investigaciones encontradas resultaron en 25, sin embargo, al ser evaluadas por los criterios de exclusión se obtuvieron 12.

A continuación, se muestras en 2 partes las principales características de las 12 investigaciones seleccionadas.

TABLA III

LISTA DE INVESTIGACIONES SELECCIONADAS EN LA REVISION SISTEMICA PARTE 1

Titulo	**Autores**	**Base de datos**	**País**
An approach for strength development assessment of cement-stabilized soils with various sand and fine contents	Gampanart Sukmak. Patimapon Sukmak. Suksun Horpibulsuk. Veena Phunpeng. Arul Arulrajah.	Scopus	Tailandia
Effects of Brewery Spent Grain Ash on Lime- Stabilized Clayey Soil	Kebede, Getu	Springer Narute	Etiopia
Estimating the strength of soil stabilized with cement and lime at optimal compaction using ensemble-based multiple machine learning	Kennedy, Onyelowe. Arif, Baig. Ahmed, Ebid. Atekh, Ur. Shadi, Hanandeh. Vishnu, Priyan.	Scopus	Arabia Saudita.
Utilization of Coconut Shell Charcoal to Improve Bearing Capacity of Clay as Subgrade for Road Pavement	Andriani. Rina Yuliet. Dwiki Permana.	IOPscience	Indonesia.
Soil and clay stabilization with calcium- and non-calcium-based additives: A state-of-the-art review of challenges, approaches and techniques	Ali Behnood.	Scopus	EE. UU.
Stability Analysis and Prediction of Coconut Shell Ash Modified Expansive Soil as Road Embankment Material	Chijioke Christopher. Donald Chimobi.	Springer Nature	Reino Unido.
Expansion evaluation of presaturated soils	José González. Omar Chávez.	Dialnet	México.
A Study on Crushed Coconut Shells as Stabiliser to Soil	Faizah Kamarudin. Alif Mohd. Muhammad Haziq. Azura Ahmad. Muhammad Sofian.	IOPscience	Malasia.

Comparative Assessment of the Stabilization of Lime-Stabilized Lateritic Soil as Subbase Material Using Coconut Shell Ash and Coconut Husk Ash	Chijioke C.	Springer Nature	Nigeria.
Effect of Fly Ash and Cement on the Engineering Characteristic of Stabilized Subgrade Soil: An Experimental Study	Partab Rai. Wengué Qiu. Huafu Pei. Jihui Chen. Xu Feng Ai. Yang Liu. Mahmud Ahmad.	Scopus	China.
Effectiveness of crushed coconut shell and eggshell powder to act as subgrade stabilizer	Ramli R. Yahaya N. Bakar A. Dollah Z. Idrus J. Abdullah H.	IOPscience	Malasia.
Coal ash as a natural additive for subgrade stabilization in the construction of low-volume traffic roads	Suarez Maldonado. Pajaro Miranda.	Dialnet	Colombia.

TABLA IV

LISTA DE INVESTIGACIONES SELECCIONADAS EN LA REVISION SISTEMICA PARTE 2

Año	Tipo de estudio	Resumen
2024	Articulo Científico.	El estudio evaluó la estabilización de suelos con cemento, analizando mezclas de arena y limo arcilloso en proporciones variables (100:0 a 0:100). Se identificó que la resistencia a la compresión depende del contenido de finos, agua y cemento, modelada con precisión mediante una función matemática. El enfoque propuesto, validado con un MAPE < 7 % y un coeficiente de determinación > 0,95, optimiza el diseño de mezclas y reduce pruebas repetitivas, facilitando decisiones eficientes en el uso de materiales.
2023	Artículo Científico.	El estudio evaluó el uso de cenizas de granos gastados de cervecería (BSGA) como aditivo sostenible en la estabilización de suelos arcillosos tratados con cal para aplicaciones viales. Con un 10% de cal como base óptima, se agregó BSGA en proporciones de 2 a 10%, logrando mejoras significativas. Al 6% de BSGA, se obtuvieron los mejores resultados: aumentos en la CBR (14,99% sin empapar y 9,3% empapar) y en la resistencia a la compresión (130,31 kN/m²). Esto confirma la eficacia de BSGA como estabilizador sostenible para suelos expansivos.
2024	Articulo Científico.	El estudio comparó técnicas de predicción de la resistencia a la compresión (UCS) en suelos cohesivos tratados con cemento y cal para aplicaciones como subrasantes y revestimientos de vertederos. Usando modelos de aprendizaje automático, aumento de gradiente (GB) y k-vecino más cercano (K-NN) lograron las mejores precisiones (95%), mientras que NB fue el menos efectivo (13%). Los factores más influyentes en la UCS fueron la densidad seca máxima (MDD) y los límites de consistencia, con menor impacto del contenido de cal y la humedad de compactación. Estos hallazgos optimizan la mejora de suelos en campo.
2021	Articulo Científico.	El estudio evaluó el impacto del carbón de cáscara de coco en suelos arcillosos, mejorando su capacidad de carga (CBR) y reduciendo el hinchamiento. Con un 4% de aditivo, se alcanzaron los mejores resultados: CBR de 14,69% sin remojo tras 7 días de curado, 8,53% en suelo empapado y un índice de hinchamiento de 0,24%. Estos hallazgos destacan el potencial del carbón de cáscara

		de coco para estabilizar capas de carreteras y aumentar su resistencia a cargas.
2018	Articulo Científico.	El artículo revisa técnicas y aditivos para la estabilización de suelos, mejorando propiedades como resistencia, permeabilidad y durabilidad. Destaca estabilizadores basados y no basados en calcio, además de alternativas ecológicas. También aborda problemas asociados a sales disruptivas y sulfatos, proponiendo soluciones para su manejo en proyectos de estabilización, promoviendo prácticas más sostenibles y eficaces.
2022	Articulo Científico.	El estudio mostró que una mezcla con 16% de CSA mejora significativamente las propiedades del suelo, alcanzando UCS de 374 kPa, CBR de 8.3% (empapado) y 28% (no empapado), y cohesión de 214 kPa. La simulación numérica evidenció que la pendiente estabilizada era segura en condiciones extremas. Modelos predictivos como MLR y ANFIS destacaron por su precisión, siendo ANFIS el más efectivo con R^2 de hasta 0.974 en condiciones secas y 0.956 en húmedas. Estos hallazgos proponen una solución sostenible para reutilizar suelos expansivos en terraplenes de carreteras.
2021	Articulo Científico.	El estudio evaluó la estabilización de suelos expansivos mediante saturación inicial, una alternativa económica a los aditivos convencionales. Pruebas de expansión y ensayos triaxiales demostraron que, al incrementar la saturación inicial, la deformación por expansión se redujo, el ángulo de fricción interna disminuyó y la cohesión se mantuvo constante. Con una buena correlación en los resultados, se concluyó que la saturación por ascensión capilar, lograda en aproximadamente tres días, es un método viable y eficaz para estabilizar suelos arcillosos expansivos.
2023	Articulo Cientifico.	El estudio analizó el uso de cáscaras de coco trituradas (CCS) como estabilizador de suelos lateríticos para mejorar la resistencia de la subrasante en la construcción de carreteras. Se probó una mezcla de CCS con suelos de limo arenoso de alta plasticidad en proporciones del 1% al 8%. Los resultados mostraron que el valor CBR aumentó con el porcentaje de CCS, alcanzando su máximo de 27.5% con un 4% de CCS. Sin embargo, a partir del 8%, el valor CBR disminuyó a 5.25%, inferior al del suelo no estabilizado. El estudio concluye que el CCS es efectivo hasta un 4% para mejorar la resistencia del suelo.
2019	Articulo Cientifico.	El estudio evaluó el impacto de dos aditivos agrícolas, ceniza de cáscara de coco (CSA) y ceniza de cáscara de arroz (CHA), sobre la estabilización de suelos lateríticos con cal. Los mejores resultados de CBR y UCS para CSA se obtuvieron con una mezcla de 4% de CSA y 4% de cal, mientras que para CHA, la combinación más efectiva fue de 16% de CHA y 4% de cal. Aunque los valores de CBR y UCS para CSA fueron superiores a los de CHA, ninguno de los suelos tratados alcanzó los requisitos para subbase, pero ambos cumplen con los estándares para ser material de subrasante.
2021	Artículo de Investigación	El estudio investigó el uso de cenizas volantes (FA) y cemento (OPC) de desecho como aditivos en la estabilización de suelos de subrasante. Se encontró que la incorporación de estos materiales mejora significativamente las propiedades del suelo, ofreciendo además beneficios ambientales y económicos. Con una mezcla de 20% de cenizas volantes y 8% de cemento, el valor CBR aumentó un 71,34%, alcanzando 10,12%, y el UCS mejoró un 48,20%, llegando a 167,75 kPa. Estos resultados demuestran que el uso de cenizas volantes y cemento como estabilizadores es una alternativa rentable y ecológica para mejorar la estabilidad de suelos expansivos en pavimentos y cimentaciones.

2019	Articulo Cientifico.	El estudio evaluó el uso de polvo de cáscara de huevo (ESP) y cáscara de coco triturada (CCS) como estabilizadores para suelos de subrasante, con el objetivo de mejorar su resistencia. Se probó una mezcla constante de 3% de ESP con diferentes porcentajes de CCS (2%, 4%, 6%, 8%). Los resultados indicaron que la mezcla óptima para mejorar la resistencia fue 4% de CCS y 3% de ESP, alcanzando el valor máximo de CBR. Estos hallazgos demuestran el potencial de estos materiales agrícolas reciclados para estabilizar suelos débiles, ofreciendo una solución sostenible para la mejora de la subrasante en pavimentos.
2024	Articulo Cientifico.	El artículo aborda el grave problema de las vías rurales en Colombia, donde el 96% de las subrasantes están en mal estado, afectando la conectividad entre comunidades rurales y centros urbanos. Se propone el uso de cenizas de carbón como estabilizador para mejorar la resistencia y capacidad de carga del suelo. Los resultados del estudio demostraron que las cenizas de carbón, debido a sus propiedades aglutinantes y reactivas, mejoran significativamente las propiedades mecánicas de los suelos. Las pruebas realizadas en muestras de arena arcillosa confirmaron su efectividad para estabilizar suelos en las zonas rurales de Colombia.

En la revisión sistemática se buscaron investigaciones tanto nacionales como internacionales; Sin embargo, todas las investigaciones resultaron ser internacionales. Por ello, se procederá a clasificarlas por continentes.

TABLA V
DISTRIBUCION DE LOS CONTINENTES DE LA REVISION SISTEMATICA

Continente	Documentos	%
Norte América	2	17%
América del Sur	1	8%
Asia	6	50%
África	2	17%
Europa	1	8%

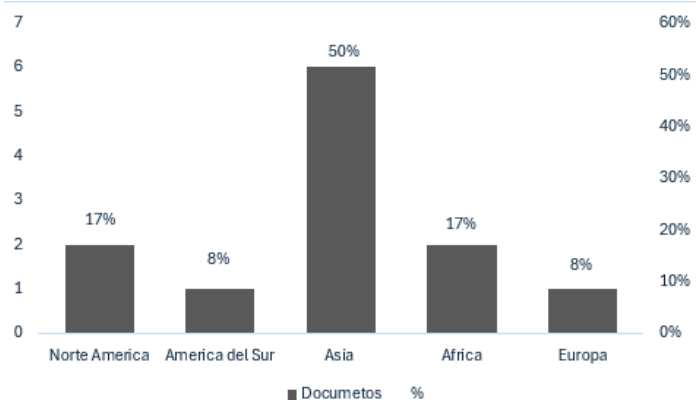

Fig. 2 Distribución de los continentes de la revisión sistemática

En la tabla V y la figura 2, podemos notar que Asia está en primer lugar con 50% de participación (6 estudios), quienes le continua es África y Norte América con 17% (2 estudios) y por último América del Sur y Europa, ambos países con 8% de participación (1 estudio).

TABLA VI
CLASIFICACIÓN DE LAS INVESTIGACIONES POR AÑO

Año	Frecuencia	%
2024	3	27%
2023	2	18%
2022	1	9%
2021	3	27%
2019	1	9%
2018	1	9%
Total	11	100%

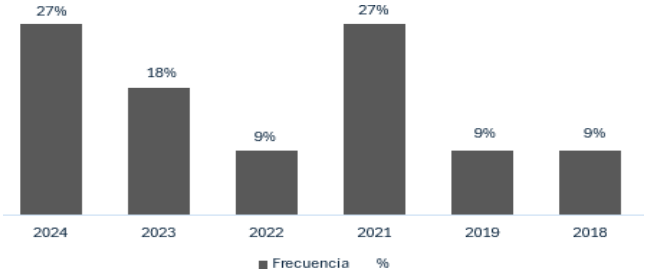

Fig. 3 Clasificación de las investigaciones por año

En la tabla VI y en la figura 3, podemos notar que en 2024 y 2021 representan el 27% (3 investigaciones en cada año) de las

investigaciones realizadas en el rango establecido, el 18% (2 investigación en cada año)de las investigaciones realizadas en los años seleccionados está representada en el año 2023, y por ultimo los años 2022,2019 y 2018 representan el 9% (1 investigación en cada año)de las investigaciones seleccionadas.

TABLA VII
CLASIFICACIÓN POR BASE DE DATOS BIBLIOGRAFICAS DE LAS INVESTIGACIONES INCLUIDAS

Base bibliografica	Frecuencia	%
Dialnet	2	17%
Scopus	4	33%
IOPscince	3	25%
Spinger Naure	3	25%
Total	12	100%

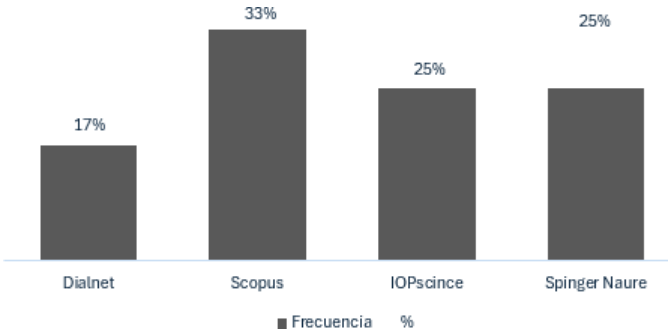

Fig.4 Clasificación por base de datos bibliográficas de las investigaciones incluidas

En la tabla VII y la figura 4, podemos apreciar que Scopus es la base bibliográfica donde se encontró más investigaciones que se representa con un 33%, luego tenemos a las bases de bibliográficas IOPscince y Spinger nature que representan el 25% del total de investigaciones seleccionada y finalmente se encuentra Dialnet con un 17% del total.

IV. DISCUSIÓN

Los estudios analizados destacan el enorme potencial de la cáscara de coco y el cemento como estabilizadores del suelo para subrasantes. Un hallazgo común es que la cáscara de coco, en forma de cenizas o carbón, mejora considerablemente la capacidad de carga y la resistencia del suelo. Por ejemplo, con un 4% de carbón de cáscara de coco, se logró un aumento notable en el valor CBR, alcanzando niveles óptimos que hacen al suelo más estable y apto para soportar cargas de tráfico pesado.

El cemento, por su parte, actúa como un refuerzo complementario. Al combinarse con la cáscara de coco, los resultados son aún más prometedores. En ciertas proporciones, como un 4% de cenizas de coco junto con un 8% de cemento, se logró una mejora del 71% en el CBR y un aumento significativo en la resistencia a la compresión. Esto no solo fortalece el suelo, sino que también reduce problemas como el hinchamiento, lo que es fundamental para evitar deformaciones en las carreteras.

Lo interesante de estas soluciones es que no solo son efectivas desde el punto de vista técnico, sino que también abren puertas hacia una construcción más sostenible. Utilizar cáscara de coco, un abundante en muchas regiones, no solo reduce costos, sino que el residuo también minimiza el impacto ambiental al darle un nuevo uso a estos desechos

IV. CONCLUSIONES

La revisión sistemática permitió analizar a fondo 35 documentos iniciales relacionados con la estabilización de suelos utilizando aditivos como la cáscara de coco y el cemento. Tras una evaluación cuidadosa bajo criterios de inclusión y exclusión, se seleccionaron 12 estudios clave para el análisis. Los estudios seleccionados destacan el impacto positivo de estos aditivos en las propiedades del suelo. En particular, se observó que la adición cáscara de coco optimiza notablemente la resistencia y capacidad portante de suelos arcillosos. Además, combinar estratégicamente este material con cemento puede potenciar estas mejoras, alcanzando incrementos significativos de hasta un 71% en el valor CBR. También se evidenció una mayor estabilidad volumétrica en el suelo tratado, lo cual es fundamental para prolongar la vida útil de las estructuras viales construidas sobre él.

Desde el punto de vista ambiental, el uso de residuos como la cáscara de coco representa una alternativa innovadora y sostenible. No solo mejora las propiedades físico-mecánicas del suelo, sino que también contribuye a la reducción de desechos y disminuye la dependencia de materiales convencionales, en línea con los objetivos globales de sostenibilidad en el sector de la construcción.

REFERENCIAS

[1] Fundamentos de ingeniería geotécnica. Braja M. Das. Capítulos 1 y 2, 2001

[2] Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, “Norma técnica E.050 de Suelos y Cimentaciones”, 2018.

[3] A. Carrillo Gil, "Suelos Expansivos," Tesis de Maestría, Departamento de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú, 2009.

[4] Beltrán, LA "Revisión sistemática: Una metodología para la integración y análisis de estudios científicos". *Revista de Investigación Científica*, vol. 15, núm. 2, págs. 23-30, 2018.

[5] Moher, D., Liberati, A., Tetzlaff, J., y Altman, DG. "Elementos de informe preferidos para revisiones sistemáticas y metaanálisis: la declaración PRISMA". *PLoS Medicine* , vol. 6, núm. 7, pág. e1000097, 2009. doi: 10.1371 / journal. pmed.1000097

[6] G. Sukmak, P. Sukmak, S. Horpibulsuk, V. Phunpeng y A. Arulrajah, “Un enfoque para la evaluación del desarrollo de la resistencia de suelos estabilizados con cemento con diversos contenidos de arena y finos”, *Transp. Geotech.* , vol. 48, núm. 101323, pág. 101323, 2024. doi.org/10.1016/j.trgeo.2024.101323

[7] NG Kebede, “Efectos de las cenizas de granos usados de cervecería en suelo arcilloso estabilizado con cal”, *Int. J. Pavement Res. Technol.* , vol. 17, núm. 4, págs. 1072–1078, 2024.

[8] KC Onyelowe, AAB Moghal, A. Ebid, AU Rehman, S. Hanandeh y V. Priyan, “Estimación de la resistencia del suelo estabilizado con cemento y cal en compactación óptima utilizando aprendizaje automático múltiple basado en conjuntos”, *Sci. Rep.* , vol. 14, núm. 1, 2024. doi.org/10.1038/s41598-024-66295-4

[9] Andriani *et al* Utilization of Coconut Shell Charcoal to Improve Bearing Capacity of Clay as Subgrade for Road Pavement Medio Ambiente Tierra. Ciencia. 832 012041, 2021. Doi: 10.1088/1755-1315/832/1/012041

[10] A. Behnood, "Soil and clay stabilization with calcium- and non-calcium-based additives: A state-of-the-art review of challenges, approaches and techniques," *Transp. Geotech.*, vol. 17, pp. 14–32, 2018. doi.org/10.1016/j.trgeo.2018.08.002.

[11] C. C. Ikeagwuani and D. C. Nwonu, "Stability analysis and prediction of coconut shell ash modified expansive soil as road embankment material" *Transp. Infrastruct. Geotechnol.*, vol. 10, no. 2, pp. 329–358, 2023. doi.org/10.1007/s40515-021-00215-1

[12] J. L. González Rufino and O. Chávez Alegría, "Evaluación de la expansión en suelos presaturados," *Ing. Investig. Tecnol.*, vol. 22, no. 4, pp. 1–14, 2021.

[13] Faizah Kamarudin *et al* . A Study on Crushed Coconut Shells as Stabiliser to Soil. Medio Ambiente Tierra. Ciencia. **1238** 012017, 2023. Doi: 10.1088/1755-1315/1238/1/012017

[14] C. C. Ikeagwuani, "Comparative assessment of the stabilization of lime-stabilized lateritic soil as subbase material using coconut shell ash and coconut husk ash" *Geotech. Geol. Eng.*, vol. 37, no. 4, pp. 3065–3076, 2019. doi.org/10.1007/s10706-019-00825-0

[15] Rai, Partab & Qiu, Wenge & Pei, Huafu & Chen, Jihui & Ai, Xufeng & Liu, Yang & Ahmad, Mahmood. (2021). Effect of Fly Ash and Cement on the Engineering Characteristic of Stabilized Subgrade Soil: An Experimental Study. Geofluids. 10.1155/2021/1368194.

[16] R Ramli *et al* 2019 *J. Phys.* Effectiveness of crushed coconut shell and eggshell powder to act as subgrade stabilizer. **1349** 012076, 2019. Doi: 10.1088/1742-6596/1349/1/012076

[17] R. J. Suarez Maldonado and C. A. Pajaro Miranda, "Coal ash as a natural additive for subgrade stabilization in the construction of low-volume traffic roads," *Earth Sci. Res. J.*, vol. 28, no. 1, pp. 73–78, 2024 doi.org/10.15446/esrj.v28n1.110855

.