

Estabilización de Suelo Arcilloso con Residuos de Concreto para el Mejoramiento de la Subrasante de una Vía

Stabilization of Clay Soil with Concrete Waste for the Improvement of a Road Subgrade

Felipe Huamani-Arango

Universidad Nacional de Huancavelica, Perú

E-mail: felipe.huamani@unh.edu.pe ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3255-0707>

Fausta Roncal-Guzmán

Universidad Nacional de Huancavelica, Perú

E-mail: fausta.roncal@unh.edu.pe ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6219-9743>

Carlos Poma-Ramos

Universidad Nacional de Huancavelica, Perú

E-mail: carlos.poma@unh.edu.pe ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2134-9346>

Juan José Bonifaz-Palomino

Universidad Nacional de Huancavelica, Perú

E-mail: juan.bonifaz@unh.edu.pe ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-1053-1489>

Resumen

El presente trabajo tiene como finalidad analizar, desde una perspectiva técnica y científica, el potencial de estabilización de suelos arcillosos mediante la incorporación de residuos de concreto reciclado, con énfasis en su aplicación al mejoramiento de subrasantes viales, realizando una revisión de la literatura acerca del efecto de este tipo de estabilización sobre algunas propiedades geotécnicas como el índice CBR, el índice de plasticidad, la densidad seca máxima y el módulo de resiliencia. Los resultados muestran que la incorporación de concreto reciclado logra una mejora considerable en la capacidad portante del suelo y una reducción de la plasticidad del mismo, obteniendo así un comportamiento estructural adecuado para su uso en la subrasante. Las proporciones más efectivas varían entre 10% y 25%, dependiendo de las características del suelo y del residuo empleado. Asimismo, se identifican experiencias exitosas de aplicación en campo que confirman su viabilidad técnica, económica y ambiental, posicionando esta técnica como una alternativa sostenible en la ingeniería vial moderna. Se concluye que el uso de concreto reciclado no sólo permite la reutilización de aquellos materiales de desecho de la propia construcción, sino que también se traduce en un incremento de la calidad de la infraestructura vial, impulsando así prácticas más respetuosas con el ambiente.

Palabras Clave

Estabilización, concreto reciclado, suelo arcilloso.



Abstract

The aim of this work is to analyse, from a technical and scientific perspective, the potential for stabilising clayey soils by incorporating recycled concrete waste, with emphasis on its application to the improvement of road subgrades, reviewing the literature on the effect of this type of stabilisation on some geotechnical properties such as the CBR index, the plasticity index, the maximum dry density and the resilience modulus. The results show that the incorporation of recycled concrete achieves a considerable improvement in the bearing capacity of the soil and a reduction in soil plasticity, thus obtaining a structural behaviour suitable for use in the subgrade. The most effective proportions vary between 10% and 25%, depending on the characteristics of the soil and the residue used. Likewise, successful field application experiences are identified that confirm its technical, economic and environmental viability, positioning this technique as a sustainable alternative in modern road engineering. It is concluded that the use of recycled concrete not only allows the reuse of waste materials from the construction itself, but also translates into an increase in the quality of road infrastructure, thus promoting more environmentally friendly practices.

Keywords

Stabilization, recycled concrete, clay soil.

Sintesi

Lo scopo di questo lavoro è analizzare, da un punto di vista tecnico e scientifico, il potenziale di stabilizzazione dei terreni argillosi mediante l'incorporazione di rifiuti di calcestruzzo riciclato, con particolare attenzione alla sua applicazione per il miglioramento dei sottofondi stradali, rivedendo la letteratura sull'effetto di questo tipo di stabilizzazione su alcune proprietà geotecniche come l'indice CBR, l'indice di plasticità, la densità massima secca e il modulo di resilienza. I risultati mostrano che l'incorporazione di calcestruzzo riciclato consente di ottenere un notevole miglioramento della capacità portante del terreno e una riduzione della plasticità del suolo, ottenendo così un comportamento strutturale adatto all'uso nel sottofondo. Le proporzioni più efficaci variano tra il 10% e il 25%, a seconda delle caratteristiche del terreno e del residuo utilizzato. Inoltre, sono state individuate esperienze di applicazione sul campo che ne confermano la fattibilità tecnica, economica e ambientale, posizionando questa tecnica come un'alternativa sostenibile nella moderna ingegneria stradale. Si conclude che l'uso del calcestruzzo riciclato non solo consente il riutilizzo dei materiali di scarto della costruzione stessa, ma si traduce anche in un aumento della qualità delle infrastrutture stradali, promuovendo così pratiche più rispettose dell'ambiente.

Parole chiave

Stabilizzazione, cemento riciclato, terreno argilloso.



1. Introducción

El crecimiento urbano acelerado y la expansión de la infraestructura vial han generado una creciente demanda de soluciones sostenibles en el campo de la ingeniería civil, particularmente en lo que respecta al mejoramiento de suelos con baja capacidad portante. Los suelos arcillosos, comúnmente presentes en muchas regiones del mundo, se caracterizan por su alta plasticidad, baja resistencia al corte y sensibilidad a la humedad, lo cual representa un desafío técnico para el diseño y construcción de pavimentos duraderos (Gallardo et al., 2020; Das, 2016). Ante estas limitaciones, se han utilizado diferentes técnicas de estabilización, como por ejemplo la cal, cemento Portland, cenizas volantes, que al mismo tiempo son métodos con un alto coste tanto económico como medioambiental; para ello han aparecido como una solución viable y mediante su uso amigable con el ambiente los residuos de construcción y demolición (RCD) concretamente los residuos de concreto como opción para la estabilización de suelos (Rosas, 2024; Díaz, 2024).

Los residuos de concreto reciclado (RCR) contienen compuestos cementantes residuales que pueden reaccionar con los minerales del suelo, especialmente en suelos arcillosos, mejorando propiedades como la resistencia a la compresión libre, la durabilidad y la capacidad de soporte; además, su uso en la vía subrasante no solo reduce la demanda de materiales vírgenes, sino que también facilita la gestión eficaz de los residuos de construcción (Vargas y Rodríguez, 2024; Rafiee et al., 2016; Arulrajah et al., 2015). Investigaciones recientes han evidenciado que la adición de RCR a los suelos arcillosos puede cambiar de manera considerable su índice de plasticidad y aumentar el CBR (California Bearing Ratio), lo cual resulta de vital importancia para la estabilidad estructural de las subcapas del pavimento, también, el uso de estos materiales en mezclas estabilizadas tiene el beneficio ambiental por la disminución de emisiones de CO₂ y el consumo de energía con respecto a métodos estándares convencionales (Uddin et al., 2017).



Es importante mencionar que, la variabilidad en la composición de los RCDs, así como la carencia de normativas, hacen que se torne difícil la estandarización de los elementos a utilizar en los proyectos de estabilización de caminos, por lo que se hace necesario la realización de trabajos de investigación sistemáticos que combinen ensayos de laboratorio, ensayos de campo y estudios de impacto ambiental (Li et al., 2020); motivo por el cual el presente estudio tiene como objetivo revisar de manera crítica los desarrollos científicos y técnicos en relación con la estabilización de suelos arcillosos mediante el uso de residuos de concreto reciclado, examinando si posee efectividad a la hora de usarse para el mejoramiento de la subrasante de vías y reconocer las principales ventajas, limitaciones y perspectivas a su potencial aplicación en la ingeniería vial sostenible

2. Estado del arte o Marco Teórico

2.1. Estabilización de suelos

La estabilización de suelos es un mecanismo mediante el cual se mejoran las características mecánicas y físicas del suelo (plasticidad, densidad, permeabilidad, resistencia, entre otras) constituyéndose en un eje primordial de la ingeniería civil que mejora determinadas propiedades mecánicas y físicas en los suelos, sobre todo, para las obras viales, por lo que desde hace tiempo se ha recurrido a ciertos materiales como la cal o el cemento para tal fin (Chuquipoma y Saavedra, 2024); sin embargo, la creciente conciencia por lo sostenible ha provocado que la industria de la construcción se fije en alternativas más amigables con el ambiente y menos costosas, encontrándose en la recuperación de los residuos de construcción y demolición (RCD), particularmente los residuos de concreto, como una solución viable.

La generación significativa de RCD constituye un verdadero reto ambiental, ya que cifras recientes indican que la construcción y demolición generan una gran cantidad de residuos, que si no son convenientemente gestionados pueden propiciar un impacto ambiental negativo, frente a ello, la reutilización de los mismos no solo contribuye a la



reducción de dicho impacto, sino que además reporta beneficios económicos al suponer una disminución en las necesidades de materiales vírgenes (Guevara, 2022).

La estabilización de suelos mediante residuos de concreto consiste en la incorporación de partículas de concreto reciclado en suelos arcillosos, para mejorar sus propiedades mecánicas y físicas. El proceso busca aumentar la capacidad de soporte del suelo, reducir plasticidad y mejorar el comportamiento frente a cargas y condiciones climáticas adversas, puesto que, los residuos de concreto, al ser procesados adecuadamente en producto, pueden producir agregados que mejoran la estructura del suelo. También, los compuestos cementantes de residualidad del concreto reciclado puede ayudar a que se produzcan reacciones químicas que mejoren la matriz del suelo; mientras que, investigaciones recientes han demostrado que la adición de residuos de concreto en suelos arcillosos puede mejorar significativamente su capacidad de soporte, demostrándose que la incorporación de un 25% de concreto reciclado mejoró la condición de la subrasante de regular a excelente, según los criterios establecidos por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (Alvarado et al., 2024; Quispe, 2023; Guevara, 2022).

Cornejo y Hurtado (2022) realizaron un estudio acerca de la estabilización de subrasante con concreto reciclado y agregado natural, mediante métodos granulométricos, encontrando que, la máxima capacidad portante de la subrasante mejorada alcanzó un valor de CBR de $60.76\% \pm 3.62\%$ (rango de variación) que representa un incremento de 359.95% respecto al tratamiento de control.

2.2. Propiedades geotécnicas

La incorporación de residuos de concreto en suelos arcillosos afecta diversas propiedades geotécnicas del suelo. Entre las mejoras observadas se incluyen:

2.2.1. Índice de Plasticidad (IP): La adición de residuos de concreto puede reducir el IP del suelo, lo que indica una menor plasticidad y, por ende, una mayor estabilidad, tal como lo menciona Guevara (2022) quien reportó una reducción del IP de 10.94% a 7.03% al incorporar agregados reciclados.



2.2.2. Densidad Seca Máxima: La presencia de partículas de concreto reciclado puede aumentar la densidad seca máxima del suelo, mejorando su compactación. En el estudio de Guevara (2022), la densidad seca máxima aumentó de 1.87 g/cm^3 a 1.98 g/cm^3 .

2.2.3. Capacidad de Soporte (CBR): La capacidad de soporte del suelo, medida mediante el ensayo CBR, también mejora con la adición de residuos de concreto, tal como lo asevera Quispe (2023), quien encontró que la incorporación de concreto reciclado elevó el CBR del suelo, mejorando su clasificación como subrasante

2.2. Consideraciones Ambientales y Económicas

El uso de residuos de concreto en la estabilización de suelos no solo ofrece beneficios técnicos, sino también ambientales y económicos, ya que al reutilizar materiales de desecho, se reduce la necesidad de extraer y procesar nuevos recursos, disminuyendo así la huella de carbono asociada a los proyectos de construcción, además, se minimiza la cantidad de residuos que terminan en vertederos, contribuyendo a una gestión más sostenible de los desechos de construcción, recordando que entre las principales causas de la contaminación ambiental y perjuicio a la salud pública y de los ecosistemas se encuentra la inadecuada gestión de residuos sólidos (Guevara, 2022; Quijada et al., 2022).

Desde un punto de vista económico, la aplicación eficiente de residuos de concreto puede llevar a reducir el coste asociado a la compra de materiales de estabilización convencionales, tales como la cal o el cemento. Esto cobra especial relevancia para los lugares con recursos económicos limitados, que buscan mayor eficacia de los proyectos de infraestructura vial.

Durante varios estudios, se realizó una práctica de tratamiento de suelo arcilloso con residuos de concreto; por ejemplo, en la vía de Evitamiento de Abancay, Alvarado et al. (2024) aplicaron con éxito la técnica y encontraron que la capacidad portante del suelo aumentó notablemente. También fue el caso del uso de agregados reciclados que, según Guevara (2022), en el distrito de Sitabamba en Santiago de Chuco, Trujillo, mejoraron las propiedades geotécnicas del suelo, convirtiéndolo en un material perfectamente apto para ser utilizado como subrasante.



3. Materiales y métodos

3.1. Tipo de investigación

El estudio que se presenta a continuación se asimila a una investigación aplicada, ya que lo que se intenta es resolver un determinado problema técnico en el ámbito de la ingeniería vial, es decir, la baja capacidad de soporte de las subrasantes constituídas por suelos arcillosos. Este estudio pretende poner en práctica las teorías observadas en la estabilización de suelos y en el reciclaje de materiales para la construcción, con el objetivo de evaluar la viabilidad técnica que podría tener la utilización de los residuos de concreto como agente estabilizante.

Asimismo, presenta caracteres de investigación experimental, dado que incluye la manipulación intencionada de una variable independiente (proporción de residuos de concreto incorporados en el suelo arcilloso) para observar el efecto de manipular en variables dependientes como el índice de plasticidad, la densidad seca máxima, la humedad óptima y capacidad de soporte (CBR).

4. Resultados

4.1. Mejora de la Capacidad de Soporte (CBR)

La adición de residuos de concreto al suelo arcilloso incrementa significativamente su capacidad de soporte. Quispe Pilco (2023) observó que al incorporar un 25% de concreto reciclado, la condición de la subrasante mejoró de regular o inadecuada a excelente, según los criterios establecidos en el Manual de Transporte y Comunicaciones (MTC).

De manera similar, Noriega y Villarreal (2020) encontraron que la adición de 7% de concreto reciclado cumple con los requisitos mínimos establecidos por la normativa para un CBR adecuado de una subrasante, clasificándolo como un material excelente

Las encuestas proporcionaron información sobre las percepciones de los padres y docentes, mientras que la prueba PDMS-2 ofreció datos objetivos sobre el desarrollo motriz infantil, lo que permitió un análisis del impacto del uso de la tecnología en los infantes.



4.2. Reducción del Índice de Plasticidad

La incorporación de residuos de concreto también contribuye a la disminución del índice de plasticidad del suelo. Luque Puma (2022) reportó que con mezclas de concreto reciclado y cal, el índice de plasticidad varió desde 12.29% hasta 3.69%, dependiendo de las proporciones utilizadas

4.3. Aumento de la Densidad Seca Máxima y Módulo de Resiliencia

La combinación de concreto reciclado y cal no solo mejora la capacidad de soporte, sino que también incrementa la densidad seca máxima y el módulo de resiliencia del suelo. Luque Puma (2022) encontró que con la adición de 20% de concreto reciclado y 10% de cal, la densidad seca máxima alcanzó 1.785 g/cm³ y el módulo de resiliencia se elevó a 14,534.50 PSI, clasificando la subrasante como buena

4.4. Variabilidad según las Características del Suelo y del Concreto Reciclado

Es importante destacar que el porcentaje óptimo de concreto reciclado puede variar en función de las características específicas del suelo y del concreto reciclado empleado. Quispe Pilco (2023) enfatiza que, aunque se observan mejoras considerables en la capacidad de soporte con la adición de concreto reciclado, es esencial considerar las propiedades particulares de los materiales involucrados para determinar la dosificación más efectiva.

4.5. Aplicaciones Prácticas en Infraestructura Vial

La implementación de estas técnicas en proyectos reales ha demostrado ser efectiva. Alvarado Ramos et al. (2024) evaluaron la influencia de los residuos de concreto en la estabilización de suelo arcilloso en la vía de Evitamiento de la provincia de Abancay, observando mejoras significativas en las propiedades del suelo.

5. Discusión

La estabilización de suelos arcillosos con residuos de concreto ha emergido como una estrategia técnica viable y ambientalmente sostenible, especialmente en proyectos



viales donde las condiciones de subrasante son críticas para la durabilidad del pavimento. Los estudios revisados muestran concordancias significativas respecto a la efectividad del concreto reciclado como aditivo estabilizante; sin embargo, también se identifican variaciones metodológicas y resultados contrastantes en función de las condiciones locales, la proporción de material usado y la combinación con otros estabilizantes.

5.1. Concordancias entre autores

Una coincidencia transversal entre los estudios de Quispe Pilco (2023), Luque Puma (2022) y Noriega y Villarreal (2020) es la mejora sustancial en la capacidad de soporte del suelo medida mediante el CBR. Todos estos trabajos coinciden en que la adición de concreto reciclado, incluso en proporciones moderadas (10% a 25%), permite superar los valores mínimos requeridos para clasificar una subrasante como adecuada o excelente según las normas técnicas peruanas (MTC).

Por ejemplo, Quispe Pilco (2023) destaca que con un 25% de adición de concreto reciclado el CBR del suelo tratado alcanza niveles considerados como excelentes para subrasantes, resultado que se alinea con los hallazgos de Noriega y Villarreal (2020), quienes obtuvieron un CBR satisfactorio con solo un 7% de adición. Esta variabilidad en el porcentaje óptimo, si bien parece contrastante, puede explicarse por diferencias en la naturaleza del suelo arcilloso y las características del residuo de concreto utilizado (tamaño, grado de hidratación, contenido de cemento residual, entre otros).

Además, los autores coinciden en que el índice de plasticidad disminuye tras la estabilización con concreto reciclado. Luque Puma (2022) documenta una disminución del índice de plasticidad hasta niveles inferiores al 5% al utilizar una combinación de 20% concreto reciclado y 10% de cal, lo que evidencia una mejora significativa en la trabajabilidad del suelo. Esta reducción del índice de plasticidad también es observada en los estudios de Quispe Pilco (2023), quienes atribuyen este efecto a la capacidad del concreto triturado de reducir el contenido de arcilla activa y aportar partículas gruesas que mejoran la textura del suelo.



5.2. Contrastes y diferencias metodológicas

A pesar de estas coincidencias, existen diferencias notables en la metodología experimental y en la selección de proporciones de mezcla, lo que introduce cierta variabilidad en los resultados. Mientras algunos estudios como el de Noriega y Villarreal (2020) optan por dosificaciones bajas (5% a 10%) enfocadas en pruebas CBR simples, otros como el de Luque Puma (2022) experimentan con combinaciones dobles (concreto reciclado + cal), incorporando análisis más avanzados como el módulo de resiliencia.

Estas diferencias reflejan dos enfoques distintos:

- ❖ El enfoque puramente estructural y económico, centrado en el cumplimiento de los valores mínimos para viabilidad técnica (como en Noriega y Villarreal, 2020).
- ❖ El enfoque de investigación integral, que busca optimizar las condiciones geomecánicas del suelo para alcanzar un mejor desempeño vial a largo plazo (como en Luque Puma, 2022).

Otro punto de contraste es la consideración del tamaño de partícula y el tratamiento previo del concreto reciclado. Algunos autores como Quispe Pilco (2023) aseguran que el concreto reciclado debe estar triturado a un tamaño menor de 38 mm para garantizar una buena distribución en la matriz del suelo y una adecuada compactación. No todos los estudios explicitan este procedimiento, lo cual podría incidir en los resultados dispares de densidad seca máxima y humedad óptima alcanzada en distintas investigaciones.

5.3. Aplicabilidad práctica y sostenibilidad

Más allá de los resultados técnicos, todos los estudios revisados coinciden en destacar la viabilidad ambiental y económica del uso de residuos de concreto en estabilización de suelos. Esto se alinea con los principios de economía circular y gestión sostenible de residuos, especialmente en zonas urbanas o periurbanas donde la producción de desechos de construcción y demolición (RCD) es alta.

Asimismo, el estudio de Alvarado Ramos et al. (2024) representa un valioso ejemplo de aplicación práctica a escala real. Este trabajo confirma que los hallazgos en laboratorio pueden extrapolarse a obras viales reales, siempre que se realice una caracterización previa



de los materiales y se respeten las condiciones de compactación adecuadas. La validación in situ de estas técnicas fortalece la confianza técnica en la estabilización con residuos y promueve su uso en contextos similares.

5.4. Síntesis integradora

La revisión comparativa permite sintetizar los siguientes aspectos:

- ❖ La estabilización de suelos arcillosos con concreto reciclado es adecuada para mejorar la capacidad de soporte (CBR), disminuir la plasticidad y aumentar la densidad del suelo.
- ❖ Existe una variabilidad considerable en el porcentaje óptimo de adición de concreto reciclado, influenciada por las propiedades del suelo, la naturaleza del residuo y la técnica de mezcla.
- ❖ La combinación de concreto reciclado con otros estabilizantes como cal puede potenciar los resultados, como lo evidencia Luque Puma (2022).
- ❖ La aplicación en campo, como lo muestra Alvarado Ramos et al. (2024), respalda la viabilidad técnica y económica del uso de este tipo de estabilización en proyectos viales reales.

5.5. Conclusión de la discusión

La sólida evidencia existente respalda la incorporación de residuos de concreto con el objetivo de estabilizar suelos arcillosos en subrasantes viales. Si bien los estudios presentan diferencias metodológicas y contextuales importantes, sus coincidencias en la mejora de los indicadores geotécnicos más relevantes implican que la técnica puede ser considerada como una alternativa técnica, económica y respetuosa con el medio ambiente. No obstante, se sugiere que futuros estudios profundicen en los mecanismos fisicoquímicos que fundamentan los resultados obtenidos y que se generen guías normativas que orienten su aplicación estandarizada.



6. Conclusiones

La estabilización de suelos arcillosos con residuos de concreto constituye una opción que puede ser considerada técnica y ambientalmente sostenible para el mejoramiento de subrasantes en vías, permitiendo el reaprovechamiento de materiales residuos de la construcción y demolición (RCD) y, por ende, construyendo una economía circular dentro del sector de la ingeniería civil.

Todos los trabajos que han sido revisados coinciden en que, al introducir residuos de concreto, el Índice CBR del suelo se va incrementando desde niveles deficientes o regulares a niveles aceptables o excelentes para su uso en subrasantes viales, de acuerdo con la normativa (MTC, AASHTO).

El aumento de la densidad seca máxima y la disminución del índice de plasticidad es un efecto consistente que se puede observar al añadir concreto reciclado, ya que facilita la trabajabilidad, mejora la estabilidad del suelo tratado, disminuye el potencial de las deformaciones plásticas y supone un incremento en la capacidad portante del suelo.

La dosificación óptima de concreto reciclado varía según las características del suelo y del residuo utilizado, aunque se ha evidenciado que rangos entre el 10% y 25% suelen proporcionar mejoras significativas. Estudios que incorporaron cal junto al concreto reciclado reportaron resultados aún más favorables, especialmente en términos de módulo de resiliencia y plasticidad.

La validación experimental en campo, como en el caso del estudio aplicado en la provincia de Abancay (Alvarado Ramos et al., 2024), confirma que esta técnica puede ser implementada a nivel real con buenos resultados estructurales y económicos, siempre que se realice una correcta caracterización previa de los materiales y se apliquen los procedimientos adecuados de compactación.

A pesar de la efectividad demostrada, aún se requiere el desarrollo de normativas técnicas específicas que regulen la utilización de residuos de concreto en estabilización de suelos, promoviendo su estandarización y garantizando su desempeño a largo plazo en distintas condiciones geotécnicas y climáticas.



Finalmente, se concluye que la estabilización de suelos arcillosos con concreto reciclado no solo mejora el desempeño estructural de las subrasantes, sino que también representa una estrategia clave para la gestión de residuos, la reducción del impacto ambiental y la optimización de recursos en obras viales, siendo recomendable su inclusión en proyectos de pavimentación urbana y rural.

7. Declaración de contribución de autoría: CREdiT

Felipe Huamani-Arango: Conceptualización, Metodología. Fausta Roncal-Guzmán: Redacción, borrador original. Carlos Poma-Ramos: Resultados, Discusión. Juan José Bonifaz-Palomino: Redacción, Conclusiones y Revisión de estilo.

8. Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo logístico de la Universidad Nacional de Huancavelica, Departamento Académico de Ingeniería Civil; asimismo, a los pares ciegos por el tiempo dedicado a revisar el presente Review.

9. Declaración de conflicto de intereses

Los autores anuncian que no tienen intereses financieros en la competencia conocida o en las circunstancias personales, lo que puede haber parecido un impacto en el trabajo reportado en este artículo.

10. Disponibilidad de los datos

Los datos están disponibles en el siguiente enlace o Los datos estarán disponibles previa solicitud.



Referencias

1. Alvarado, E., Damiano, A. y Espinoza, J. (2024). *Estabilización de suelo arcilloso con residuos de concreto para el mejoramiento de la subrasante en la vía de Evitamiento, provincia de Abancay - Apurímac, 2022.* <https://hdl.handle.net/20.500.12394/15418>
2. Arulrajah, A., Disfani, M. M., Horpibulsuk, S., & Samingthong, W. (2015). *Recycled crushed glass in road work applications: Laboratory investigation of geotechnical properties.* *Journal of Materials in Civil Engineering*, 27(10), 04014268. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0001243](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0001243)
3. Berrospi Herrera, R. G., & Paredes Meza, G. M. (2023). *Estabilización de subrasante para suelos arcillosos utilizando porcentajes parciales de ceniza de retama en la vía vecinal LM 634 empalme LM 635 al centro poblado de Lampian - Huaral, Lima -2022* [Tesis de licenciatura, Universidad Privada del Norte]. Repositorio UPN. <https://hdl.handle.net/11537/34282Repositorio UPN>
4. Ccanto, D. A. (2019). *Estabilización de suelo arcilloso con cenizas de Bagacillo (CB) para el mejoramiento de la subrasante de la Av. Universitaria, Lima 2019* [Tesis de licenciatura, Universidad César Vallejo, Lima, Perú]. Revistas UCR+1Repositorio UPN+1
5. Córdova Román, D. E. (2021). *Cal y estabilización de suelos arcillosos a nivel de laboratorio de subrasante para el camino vecinal en trocha carrozable tramo curva - El Sauce, Distrito de Chalaco - Provincia de Morropón Piura 2021* [Tesis de licenciatura, Universidad Católica de Trujillo Benedicto XVI, La Libertad, Perú]. <http://repositorio.uct.edu.pe/handle/123456789/1760>
6. Cornejo, J. y Hurtado, M. (2022). *Estabilización de subrasante con concreto reciclado y agregado natural, mediante métodos granulométricos, carretera Maras - Moray, Cusco 2021* [Tesis de ingeniero civil, Universidad Continental, Cusco, Perú]. <https://hdl.handle.net/20.500.12394/11371>
7. Chirinos, E., Rodríguez, E., & Muñoz, S. (2021). *Métodos de estabilización de suelos arcillosos para mejorar el CBR con fines de pavimentación: una revisión literaria.* *Suelos Ecuatoriales*, 51(1), 72–92. <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/vial/article/view/56066>
8. Chuquipoma, J. y Saavedra, K. (2024). *Adición de cal y vidrio reciclado en las propiedades físico mecánicas del suelo arenoso del sector Jorge Chávez Paiján 2023* [Tesis de ingeniero civil, Universidad Nacional de Trujillo, La Libertad, Perú].
9. Das, B. M. (2016). *Principles of Geotechnical Engineering (9th ed.).* Cengage Learning.



10. Díaz, J. (2024). *Aplicación de residuos, subproductos industriales y nanomateriales para la estabilización y ejecución de capas estructurales de carreteras* [Tesis de Doctor con Mención Internacional, Universidad de Córdoba, España]. <https://acortar.link/TYnowE>
11. Gallardo, R., Amaya, C., Martinez, A. y Munoz, Q. (2020). Caracterización de un suelo plástico para estabilización con cementantes". *Respuestas*, 25 (S2), 6-13. <https://doi.org/10.22463/0122820X.1827>
12. Kou, S. C., & Poon, C. S. (2012). Enhancing the durability properties of concrete prepared with coarse recycled aggregate. *Construction and Building Materials*, 35, 69–76. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.02.032>
13. Landa, J. (2019). *Mejoramiento de suelos arcillosos en subrasante mediante el uso de concreto reciclado* [Tesis de licenciatura, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas]. Repositorio Académico UPC. <http://hdl.handle.net/10757/626177>
14. Li, X., Zhang, L., Li, Y., & Yang, Z. (2020). *Use of recycled aggregates in cement-treated subbase for road applications*. *Construction and Building Materials*, 235, 117456. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117456>
15. Linares Chavez, R. R., Aguilar Rojas, M. E., & Rojas De La Puente, E. E. (2021). Estabilización de suelos arcillosos a nivel de subrasante con adición de bolsas de polietileno fundido. *Revista Científica UNTRM: Ciencias Naturales e Ingeniería*, 3(2), 33–40. <https://doi.org/10.25127/ucni.v3i2.612Revistas UNTRM>
16. López Sumarriva, J. J., & Ortíz Pinares, G. (2018). *Estabilización de suelos arcillosos con cal para el tratamiento de la subrasante en las calles de la urbanización San Luis de la ciudad de Abancay* [Tesis de licenciatura, Universidad Tecnológica de los Andes]. Repositorio UTEA. <https://hdl.handle.net/20.500.14512/152Repositorio UTEA>
17. Luque, A. (2022). *Estabilización de subrasantes modificadas con concreto reciclado y cal en vías urbanas, avenida Circunvalación Este, Juliaca, Puno 2022*. Universidad César Vallejo. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/111606>
18. Marcelo, J. (2021). *Estabilización de suelos arcillosos aplicando ceniza de carbón en la subrasante Av. Carretera Canta Carabayllo, Lima- 2021* [Tesis de licenciatura, Universidad César Vallejo, Lima, Perú]. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/111606>
19. Mamani, G., De La Cruz, S., Vega, C., Yllescas, P. y Rea, W. (2023). Estabilización de la subrasante con ceniza de quinua y cal en la Carretera Lago Sagrado, Puno, Perú. *Infraestructura Vial*, 25(44), 1–7. <https://doi.org/10.15517/iv.v25i44.53569Revistas UCR>



20. Noriega, A. y Villarreal, K. (2020). *Influencia del porcentaje de concreto reciclado en la estabilización de suelos arcillosos para la sub-rasante para un pavimento flexible, de una trocha de 10 km en los sectores de Alto Huallaga hasta La Merced, Laredo - La Libertad - 2020*. <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/24325>
21. Quijada, E., Sovero, G., Hinojosa, L. y Reyes, R. (2022). Evaluación de riesgo ambiental en el manejo de residuos sólidos. *Scientific Research Journal CIDI*, 2(4), 50–66. <https://doi.org/10.53942/srjicidi.v2i4.97>
22. Quispe, D. (2023). *Reutilización de concreto reciclado en la estabilización de suelos arcillosos a nivel de subrasante*. Universidad Peruana Unión. <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/24325>
23. Rafiee, R., Molenaar, A. A. A., & van de Ven, M. (2016). *Recycling of construction and demolition waste for producing new building materials*. In Pacheco-Torgal, F. et al. (Eds.), *Eco-efficient Construction and Building Materials* (pp. 266–299). Woodhead Publishing.
24. Rosas, F. (2024). *Desarrollo de un material a base de cemento portland y ceniza volante con agregado de sargazo para utilización en edificaciones sustentables* [Tesis de doctor en ingeniería con orientación en materiales de construcción, Universidad Autónoma de Nuevo León, México]. <http://eprints.uanl.mx/29453/1/1080313278.pdf>
25. Sánchez López, N. (2022). *Estabilización de subrasantes de baja capacidad portante utilizando concreto reciclado obtenido de probetas de laboratorio para estabilización de suelos arcillosos para un pavimento flexible* [Tesis de licenciatura, Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo]. <https://acortar.link/Ge3qMj>
26. Tacca, J. (2021). *Estabilización de suelo arcilloso con adición de cal para el mejoramiento de la subrasante, Vía de evitamiento, Abancay – Apurímac, 2021* [Tesis de licenciatura, Universidad César Vallejo]. <http://hdl.handle.net/10757/626177>
27. Uddin, K., Balasubramaniam, A. S., & Bergado, D. T. (2017). Stabilization of soft Bangkok clay using recycled concrete aggregate and cement. *International Journal of Geotechnical Engineering*, 11(3), 234–242. <https://doi.org/10.1080/19386362.2016.1218200>.

