

4

Estabilización De Suelos Con Materiales Reciclados En Vías De Bajo Volumen De Tránsito

Soil Stabilization With Recycled Materials On Roads With Low Traffic Volume



Autores

Justin Calderón Ordóñez
Ing. Civil , Universidad Técnica de
Manabí, Portoviejo, Ecuador
jcalderon6996@utm.edu.ec
<https://orcid.org/0009-0001-8350-1681>

Diego Zambrano Proaño
Ing. Civil , Universidad Técnica de
Manabí, Portoviejo, Ecuador
dzambrano0257@utm.edu.ec
<https://orcid.org/0009-0001-3262-8877>

Eduardo Ortiz-Hernández
Dpto. Matemática, Universidad Técnica
de Manabí, Portoviejo, Ecuador
eduardo.ortiz@utm.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-1885-6005>

Nota Editorial: Recibido: 26 de mayo 2026 Aceptado: 16 de junio 2026

4

Estabilización De Suelos Con Materiales Reciclados En Vías De Bajo Volumen De Tránsito

Resumen

El presente estudio analiza la influencia del material RAP como un agente estabilizante en un suelo de mejoramiento, con el objetivo de incrementar su capacidad portante y evaluar su viabilidad técnica, ambiental y económica en aplicaciones viales. Para lo que se realizaron ensayos de laboratorio que incluyen análisis granulométrico, límites de Atterberg, Proctor modificado y CBR que se fue considerando con diferentes porcentajes de RAP, respecto al peso seco del material natural.

Los resultados de los ensayos evidencian que al añadir RAP al material natural mejora significativamente las propiedades mecánicas del mismo. De modo que se obtiene una curva granulométrica más uniforme, una reducción de la plasticidad y una optimización en la compactación. Con respecto a la capacidad portante, el CBR aumento de 22,7% a 37,2% con la incorporación de 40% de RAP, representando un incremento notorio a su resistencia.

Esta investigación permitió determinar que el porcentaje adecuado de RAP para beneficio de la mezcla esta entre el 30-40%, ya que proporciona el mayor valor de aumento de CBR sin ocasionar afectaciones a otras propiedades del material. Con estos valores el material estabilizado cumple con los requisitos establecidos por la normativa AASTHO para su uso como una sub-base en estructuras de pavimentos flexibles.

Palabras Clave

RAP, capacidad portante, agentes estabilizadores, estabilización de suelos, CBR

4

Soil Stabilization With Recycled Materials On Roads With Low Traffic Volume

Abstract

The present study analyzes the influence of RAP material as a stabilizing agent in a breeding soil, with the aim of increasing its bearing capacity and evaluating its technical, environmental and economic viability in road applications. For which laboratory tests were carried out that include particle size analysis, Atterberg limits, modified Proctor and CBR that was considered with different percentages of RAP, with respect to the dry weight of the natural material.

Laboratory tests were carried out that included granulometric analysis, Atterberg limits, modified proctor and CBR, which was considered with different percentages of RAP, with respect to the dry weight of the natural material.

The results of the tests show that adding RAP to the natural material significantly improves its mechanical properties. With respect to the bearing capacity, the CBR increased from 22,7% to 37,2% with the incorporation of 40% of RAP, representing a notable increase in its resistance.

This research allowed us to determine that the adequate percentage of RAP for the benefit of the mixture is between 30-40%, since it provides the highest value of increase in CBR without affecting other properties of the material. With these values, the stabilized material meets the requirements established by the AASTHO regulations for use as a sub-base in flexible pavement structures.

Keywords

RAP, bearing capacity, stabilizing agents, soil stabilization, CBR.

1. INTRODUCCIÓN

Ante la gran demanda de la extracción de canteras y la limitada cantidad de materia prima, ha provocado aumento del daño al medio ambiente, por lo que se ha optado en la reutilización de materiales de desecho que pueden aprovecharse para el desarrollo de pavimentos, el cual ayudaría en fortalecer las capas estructurales del pavimento, aumentando la capacidad de carga y estabilización del suelo, dando como resultado una gran solución en la ingeniería [1]. Un material que se puede aprovechar en reutilizar es el Reclaimed Asphalt Pavement (RAP), debido a sus características granulares puede ayudar a obtener una curva granulométrica más balanceada, lo cual mejora las propiedades mecánicas del suelo.

El RAP es un subproducto resultante del fresado de capas asfálticas deterioradas, y contiene partículas de áridos recubiertas con asfalto envejecido. Su reutilización como material de base o subbase en carreteras contribuye a la economía circular, reduce la demanda de agregados vírgenes y disminuye la huella de carbono en proyectos de infraestructura vial [2]. Varios estudios han demostrado que el RAP puede mejorar las propiedades mecánicas del suelo cuando se utiliza solo o en combinación con agentes estabilizantes.

Una de las problemáticas principales de los suelos de la provincia de Manabí, es la inestabilidad del suelo, incluyendo deslizamientos y baja capacidad portante, especialmente en condiciones de alta humedad. Estas características están relacionadas con el alto contenido de finos y la plasticidad de los suelos, lo que afecta directamente el desempeño de las estructuras viales. [3].

Los suelos arcillosos tienen una peculiar característica, que es su baja resistencia al corte, la cual es de 200 kPa haciéndolo entrar en el grupo de suelos blandos, entre otras características de estos suelos es que suelen presentar una alta compresibilidad, baja resistencia al corte y baja permeabilidad, algunos ejemplos de estos suelos tenemos a la arcilla limosa, la arena arcillosa y el suelo arcilloso orgánico [4].

Existen varios tipos de agentes estabilizadores de suelos, demostrando investigaciones donde emplearon la cal como un aditivo estabilizador de suelos arcillosos, aplicando diversos porcentajes para evaluar como influyó la cal en distintas concentraciones y la efectividad de la misma [5].

Durante el desarrollo del trabajo se busca encontrar el porcentaje óptimo de RAP sin que este afecte a las propiedades mecánicas del material original de cantera. En estudios previos se presentaron resultados de investigación sobre el impacto del RAP en la resistencia del material sin confinamiento, utilizando un porcentaje 40% de suelo natural y 60% de RAP, que podría considerarse una sub capa base [6].

La investigación tiene como objetivo analizar las propiedades físicas y mecánicas de un material de mejoramiento en estado natural original de la cantera y su comportamiento al añadirle un material estabilizante (RAP), así de esta manera poder comparar la capacidad portante del material original de cantera y con el agente estabilizante. A partir de diferentes ensayos se pretende conocer las propiedades del material de mejoramiento y su variación al añadirle cierto porcentaje de RAP para analizar qué tan viable es esta alternativa.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Para poder iniciar los estudios en laboratorio, primero se procedió a la recolección del material fresado, que utilizaremos como agente estabilizador (RAP). Se logró recolectar gran cantidad de muestra, la cual se obtuvo en la Avenida José María Urbina, del cantón Portoviejo. La recolección se realizó directamente de la maquina fresadora, obteniendo un material sin ningún tipo de alteración, el cual fue almacenado en sacos para posteriormente realizar los ensayos en laboratorio como se muestra en la Figura [1].



Fig. 1- Toma de muestra del material fresado Reclaimed Asphalt Pavement (RAP).

Por su parte se recolectó un material de mejoramiento o material seleccionado, original de la cantera, ubicada en la parroquia de Picoazá a 14 km de la ciudad de Portoviejo, con tamaño máximo de 4 pulgadas.



Fig. 2- Toma de muestra del material granular original de cantera.

Para la realización de los ensayos en laboratorio, se conocerán las propiedades mecánicas del material de mejoramiento, teniendo presente las especificaciones técnicas de la norma de la Sociedad Estadounidense para Pruebas y Materiales por sus siglas en inglés (American Society for Testing and Materials) ASTM [7] y además con las normas de MOP-001-F 2002 [8]. El primer ensayo realizado fue referente a la granulometría del material, de manera que nos indicó la distribución de los tamaños de partículas, detallando su clasificación del material granular original de cantera de acuerdo a las normas de la AASHTO [9].

Tabla 1- Resultados de granulometría del material grueso original de cantera.

Tamiz		Retenido Parcial (gr)	Retenido Parcial (%)	Pasante (%)
ASTM	mm			
4"	100,00	00,00	00,00	100,00
3"	75,00	547,00	5,51	94,49
2 ½"	63,50	754,00	7,59	86,90
2"	50,80	351,00	3,53	83,37
1 ½"	38,10	900,00	9,06	74,31
1"	25,40	813,00	8,18	66,12
¾"	19,05	800,00	8,05	58,07
½"	12,70	664,00	6,68	51,38
3/8"	9,53	394,00	3,97	47,42
Nº 4	4,75	822,00	8,28	39,14
Nº 10	2,00	57,27	4,51	34,63
Nº40	0,43	53,08	4,58	30,05
Nº200	0,08	112,80	9,73	20,32
PASA Nº200			20,32	
Total de muestra		9933		

Además, se realizaron ensayos para determinar los límites de Atterberg [10], los cuales constituyen las propiedades únicas de las partículas finas del suelo, que están vinculados con el contenido de humedad. Estos límites permiten establecer los rangos de humedad en los que el suelo fino se comporta como un material en estado líquido, plástico o sólido. Por su parte el índice de plasticidad (IP) corresponde a la diferenciación entre Límite Líquido (LL) y Límite Plástico (LP). Los resultados se detallan en la tabla [2].

Tabla 2- Resultados de los ensayos de los límites de Atterberg según la norma- límite líquido (LL) [10], límite plástico (LP) [10].

Parámetros	Método	Resultados
Límite Líquido (LL)	ASTM D-4318	33,80%
Límite Plástico (LP)	ASTM D-4318	24,36%
Índice de Plasticidad (IP)	ASTM D-4318	9%

En base a los resultados de los ensayos de granulometría y límites de Atterberg, se puede determinar que su clasificación según norma AASHTO lo categoriza como un material grueso A-2-4, conformado por gravas y arenas limosas o arcillosas. La cual posee un contenido de fino del 20,32%, un LL de 33,80% y su IP de 9,00% es decir que el material granular cumple con lo especificado acorde a su plasticidad y cuya caracterización se encuentra dentro del grupo A-2-4 correspondiente a gravas y arenas limosas o arcillosas,

Tabla 3- Parámetros de especificación según la norma AASTHO.

Parámetros	AASTHO
Límite Líquido	Max 40%
Índice de Plasticidad	Max 10%
Tamiz N°200	Max 35%
Caracterización	A-2-4 Gravas y arenas limosas o arcillosas.

Otro ensayo que ayuda a conocer las propiedades mecánicas de los suelos es el ensayo de Proctor modificado en el cual nos basamos según la norma ASTM D-1557 [11], para conocer la densidad máxima que puede obtener el suelo al ser sometido a compactación, dando como resultado una densidad máxima seca (DSM) del material granular original de cantera de 1964 Kg/m³ y una humedad óptima de 13,72%. Dado a estos parámetros de densidad y humedad se continuó con el ensayo de California Bearing Ratio (CBR) [12], obteniendo un valor aproximado de 22,70% y con un esponjamiento promedio de 0,70 %.

Para lograr estabilizar el material granular de mejoramiento y poder aumentar la capacidad portante (CBR) para llegar a considerarse sub-base, se ha considerado utilizar un material reciclado, en este caso RAP. Se optó por hacer dos muestras en la cual la dosificación de la primera aportara un 80% de material de mejoramiento y 20% de RAP, posteriormente se plantea una segunda prueba con una combinación de 60% de material granular de mejoramiento y 40% de RAP de acuerdo a su peso. Obteniendo una comparación de resultados de CBR y determinar la proporción más eficaz para este tipo de material.

Tabla 4- Composición de material para mezcla 1 y 2.

Material	Mezcla 1 (%)	Mezcla 2 (%)
Mejoramiento	80	60
RAP	20	40

3. RESULTADOS

Los resultados de los ensayos de Atterberg que se muestran en la tabla [5], nos evidencia una clara comparación de las distintas muestras.

Tabla 5- Resultados de los ensayos de Atterberg del material original de cantera con el reemplazo de RAP.

	%N° 4	% Fc	% LL	% IP
MEJORAMIENTO	39,14	20,32	33,80	11,09
20%	34,19	20,4	32,43	9,02
40%	34,82	18,77	27,62	7,93

Al examinar la tabla [5], en el límite líquido se observa una disminución progresiva del porcentaje, teniendo un valor inicial de 33,80%, luego disminuyendo a 32,43% en la mezcla con 20% de RAP, esto es debido a la composición del mismo ya que es un material granular el cual está disminuyendo la actividad de los finos que afecta en la absorción y retención de humedad, y posteriormente a 27,62% en la muestra de 40%, una caída más evidente, dejando claro que el RAP ha ocasionado una intervención significativa al aumentar su presencia en el material inicial.

Queda evidenciado que la reducción del %LL es debido a las características granulares e hidrofóbicas que posee el RAP, el cual disminuye el contenido de fino y limita la capacidad de retener humedad. Este efecto se intensificará proporcionalmente al aumento del RAP.

Con relación al índice de plasticidad, se ve un decrecimiento notorio al aumentar la aparición del RAP en la mezcla inicial, teniendo un índice de plasticidad inicial de 11,09% y perdiendo progresivamente su plasticidad, esto ocurre porque al tener partículas de mayor tamaño reduce la proporción de arcillas, lo que limita la cohesión, una gran mejora en cuanto a la reducción de expansión y contracción, además una mayor estabilización.

En la variación de finos entre las dos primeras muestras no se evidencia un cambio marcado, al contrario, al aumentar RAP al 40% existe una clara reducción de finos, gracias a la presencia material granular, el cual genera una curva granulométrica más uniforme y mejorando la estabilidad del material.

Tabla 6- Parámetros de especificación según la norma AASTHO para la clasificación del material con reemplazo de RAP.

Parámetros	AASTHO	20%	40%
Límite Líquido	Max 40%	✓	✓
Índice de Plasticidad	Max 10%	✓	✓
Tamiz N°200	Max 35%	✓	✓
Caracterización	A-2-4 Gravas y arenas limosas o arcillosas.	✓	✓

Con resultados de los ensayos de granulometría y límites de Atterberg de la tabla [6], se puede determinar que las nuevas mezclas de material están caracterizadas como suelo A-2-4 con respecto a la norma AASHTO, una notable diferencia ante el material de mejoramiento original de cantera, pasando de regular a uno excelente a bueno. Este nuevo material al 20% tiene un contenido de fino de 3,18%, un límite líquido de 32,43% y su índice de plasticidad de 9,02%, la segunda mezcla al 40% obtuvo un porcentaje de 8,30% de contenido de fino con un límite líquido de 27,62% y un índice de plasticidad de 7,93%, ambas mezclas aumentaron sus propiedades mecánicas. Dado los resultados de ambas combinaciones se recomienda utilizar la mezcla al 40% de RAP, debido a que representa una notable mejoría en las propiedades mecánicas del material natural de cantera, beneficiando a la disminución del %LL.

Tabla 7- Resultados del ensayo de Proctor modificado según la norma ASTM D-1557 para material con reemplazo de RAP.

	D. MAX SECA	% W ÓPTIMA
MEJORAMIENTO	1964	13,72
20%	1970	13
40%	2070	8,90

En los ensayos de Proctor realizados al material original de cantera, se obtuvo una densidad máxima seca de 1964 Kg/m³ lo cual representa un valor moderado, a su vez la humedad óptima fue de 13,72%, lo que se interpreta como una humedad óptima ligeramente alta, es decir una mayor dependencia de agua al compactarse. Para la mezcla 1 el valor de la densidad máxima fue de 1970 Kg/m³ al ser un valor similar o ligeramente mayor a la inicial, se pudo evidenciar el comienzo del efecto del RAP como estabilizante además mejorar levemente la compactación, por otra parte, en la humedad óptima hubo una pequeña reducción con respecto al material original de cantera lo que se traduce como un menor requerimiento de agua. Por último, la mezcla 2 presentó una densidad máxima seca de 2070 Kg/m³ acompañado de una humedad óptima de 8,90% es decir que aumentó progresivamente la densidad máxima seca y se redujo notablemente la humedad óptima, lo que nos indica que el material es más denso al momento de compactarse debido a que existe una escasez de contenido de finos por consiguiente tendrá menor dependencia de agua.

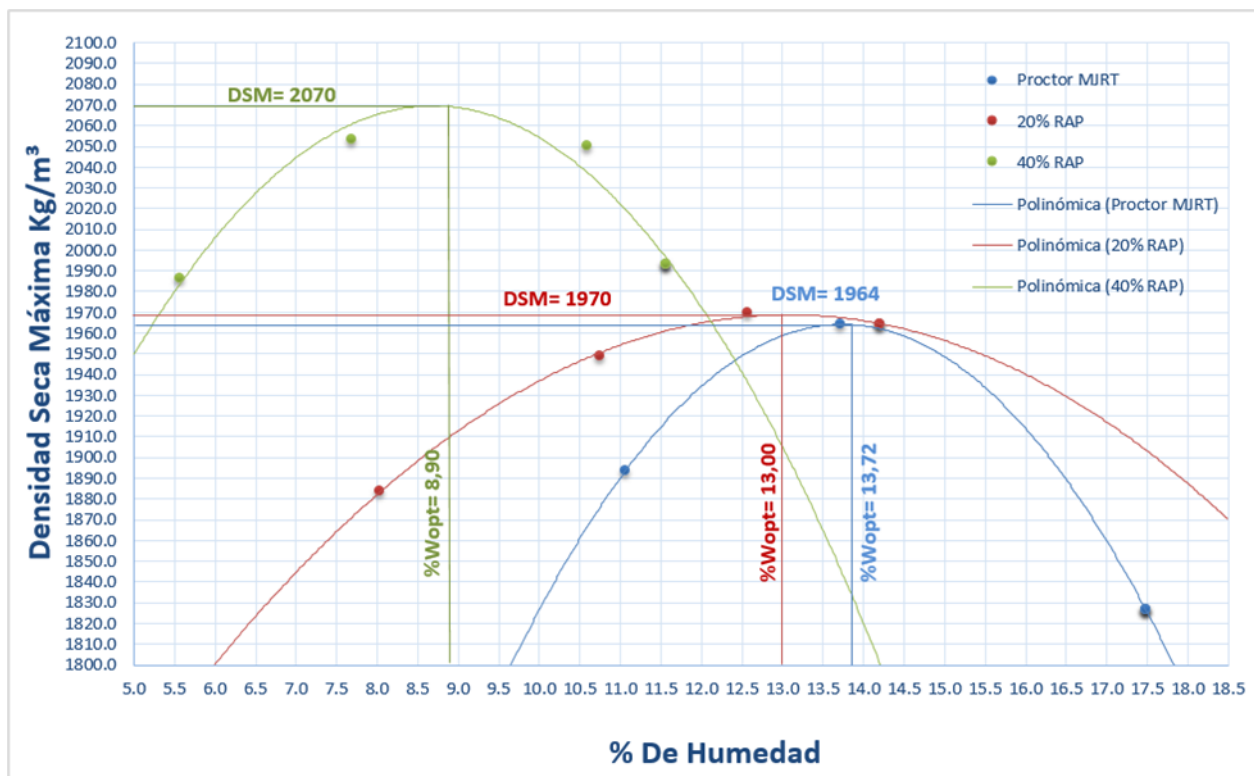


Fig. 3- Comparación de las curvas de compactación del ensayo de Proctor modificado.

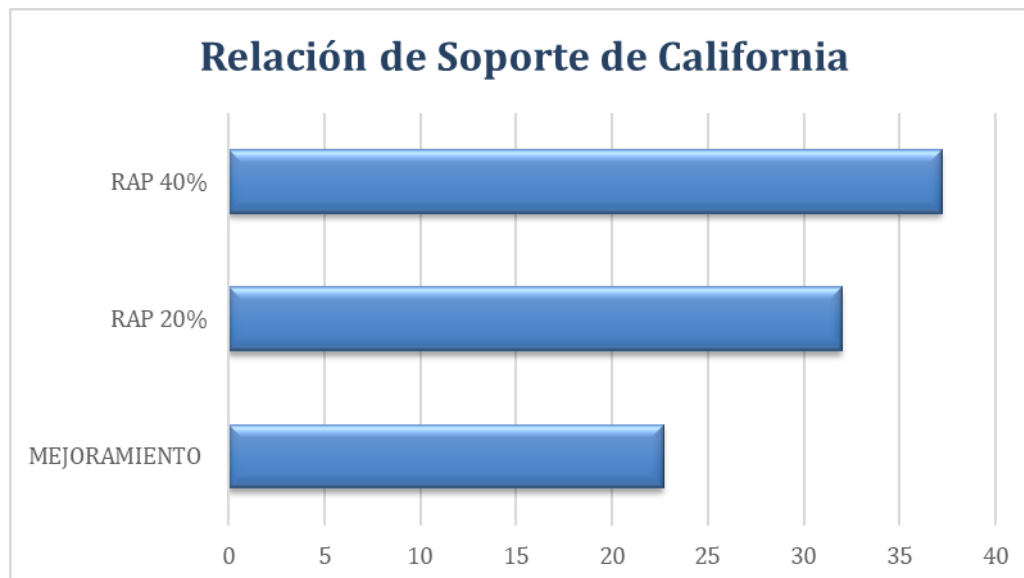


Fig. 4- Comparación de resultados de los ensayos de CBR.

Los resultados de los ensayos de CBR mostrados en la Figura [4] indica que el material original de cantera tiene un CBR de 22.7% lo que significa que tiene una capacidad portante media debido a la presencia de finos con cierta plasticidad, por otra parte, en la mezcla 1 al 20% de RAP el aumento del CBR es notorio llegando a un 32%, demostrando que el RAP funciona como material estabilizante. De igual manera, la segunda mezcla del 40% de RAP alcanzó un CBR de 37% obteniendo un aumento significativo con respecto a los resultados previos, es decir, la mezcla 2 disminuyó el %Fc, aumentando su densidad máxima seca.

Analizando los resultados obtenidos por ambas mezclas se recomienda el uso del RAP al 40%, ya que evidenció un mayor porcentaje correspondiente al CBR, afirmando una mejora considerable respecto al material natural de cantera, esto confirma que el RAP está actuando como un agente estabilizador mejorando las capacidades portantes del suelo.

4 CONCLUSIONES

A partir de los resultados de los ensayos de granulometría y límites de Atterberg, se evidenció que al incorporar el RAP en el material de mejoramiento aumentaron las propiedades mecánicas del mismo. El límite líquido (LL) disminuyó progresivamente, teniendo inicialmente un 33,27% en el material natural y alcanzando un 27,62% con el 40 % de RAP. Esto nos indica que el material obtuvo una menor capacidad de absorber humedad, además, una disminución de la plasticidad dando un comportamiento más estable frente a la variación de humedad. De igual manera, el índice de plasticidad (IP) tuvo su disminución notable pasando de 10,56% a 9,02% y finalmente 7,93% con el aumento de RAP, es decir, una menor afectación a deformaciones plásticas dando una mejor estabilidad al suelo. En cuanto al contenido de finos, aunque no hubo una variación tan pronunciada si se dio una ligera mejora en la curva granulométrica siendo más uniforme.

Entre las mezclas realizadas, la combinación que incorpora RAP al 40% del peso seco del material original de cantera produjo un crecimiento destacado en la densidad máxima seca teniendo inicialmente 1964 Kg/m³ y pasando a tener 2070 Kg/m³, asimismo, una reducción considerable de la humedad óptima hasta llegar a 8,9% de un inicial de 13,72%, lo cual indica un comportamiento más granular, estable y eficiente. Por otra parte, los resultados del ensayo California Bearing Ratio (CBR) el porcentaje del 40% representa el mejor valor alcanzado dando un CBR de 37,2%, demostrando una mejora clara con el material inicial de mejoramiento que aportaba un CBR de 22,7%, esto confirma que el RAP utilizado como agente estabilizador si mejora la capacidad portante del suelo, convirtiéndolo en un material apto para utilizarlo en capas estructurales de pavimentos, especialmente en sub-bases y mejoramiento.

De acuerdo con los criterios de la normativa AASHTO, el material original de cantera estabilizado con 40% de RAP presenta un CBR de 37,2%, este puede ser clasificado como una sub-base. Este valor supera el mínimo requerido (30%), evidenciando una adecuada capacidad portante. Además, las mejoras en la granulometría y la reducción de la plasticidad consolidan su eficiencia para aplicaciones en estructuras de pavimento.

En conclusión, es notable la mejora del material al utilizar RAP al 40% mostrando cambios evidentes del aumento de la capacidad portante y el porcentaje óptimo para este tipo de material se encuentra entre 30-40% debido que al pasar de 40% empieza a disminuir su CBR. El RAP como agente estabilizador es una opción técnica viable frente a otros métodos tradicionales más costosos y contaminantes, dando una solución ecológica y económica al aprovechar estos residuos disminuyendo el impacto ambiental de la industria de la construcción.

1. Kamil, R. K., & Al-Jumaili, M. A. (2024). Impacto de la adición de pavimento asfáltico reciclado (RAP) en las propiedades de la capa de subbase. *AIP Conference Proceedings*. <https://doi.org/10.1063/5.0238390>
2. Cueto Ramos, O. M., & Rozo Álvarez, C. A. (2022). Análisis Aplicativo Del Pavimento Asfáltico Reciclado (RAP) en Colombia. <https://hdl.handle.net/20.500.12494/45691>
3. Barragán Triana, K. S., & Cabrera Verdezoto, R. P. (2024). Estudio geológico-geotécnico para la estabilización de deslizamientos en la vía Simbocal en San Antonio-San Vicente, provincia de Manabí. *Revista Científica de Innovación Educativa y Sociedad Actual "ALCON"*, 4(4), 239–248. <https://doi.org/10.62305/alcon.v4i4.255>
4. Al-Khafaji, R. D. (2023). Estabilización de suelos blandos mediante un aglutinante sostenible compuesto por escoria de explosión granulada molida (GGBS) y polvo de horno de cemento (CKD). *Recycling*, 8(1), 10. <https://doi.org/10.3390/recycling8010010>.
5. Mendoza, J. D. M., & Hernández, E. O. (2024). Efectividad de la cal como aditivo estabilizador según el grado de expansión de la arcilla. *Revista Científica Arbitrada Multidisciplinaria PENTACIENCIAS*, 6(1), 203–213. <https://doi.org/10.59169/pentaciencias.v6i1.983>
6. Lima, D., Arrieta-Baldovino, J., & Izzo, R. L. (2023). Sustainable use of recycled asphalt pavement in soil stabilization. *Civil Engineering Journal*, 9(9), 2315–2329. <https://doi.org/10.28991/CEJ-2023-09-09-016>
7. ASTM, D., Test, W. A., Test, C. S., & Test, A. R. (1950). American society for testing and materials (ASTM). *American Association of State Highway and Transportation Officials-AASHTO Standards, United States*. <https://www.astm.org/>
8. Ministerio de Transporte y Obras Públicas. (2002). *Especificaciones generales para la construcción de caminos y puentes: MOP-001-F 2002*. https://www.mit.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/01/MPR_Chimborazo_Cumanda_Especificaciones-Tecnicas-MOP-001-F-2002.pdf
9. ASTM International. (2025). *ASTM D2487-17(2025): Standard practice for classification of soils for engineering purposes (Unified Soil Classification System)*. <https://doi.org/10.1520/D2487-17R25>
10. ASTM International. (2017). *ASTM D4318-17e1: Standard test methods for liquid limit, plastic limit, and plasticity index of soils*. <https://doi.org/10.1520/D4318-17E01>
11. ASTM International. (2021). *ASTM D1557-12R21: Standard test methods for laboratory compaction characteristics of soil using modified effort (56,000 ft-lbf/ft³ (2,700 kN-m/m³))*. <https://doi.org/10.1520/D1557-12R21>
12. ASTM International. (2021). *ASTM D1883-21: Standard test method for California Bearing ratio (CBR) of laboratory-compacted soils*. <https://doi.org/10.1520/D1883-21>