

Material De Préstamo Estabilizado Con Enzimas Orgánicas Como Alternativa Para Mejorar Su Capacidad Portante

Organic Enzyme-Stabilized Borrow Material As An Alternative To Improve Its Load-Bearing Capacity

Autores

José Eudoro Bazurto Cevallos¹, Eduardo Ortiz Hernández²

¹Maestría en Ingeniería Civil, Mención Vialidad, Facultad de Posgrado, Universidad Técnica de Manabí, Avenida José María Urbina, Portoviejo EC130105, Manabí, Ecuador. ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0003-8287-4675>. Correo: jbazurto_c@hotmail.com

²Departamento de Construcciones Civiles y Arquitectura, Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas, Universidad Técnica de Manabí. Portoviejo, Ecuador. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-1885-6005>. Correo: eduardo.ortiz@utm.edu.ec.

RESUMEN

Existe una problemática de los suelos con propiedades físicas y mecánicas inadecuadas existentes en Ecuador y se resaltan los beneficios de la utilización de enzimas orgánicas como agente estabilizador. Este tipo de suelos son comunes en varias regiones del país y por ende son de gran interés para el campo de la ingeniería, ya que se utilizan comúnmente como subrasantes para estructuras de pavimento. Se realizó una comparación de dos tipos de suelos con distintos porcentajes de plasticidad aplicando un mismo porcentaje de enzimas orgánicas, evaluando los parámetros del suelo como su capacidad soportante con el ensayo CBR (California Bearing ratio), porcentaje de finos que pasan del tamiz N°200, las muestras de los dos tipos de suelo fueron procesadas en el laboratorio de mecánica de suelos del Gobierno Provincial de Manabí, donde se procedió a estudiar las propiedades físicas – mecánicas de cada muestra. Una vez que se analizan los resultados se concluyó que las enzimas tienen una misma influencia en lo que respecta a la capacidad portante de suelos con índice de plasticidad de 3 al 9%, reflejando una mejora en su capacidad portante con la adición de enzimas de un 3% promedio.

Palabras claves: suelos, enzimas orgánicas, plasticidad, ensayo CBR. Estabilizado con enzimas orgánicas

ABSTRACT

There is a problem of soils with inadequate physical and mechanical properties existing in Ecuador and the benefits of using organic enzymes as a stabilizing agent are highlighted. These types of soils are common in several regions of the country and are therefore of great interest to the field of engineering, since they are commonly used as subgrades for pavement structures. A comparison of two types of soils with different percentages of plasticity was carried out by applying the same percentage of organic enzymes, evaluating the soil parameters such as its supporting capacity with the CBR (California Bearing ratio) test, percentage of fines that pass the sieve No. 200, the samples of the two types of soil were processed in the soil mechanics laboratory of the Provincial Government of Manabí, where the physical-mechanical properties of each sample were studied. Once the results were analyzed, it was concluded that enzymes have the same influence with regard to the bearing capacity of soils with a plasticity index of 3 to 9%, reflecting an improvement in their bearing capacity with the addition of enzymes of a 3% average.

Keywords: soils; organic enzymes, plasticity, CBR test. Stabilized with organic enzymes

Nota Editorial: Recibido: Febrero 2024 Aceptado: Mayo 2024

1. INTRODUCTION

En el mundo entero los caminos rurales suelen construirse con materiales granulares o suelos naturales, que son menos estables en comparación con el hormigón rígido o los pavimentos asfálticos flexibles. La razón principal de esto es que estas carreteras están compuestas de partículas sueltas de diferentes tamaños, lo que les permite rodar o desplazarse entre sí. Según Cuitiño et al., [1] estos materiales tradicionales utilizados en la construcción de caminos rurales tienen una resistencia al corte relativamente baja, lo que resulta en fallas frecuentes cuando se someten a cargas pesadas.

Las enzimas orgánicas son compuestos orgánicos líquidos, inoloro, no tóxico y ecológicos, que influyen en las partículas más finas del suelo, produciendo una reducción de vacíos de aire y agua a través de un proceso catalítico y generando un efecto de cementación y compactación, provocando un aumento en la densidad del suelo, así como una mayor capacidad de carga [2].

La cuestión abordada por Kumar y Soni [3] se centra en las rutas y la sostenibilidad necesarias para el avance económico de una nación, indicando que, lograr un equilibrio entre el costo, el valor y la efectividad de las carreteras se ha convertido en una tarea formidable para las entidades públicas y privadas, particularmente en lo que respecta al cumplimiento de las regulaciones ambientales. Mientras tanto, Li et al., [2] destacan los crecientes gastos asociados con los estabilizadores de suelos convencionales. El agotamiento y el aumento de los costos de la grava y la arena, que se utilizan para modificar las características del suelo, se han convertido en una preocupación creciente.

Como sugieren Gul y Ahmed [4] la mejora y la rentabilidad de las carreteras se logra mediante la identificación e implementación de nuevos materiales. Al respecto, Armas et al., [5] explica que, para mejorar la estabilidad de suelos, se han sometido a pruebas una variedad de estabilizadores, incluidas opciones tanto inorgánicas como orgánicas, tanto en laboratorio como en campo. Según Sani et al., [6] la estabilización orgánica del suelo ha demostrado ser una técnica muy eficaz y económica para mejorar la calidad del suelo. Este método, introducido hace varios años, tiene como objetivo transformar suelos débiles en suelos que cumplan con requisitos específicos de proyectos de ingeniería. Las pruebas de laboratorio demuestran que un suelo en su estado natural puede presentar varios comportamientos como expansivo de alto a muy alto, provocando cambios volumétricos afectando la superficie de una estructura con presencia de deformaciones [6].

La utilización de enzimas como método para la estabilización orgánica, como lo sugiere Sani et al., [6], ha ganado popularidad en los últimos años debido a su rentabilidad y versatilidad en comparación con los estabilizadores tradicionales. Hallazgos prometedores de experimentos de laboratorio, como el estudio realizado por Karami et al., [7], respaldan aún más la eficacia de las enzimas como estabilizadores. De manera similar, Rauch et al., [8] observaron alteraciones consistentes y significativas en las propiedades de los suelos tratados.

Abou et al., [9], el desarrollo de métodos de bioestabilización con enzimas ha demostrado ser sostenible, ecológico y eficaz en el tratamiento del suelo, lo que lleva a la mejora del rendimiento geotécnico de los suelos. En una línea similar, Błońska et al. [10] se demostró una fuerte correlación entre la actividad enzimática y la cantidad de carbono orgánico disuelto (DOC) liberado por la basura en descomposición.

Con base en los fundamentos antes mencionados, la utilización de enzimas para la estabilización de suelos se propone como una solución rentable y respetuosa con el medio ambiente. Este enfoque mejora la estructura de los caminos sin pavimentar a través de reacciones químicas entre el agente estabilizador y los materiales del suelo [11], lo que resulta en una mejor capacidad de carga y densidad del suelo.

En la provincia de Manabí, Ecuador, faltan estudios de laboratorio que demuestren las ventajas del uso de enzimas orgánicas para la estabilización de suelos, a pesar del creciente reconocimiento de su potencial. En vista de esto, el propósito de esta investigación es evaluar cómo la adición de enzimas orgánicas afecta la capacidad de carga del material de préstamo. Se realizaron ensayos utilizando dos tipos de suelos arcillosos y arenosos, ambos individualmente y en proporciones variables (60-40 y 40-60) para manipular su plasticidad y observar la influencia de la plasticidad cuando se añadió un porcentaje fijo de enzimas orgánicas a todas las muestras, con el fin de determinar que cambios significativos se produjeron en la resistencia.

2. METODOLOGÍA

En la presente investigación se tomó muestras del sitio El Algodón (Junín -Manabí) y de un sitio donde por pericia se observa que existe mayor cantidad de suelos arcillosos, respetando las normativas desde la exploración de muestras del terreno, así como los ensayos de laboratorio, teniendo en cuenta las normas técnicas del Ministerio de Transporte y Obras Públicas [12].

El Eco-Zyme es un material atóxico fabricado mediante un proceso de fermentación natural utilizando azúcar y verduras. Cuando se mezcla con agua y se aplica durante la compactación, Eco-Zyme actúa sobre los finos orgánicos del suelo a través de un proceso de unión catalítica actuando como un agente cementante

Además, el aditivo que se utilizó es una enzima orgánica, caracterizada por su agradable aroma y tonalidad marrón. Creado mediante un proceso de fermentación natural que utiliza azúcar y vegetales, Eco-Zyme es una sustancia respetuosa con el medio ambiente. Cuando se combina con agua y se utiliza durante la compactación, Eco-Zyme funciona como agente cementante al unirse catalíticamente con los finos orgánicos del suelo. Debido a su seguridad, no se requieren equipos ni herramientas especializadas para su correcto manejo.

Una vez las muestras se encontraban en el laboratorio se realizó una caracterización del suelo utilizando el ensayo de Granulometrías finas según lo establecido en la norma AASHTO T88 [13], ASTM - D422-63 [14]. Para identificar las propiedades del suelo se realizó el ensayo de Límite Líquido, Límite Plástico e Índice de plasticidad, de acuerdo a las normas ASTM D423-66 [15], AASHTO T89 [16], AASHTO T90 [17] y ASTM D4318-10 [18]. Por último, para determinar la densidad máxima seca y su porcentaje de humedad óptima de las muestras de suelo se utilizó el ensayo Proctor Modificado según las normas AASHTO T 180 [19] y ASTM D 1557 [20].

Se procedió a determinar la capacidad soportante del suelo CBR (California Bearing Ratio) de acuerdo a las normas AASHTO T 193-99 [21] y ASTM D 1883-21 [22], de cada una de las cuatro muestras con sus respectivas humedades óptimas, aplicando tres diferentes energías a cada molde con 11, 25 y 56 golpes, para posteriormente dejar los 12 moldes en inmersión durante 4 días.

La Tabla 1 representa los resultados obtenidos de cada muestra sin aditivos y de las muestras con las respectivas combinaciones de mezclas. Primero, se observa la muestra (A), un material granular proveniente del sitio El Algodón, la muestra (B) que corresponde a un material de subrasante procedente de la ciudad de Portoviejo, el material (C) que corresponde a la mezcla que contiene 60% de material (A) y 40% de material (B) y el material (D) que contiene 40% de material (A) y 60% de material (B). Luego, los cuatro materiales se clasificaron en SM (arena limosa), ML (limo inorgánico, limo arenoso), SM (arena limosa) y CL (arcilla inorgánica de plasticidad baja o media) según las tablas de plasticidad y métodos SUCS presentadas respectivamente; los suelos se clasifican en A-2-4 a A-4 según el método AASTHO. Además, en la Figura 1 se detallan las distribuciones granulométricas de los 4 materiales.

Tabla 1. Resultados de la caracterización geotécnica de los suelos y sus combinaciones

Parámetros	Material (A) Algodón	Material (B)	Material (C) Mezcla (A60%)/(B40%)	Material (D) Mezcla (A40%)/(B 60%)
Límite líquido (%)	24,77	39,14	25,27	28,57
Límite plástico (%)	21,98	29,98	21,55	22,75
Índice de plasticidad (%)	2,79	9,16	3,73	5,82
Porcentaje de finos (%)	31,56	87,07	39,04	53,8
Clasificación granulométrica	SUCS	SM	ML	SM
	AASHTO	A-2-4	A-4	A-4
Densidad máxima seca (Kg/m ³)	1888	1629	1803	1525

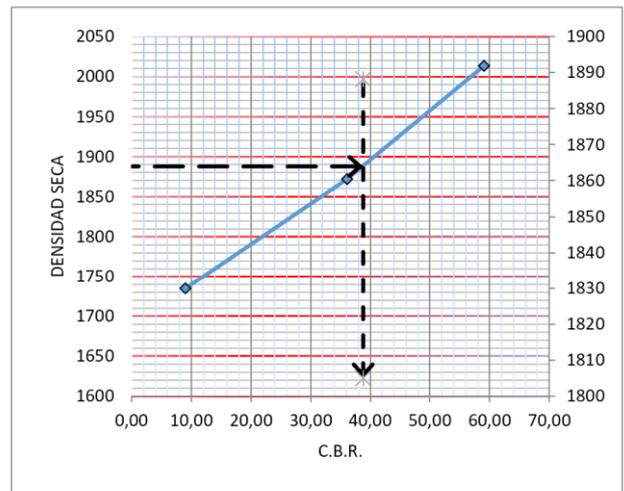
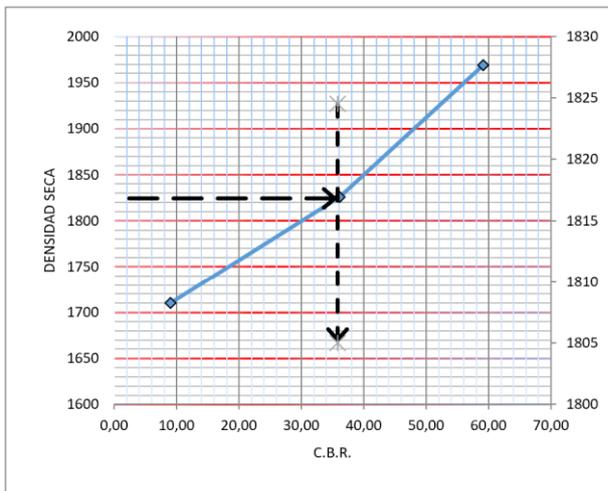


Figura 2. Mezcla de enzimas con el material granular y su respectivo ensayo de proctor.

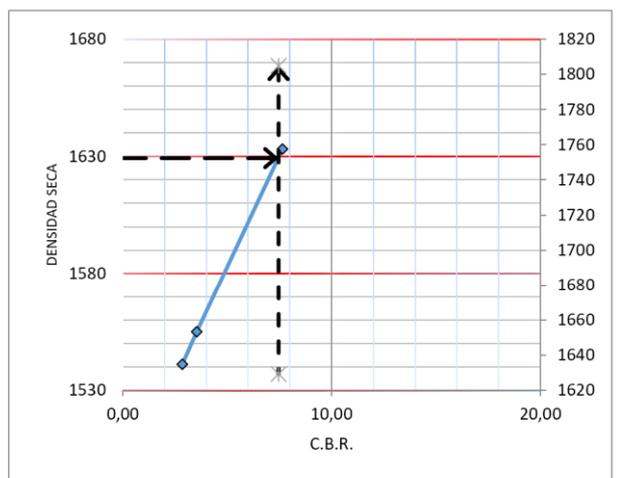
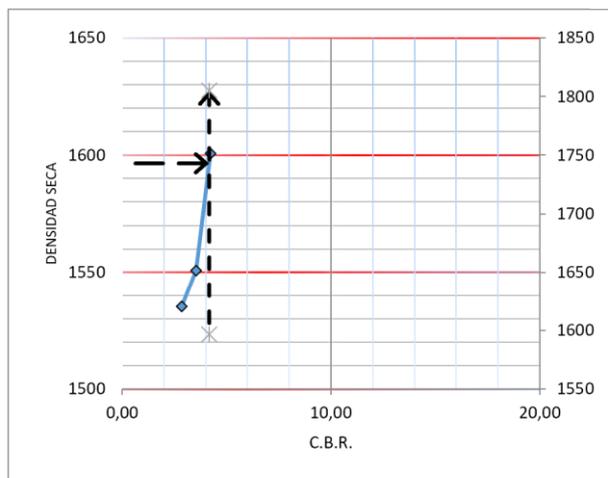
Los resultados de la Figura 3 y 4 demostraron que, en todas las muestras donde se aplicó el aditivo se obtuvieron valores superiores de CBR, siendo así que para el material (A) se visualizó un aumento de 2.98%, en el material (B) un 3.3% y en las mezclas de estos dos materiales en porcentajes de 60%-40% y 40%-60% se obtuvo un incremento de 1.82% y 1.91% respectivamente, lo cual se detalla de mejor manera en la Tabla 3.

Tabla 3: Resultados comparativos de capacidad portante con el incremento de aditivo (Enzima).

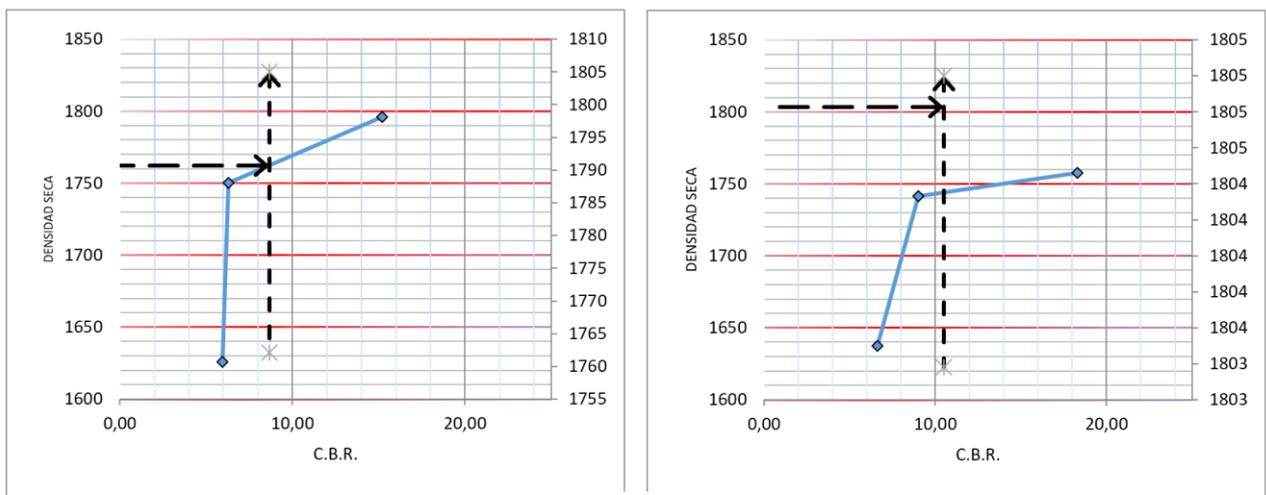
Resultados				
Parámetros	Material (A) Algodón	Material (B)	Material (C) Mezcla (A60%)/(B40%)	Material (D) Mezcla (A40%)/(B 60%)
CBR (%) SIN ENZIMA	35,81	4,18	8,66	6,46
CBR (%) CON ENZIMA	38,79	7,46	10,48	8,37
Incremento de CBR (%)	8,3	79,3	21,0	29,6



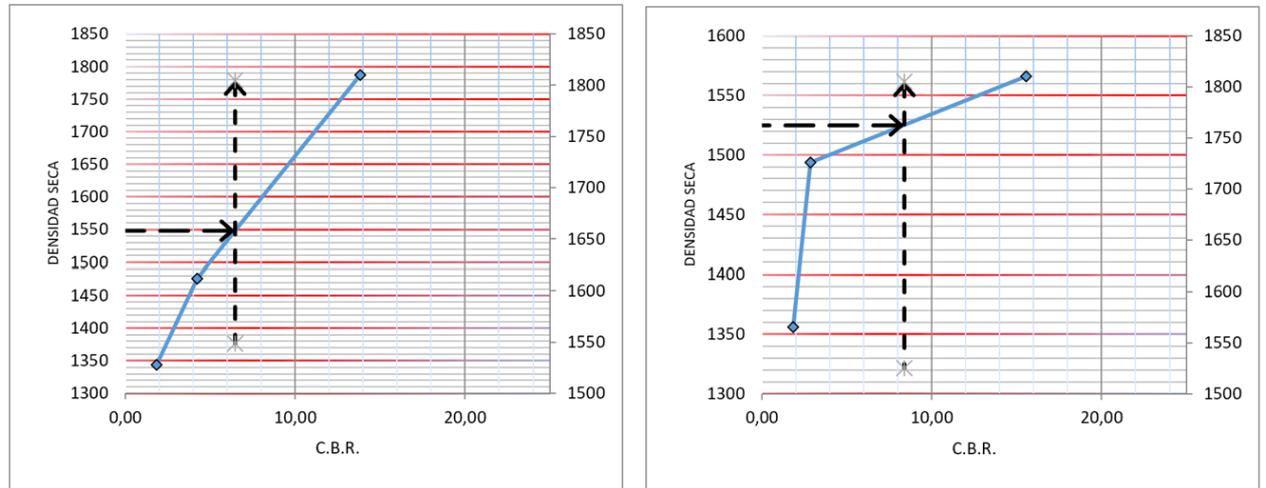
(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 3. Curvas de CBR sin/con enzima, (a) Material A, (b) Material B, (c) Material C y (d) Material D

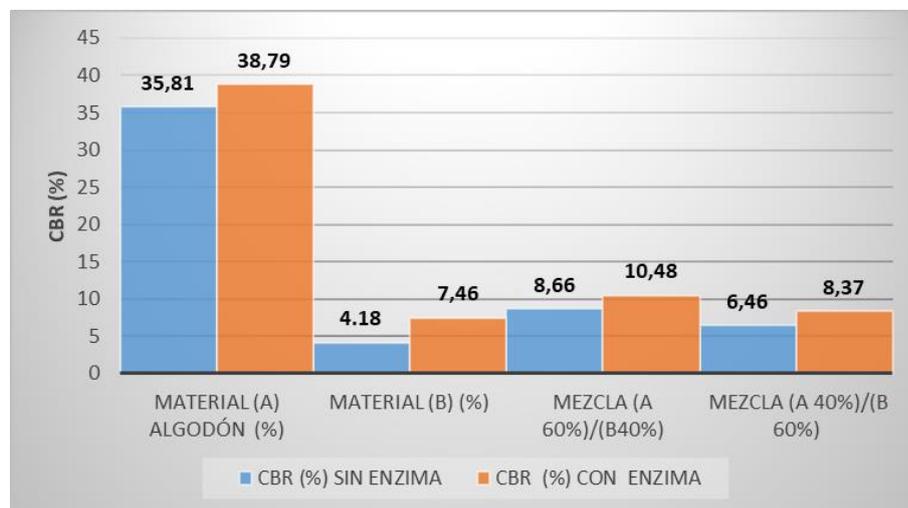


Figura 4. CBR sin/con enzima

Por otro lado, al examinar el Material (B), se observó que la resistencia aumentó después de la aplicación del aditivo, ya que el (CBR) pasó de 4,18% en su estado natural a 7,46% una vez estabilizado. Esto indica que el aditivo tuvo un impacto positivo, lo que resultó en una mejora de la calidad de la subrasante del tipo S1 (Pobre) a S2 (Regular) como se muestra en la (Tabla 3). Este es un resultado significativo, especialmente considerando que las subrasantes con valores de CBR inferiores al 5% se consideran las más pobres. Además, el Material D (mezcla 40%-B 60%) también mostró una mejora notable en el CBR, aumentando de 6,46% a 8,37% con el aditivo. Esto provocó que la calidad de la subrasante no varíe manteniéndose del tipo S2. Por último, aunque las dos muestras restantes mostraron un aumento en CBR debido al aditivo, la calidad de la subrasante se mantuvo sin cambios. El Material A mantuvo su clasificación tipo S4, mientras que el Material C (mezcla A 60%-B 40%) varió de tipo S2 (Regular) a S3 (Buena)

4. CONCLUSIONES

En la presente investigación se experimentó con una enzima orgánica aplicada sobre dos tipos de suelos arcillosos y arenosos del sitio El Algodón (Junín - Manabí) ambos individualmente y en proporciones variables, teniendo un total de 4 muestras que se denominaron Material (A), Material (B), Mezcla A60%-B40% y Mezcla A40%-B60%, los cuales con una plasticidad de 2.79, 9.16, 3.73 y 5.82 respectivamente, se clasificaron como tipo SM (Arenas limosas), ML (limos inorgánicos, limos arenosos), SM (Arenas limosas) y ML/CL (arcillas inorgánicas de baja o media plasticidad) respectivamente.

Los resultados demostraron que el aditivo produjo cierto aumento general en la resistencia a %CBR, no obstante, las muestras con mejor resultados fueron la de suelos finos (Material B y Mezcla A40%-B60%) donde se obtuvo un incremento del 79% y 29% respectivamente, comparado con el valor del CBR a la muestra sin enzima.

Entre las recomendaciones sugeridas en este trabajo se establece que para determinar el porcentaje óptimo de enzimas orgánicas para mejorar las propiedades mecánicas de los suelos finos utilizados como subrasante en la construcción de infraestructura vial, es necesario realizar investigaciones adicionales con porcentajes de dosificación más altos a la presente. Esto mejorará significativamente las características de los suelos finos y proporcionará una base para la mejora del suelo en varios tipos de proyectos de construcción de carreteras.

Del mismo modo, es imperativo realizar una evaluación de las implicaciones económicas y ambientales asociadas con la utilización de enzimas orgánicas en comparación con las técnicas tradicionales de estabilización de suelos

1. M. Cuitiño, R. Rotondaro y A. Esteves, «Análisis comparativo de aspectos térmicos y resistencias mecánicas de los materiales y los elementos de la construcción con tierra,» *Revista de Arquitectura*, vol. 11, 2020.
2. Z. Li, S. Wu, Y. Liu, Q. Yi, A. Nguyen, Y. Ma, M. You, T. Hall, Y. Chan y L. Huang, «Plant biomass amendment regulates arbuscular mycorrhizal role in organic carbon and nitrogen sequestration in eco- engineered iron ore tailings,» *Geoderma*, vol. 428, nº 116178, pp. 78-105, 2022.
3. Kumar, A; Soni, D, «Effect of calcium and chloride based stabilizer on plastic properties of fine grained soil,» *International Journal of Earth Sciences and Engineering*, vol. 12, nº 5, pp. 537-545, 2019.
4. N. Gul y M. Ahmed, «Influence of glass fiber and cement kiln dust on physicochemical and geomechanical properties of fine-grained soil,» *Innovative Infrastructure Solutions*, vol. 7, nº 344, pp. 1-18, 2022.
5. Y. Armas, J. Arroyo y S. Pérez, «Uso de estabilizadores de suelo: Una revisión del impacto al corte y asentamiento,» *Avances Investigación en Ingeniería*, vol. 19, nº 1, pp. 203-212, 2022.
6. W. Sani, M. Mohamed, N. Khalid, H. Nor, M. Hainin, G. Giwangkara y N. Mashros, «Improvement of CBR value in soil subgrade using garnet waste,» In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 527, nº 1, p. 012060, 2019.
7. H. Karami, J. Pooni, D. Robert, S. Costa, J. Li y S. Setunge, «Use of secondary additives in fly ash based soil stabilization for soft subgrades,» *Transportation Geotechnics*, vol. 29, nº 100585, pp. 213-220, 2021.
8. A. Rauch, J. Harmon, L. Katz y H. Liljestrang, «Measured Effects of Liquid Soil Stabilizers on Engineering Properties of Clay,» *Transportation Research Record*, vol. 1787, nº 1, pp. 33-41, 2002.
9. Almajed, M. Lateef, A. Moghal y K. Lemboye, «State-of-the-art review of the applicability and challenges of microbial-induced calcite precipitation (MICP) and enzyme-induced calcite precipitation (EICP) techniques for geotechnical and geoenvironmental applications,» *Crystals*, vol. 11, nº 4, 2021.
10. E. Błońska, W. Piaszczyk, K. Staszczel y J. Lasota, «Enzymatic activity of soils and soil organic matter stabilization as an effect of components released from the decomposition of litter,» *Applied Soil Ecology*, vol. 157, 2021.
11. W. Guthrie, D. Simmons y D. Eggett, «Enzyme stabilization of low-volume gravel roads,» *Transportation Research Record*, vol. 2511, nº 1, pp. 112-120, 2015.
12. MOP-001-F 2002, «Especificaciones técnicas. Capítulo 400 Estructuras del pavimento-sección 402-9. Estabilización de sub-brasante con Enzimas orgánicas,» 2002.
13. AASHTO T88, «Standard Method of Test for Particle Size Analysis of Soils,» 2010.
14. ASTM - D422-63, «Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils,» 2007.
15. ASTM D423-66, «Method of Test for Liquid Limit of Soils (Withdrawn 1982),» 1972.
16. AASHTO T89, «Standard Method of Test for Determining the Liquid Limit of,» 2010.
17. AASHTO T90, «Standard Method of Test for Determining the Plastic Limit and Rock Building, Book of Standards,» 2000.
18. ASTM D4318-10, «Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils,» 2010.
19. AASHTO T180-01, «Standard Method of Test for Moisture-Density Relations of Soils,» 2010.
20. ASTM D 1557, «Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil,» 2009.
21. AASHTO T 193 -99, «Standard Method of Test for The California Bearing Ratio,» 2003.
22. ASTM D1883-21, «Standard Test Method for California Bearing Ratio (CBR) of Laboratory- Compacted Soils,» 2016.
23. Normas Técnicas de Perú, «Manual para el diseño de carreteras pavimentadas de bajo volumen de tránsito,» 2008.
24. Tuárez y E. Piusseaut, «Estabilización De Suelos Arcillosos Con Enzima,» *Revista ciencia y construcción*, vol. 4, nº 2, pp. 82-90, 2023.
25. Jácome-Macías, G. A., & Ortiz-Hernández, E. H., «Estabilización de un suelo de subrasante de carretera con el sistema Consolid,» *Revista Científica INGENIAR: Ingeniería, Tecnología e Investigación.*, vol. 5, nº 10, pp. p. 2-13, 2022.
26. E. H. O. M. E. H. O. S. L. K. M. & d. C. R. P. Hernández, Behavior of clayey soil existing in the portoviejo canton and its neutralization characteristics, vol. 2454, *Journal of College and University.*, 2017, p. 2261.