

EFFECTIVIDAD DE LA CAL COMO ADITIVO ESTABILIZADOR SEGÚN EL GRADO DE EXPANSIÓN DE LA ARCILLA

EFFECTIVENESS OF LIME AS A STABILIZING ADDITIVE BASED ON THE DEGREE OF CLAY EXPANSION

Jonathan David Moreira Mendoza^{1*}

¹ Maestría en Ingeniería Civil, Mención Vialidad, Facultad de Posgrado, Universidad Técnica de Manabí. Ecuador. ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-0913-0547>. Correo: jmoreira9707@utm.edu.ec

Eduardo Ortiz Hernández²

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

* Autor para correspondencia: jmoreira9707@utm.edu.ec

Resumen

Este estudio sobre la efectividad de la cal como aditivo estabilizador en suelos arcillosos, abordó la incertidumbre sobre su eficacia en términos específicos, considerando el grado de expansión del suelo y los porcentajes de aplicación. La investigación se enfocó geotécnicos en tres sectores de la región de Manabí, donde la presencia de suelos expansivos afecta la estabilidad de las obras civiles. Se identificaron problemas geotécnicos significativos en suelos expansivos, como su elevada plasticidad y cambios volumétricos asociados a la humedad. La capacidad portante limitada de la subrasante es un desafío recurrente en pavimentos. La intervención para mejorar estos suelos se consideró esencial, y la investigación se centró en evaluar la efectividad de la cal en diferentes grados de expansión. Se adoptó un enfoque mixto, con predominio cuantitativo, realizando ensayos de laboratorio para establecer la eficacia de la cal. Los resultados contribuyeron a un entendimiento sólido de la estabilización del suelo y sugirieron que ajustar los porcentajes de cal es crucial para optimizar la estabilización sin comprometer la compactación del suelo. Estos hallazgos fueron valiosos para informar futuros proyectos de construcción en áreas con suelos expansivos, destacando la importancia de considerar la variabilidad geotécnica para soluciones técnicas y económicas efectivas.

Palabras clave: cal; suelos arcillosos; expansión del suelo; estabilización

Abstract

This study on the effectiveness of lime as a stabilizing additive in clayey soils addressed the uncertainty regarding its specific efficacy, taking into account the degree of soil expansion and application percentages. The research focused on three geotechnical sectors in the Manabí region, where the presence of expansive soils impacts the stability of civil engineering structures. Significant geotechnical issues were identified in expansive soils, including their high plasticity and volumetric changes associated with moisture. The limited bearing capacity of the subgrade is a recurring challenge in pavements. Intervening to improve these soils was deemed essential, and the study focused on evaluating the effectiveness of lime under different degrees of expansion. A mixed approach, predominantly quantitative, was adopted, conducting laboratory tests to establish the efficacy of lime. The results contributed to a robust understanding of soil stabilization, suggesting that adjusting lime percentages is crucial to optimizing stabilization without compromising soil compaction. These findings were valuable for informing future construction projects in areas with expansive soils, emphasizing the importance of considering geotechnical variability for effective technical and economic solutions.

Keywords: *lime; clayey soils; soil expansion; stabilization*

Fecha de recibido: 02/12/2023

Fecha de aceptado: 24/01/2024

Fecha de publicado: 27/01/2024

Introducción

La aplicación de cal como aditivo para contrarrestar los efectos de la expansión en suelos arcillosos es una práctica bien conocida. Sin embargo, aún persiste la incertidumbre sobre su efectividad específica, particularmente en términos del grado de expansión del suelo y el porcentaje de aplicación que resultaría en una solución eficaz desde un punto de vista técnico-económico. Esta falta de claridad ha generado un interés significativo, especialmente en provincias de la región Costa del Ecuador, donde la presencia de suelos expansivos se traduce en una inestabilidad constante en las obras civiles.

La necesidad de encontrar alternativas de estabilización para este tipo de suelos es imperativa, ya que presentan serios problemas geotécnicos que limitan su aplicación en la construcción de infraestructuras. Estos suelos, caracterizados por su elevada plasticidad y propensión a cambios volumétricos en función de la humedad, generan desafíos significativos en términos de diseño y ejecución de proyectos (Sánchez Albán, 2014).

La alta proporción de material arcilloso en su composición no solo afecta negativamente la resistencia al corte de estos suelos, sino que también contribuye a una deformabilidad pronunciada. Un problema adicional radica en los cambios volumétricos significativos que experimentan debido a las fluctuaciones constantes en su contenido de agua. Esta problemática es particularmente común en las subrasantes de carreteras, siendo la

provincia de Manabí un claro ejemplo de la prevalencia de estos suelos expansivos (Gallardo Amaya, et ál., 2020).

Dentro de este contexto, resulta evidente que la intervención para mejorar el comportamiento de estos suelos bajo cargas es esencial. Uno de los problemas recurrentes que impacta directamente en la integridad de los pavimentos es la limitada capacidad portante de la subrasante (Massenlli & De Paiva, 2019). En este escenario, se presenta la necesidad de una exploración más profunda de la efectividad de la cal como aditivo estabilizador, particularmente en suelos con diferentes grados de expansión. Este enfoque no solo busca abordar los desafíos actuales asociados con los suelos expansivos en la región, sino también proporcionar soluciones técnicas y económicas que beneficien la ejecución exitosa de proyectos de construcción en áreas afectadas por estas condiciones geotécnicas específicas.

La investigación que se presenta tiene como objetivo principal examinar tres niveles distintos de expansión de la arcilla que se encuentran en vías de gran importancia en la región de Manabí. Estas vías, afectadas por la acción de las arcillas expansivas en la subrasante, han experimentado repercusiones significativas en la integridad estructural de los pavimentos.

El desarrollo de la construcción civil desempeña un papel crucial en el progreso de un país al impulsar avances en infraestructura y contribuir a la generación de empleo, lo que, a su vez, respalda el crecimiento del sector económico (Amador Salomao et ál., 2019). Dada la presencia de suelos expansivos en esta región, se hace imperativo considerar el tratamiento del suelo mediante agentes estabilizadores externos para mejorar sus propiedades físicas y mecánicas. En este contexto, es esencial basarse en soluciones ingenieriles bien establecidas y llevar a cabo un proceso adecuado, según lo recomendado por organismos como la Corporación Andina de Fomento (CAF) en 2010.

El objetivo central de este estudio es determinar la efectividad de la cal como aditivo estabilizador en suelos arcillosos, específicamente evaluando hasta qué punto de expansión de la arcilla se logra una estabilización óptima. Para ello, se realizará una revisión bibliográfica enfocada en las experiencias previas con la arcilla como aditivo estabilizador y se evaluará el grado de expansión natural del suelo en tres sectores de la provincia de Manabí. Posteriormente, se analizará el efecto de diferentes porcentajes de cal en la estabilización de estos suelos. Este enfoque permitirá establecer la relación entre la cantidad de cal aplicada y la efectividad en la estabilización del suelo en cada sector analizado.

La investigación adoptará un enfoque Mixto (Cuanticualitativo), dando predominancia a la componente cuantitativa. La elección se basa en la necesidad de establecer la eficacia de la cal como aditivo estabilizador en diversos tipos de arcillas expansivas. Para lograr dicho propósito, se llevarán a cabo ensayos y experimentos de laboratorio, constituyendo la mayor parte de la investigación. Aun así, también se incorporará una perspectiva cualitativa, explorando un problema que hasta el momento no ha sido exhaustivamente abordado en la literatura científica.

En cuanto al alcance, la investigación se clasificará como Descriptiva y Exploratoria. La componente descriptiva se centrará en la observación detallada y descripción del comportamiento de los distintos tipos de arcillas frente a la cal. Por otro lado, la naturaleza exploratoria de la investigación surge de la falta de un análisis preciso en investigaciones anteriores sobre este tema. Este enfoque combinado permitirá abordar de

manera integral la pregunta central sobre la eficiencia de la cal como estabilizador en suelos con distintos tipos de arcilla expansiva.

En cuanto a los resultados, se logra una comprensión a fondo de las publicaciones relacionadas con el tema, permitiendo así una contextualización exhaustiva del estudio. Asimismo, se adquiere un conocimiento detallado sobre las propiedades físico-mecánicas de las muestras en consideración. Obtener información precisa y valiosa acerca de la efectividad de la cal como aditivo estabilizador, especialmente en relación con el grado de expansión de la arcilla. Estos resultados son fundamentales para contribuir a un cuerpo de conocimientos más sólido en el campo de la estabilización del suelo con la cal como aditivo.

Materiales y métodos

En cuanto a la estrategia metodológica empleada en este estudio, se adoptó un enfoque mixto (cuantitativo-cualitativo). Predominantemente, se siguió una metodología cuantitativa, ya que el objetivo principal es determinar la eficacia de la cal como aditivo estabilizador en diversos tipos de arcilla expansiva. Esto se logró mayormente mediante ensayos y experimentos de laboratorio. Sin embargo, se incorporó una perspectiva cualitativa para abordar un problema que ha recibido escasa atención en investigaciones previas.

El tipo de investigación se clasificó como descriptiva y exploratoria, siendo descriptiva por la observación y descripción detallada del comportamiento de distintos tipos de arcillas frente a la cal, y exploratoria debido a la falta de precisiones en estudios anteriores sobre este tema. La población de interés para este estudio fueron los suelos expansivos en vías importantes de la provincia de Manabí. La muestra seleccionada correspondió a las de las vías Rocafuerte-Tosagua, Guayabal-La Pila, y Montecristi-Portoviejo mediante un muestreo aleatorio.

En términos de métodos de investigación, se utilizó el enfoque histórico-lógico para establecer las bases de la investigación, analizando estudios previos y evaluando los problemas observados en las vías de Manabí a lo largo del tiempo. Se realizó una revisión bibliográfica en bases de datos científicas y confiables. La investigación de campo fue esencial para la recopilación de datos desde una fuente primaria, especialmente la toma de muestras de suelo expansivo de diferentes sectores mediante calicatas.

El método de experimentación fue el más utilizado en la investigación, ya que permitió estimar y encontrar los parámetros necesarios para cumplir con los objetivos. Se realizaron ensayos como granulometría, humedad natural, límites de consistencia, Proctor y CBR en todas las muestras. También se llevó a cabo ensayos de laboratorio en las muestras mezcladas con tres diferentes porcentajes de cal.

Diseño del experimento para evaluación de la estabilización del suelo con cal en tres sectores diferentes

El diseño del experimento se estructuró minuciosamente para examinar la eficacia de la cal como aditivo estabilizador en suelos arcillosos, centrándose en tres sectores específicos. Inicialmente, se recolectó una muestra en estado natural por sector, proporcionando una base para la comparación con las muestras estabilizadas. Cada sector experimentó la aplicación de tres porcentajes diferentes de cal: 6%, 9%, y 12%. Esto permitió evaluar la influencia de la cal en distintas concentraciones y su efectividad en condiciones geotécnicas variadas.

En cada sector, se ensayaron tres muestras estabilizadas con cal, correspondientes a los diferentes porcentajes mencionados anteriormente. Simultáneamente, se realizaron ensayos en tres muestras en estado natural, proporcionando así una referencia inicial. En total, se llevaron a cabo ensayos en doce muestras, abarcando tanto las muestras en estado natural como las estabilizadas con cal.

Cada muestra fue recolectada y almacenada en sacos, con un total de tres sacos por sector. El experimento requirió nueve muestras en total, cada una contuvo aproximadamente un peso aproximado de 60kg de suelo. El peso total de los sacos de muestra fue de alrededor de 540 kg, asegurando una cantidad representativa de suelo para llevar a cabo los ensayos.

Este diseño experimental abarcativo se concibió con el propósito de proporcionar una evaluación detallada de la influencia de la cal en diversas condiciones geotécnicas. La distribución equitativa de muestras y la variación en los porcentajes de cal permitió obtener conclusiones sólidas sobre la eficacia de la cal como aditivo estabilizador en suelos arcillosos.

- Número de sectores = 3
- Número de muestras por sector ensayadas en estado natural = 1
- Porcentaje de cal aplicada a cada muestra por sector = 6% - 9% - 12%
- Número de muestras ensayadas por sector con Cal = 3
- Número total de muestras ensayadas en estado natural = 3
- Número total de muestras ensayadas estabilizadas con cal = 9
- Número total de muestras ensayadas = 12
- Número de sacos de muestra por sector = 3
- Número total de sacos de muestra = 9
- Peso aproximado por saco de muestra = 60 kg
- Peso total aproximado de sacos de muestra = 540 kg

Resultados y discusión

Los resultados obtenidos en el marco de la presente investigación, proporcionaron una visión amplia y exhaustiva sobre los efectos de la estabilización del suelo mediante el uso de cal como aditivo. Estos resultados son fruto de una evaluación minuciosa de tres sectores geotécnicos específicos, donde se realizaron ensayos tanto en muestras de suelo en estado natural como en aquellas estabilizadas con diferentes porcentajes de cal (6%, 9%, y 12%).

En primer lugar, los análisis de muestras en estado natural revelaron propiedades geotécnicas fundamentales, sirviendo como referencia inicial para la comparación con las muestras estabilizadas. Estos datos iniciales proporcionaron información valiosa sobre la composición y comportamiento original del suelo en cada sector.

En cuanto a las muestras estabilizadas con cal, se observó una clara tendencia en la mejora de la capacidad portante del suelo a medida que aumentaba el porcentaje de cal aplicado. Este fenómeno se reflejó en valores significativamente incrementados de California Bearing Ratio (CBR), indicando una mayor resistencia y capacidad del suelo para soportar cargas.

No obstante, se identificaron consideraciones importantes en relación con el esponjamiento del suelo, especialmente en niveles más bajos de aplicación de cal. Este aspecto destacó la necesidad de un enfoque equilibrado al seleccionar los porcentajes de cal, garantizando la estabilización efectiva sin comprometer la compactación del suelo.

Además, se analizaron los resultados en términos de PROCTOR, evidenciando la relación entre la compactación del suelo y la capacidad portante mejorada con la aplicación de cal. La comparación entre sectores permitió discernir patrones específicos de respuesta a la estabilización, ofreciendo perspectivas valiosas para futuras consideraciones en proyectos de ingeniería geotécnica.

En resumen, estos resultados comprensivos no solo resaltan los beneficios de la cal como aditivo estabilizador en suelos arcillosos, sino que también subrayan la importancia de una evaluación detallada de las propiedades del suelo y la necesidad de ajustar cuidadosamente los porcentajes de cal para optimizar la estabilización. Este análisis amplio contribuye al conocimiento en el campo de la ingeniería geotécnica y proporciona información valiosa para la toma de decisiones en futuros proyectos de construcción e infraestructura en áreas con suelos expansivos.

Tabla 1. Análisis de suelo en el sitio Montecristi-Portoviejo a una profundidad de 0,50 m.

SITIO MONTECRISTI - PORTOVIEJO PROFUNDIDAD 0,50 m									
PORCENTAJES	Tamiz N°200	IP	LL	GRADO DE EXPANSION	SUCS	AASTHO	PROCTOR	CBR	ESPONJAMIENTO
0%	97.16	12.10	43.27	MEDIO	ML	A-7-5	1523	0.85%	36.57
6%	4.54	0.00	0.00	BAJO	SM	A-3	1430	32.00%	0.00
9%	9.69	0.00	0.00	BAJO	SM	A-3	1441	34.00%	0.00
12%	14.04	0.00	0.00	BAJO	SM	A-3	1528	38.00%	0.00

Los resultados revelaron que, a un 0% de aplicación de cal, el suelo exhibe un grado de expansión medio según SUCS, con un índice de plasticidad (IP) de 12.10 y un límite líquido (LL) de 43.27. A medida que se incrementó el porcentaje de aplicación de cal al 6%, 9%, y 12%, se observó una notable disminución en la plasticidad del suelo, indicada por reducciones en los valores de IP y LL. Además, se registró un aumento en los valores de CBR, señalando una mejora en la capacidad portante del suelo con la aplicación de cal. No obstante, se evidencia una disminución en el esponjamiento a medida que se incrementa el porcentaje de aplicación de cal, sugiriendo posibles cambios en la compactación del suelo. Estos hallazgos subrayan la influencia significativa de la cal como estabilizador, mostrando su capacidad para reducir la plasticidad y mejorar la capacidad portante del suelo expansivo en el sitio Montecristi-Portoviejo.



Figura 1. Relación entre CBR y PROCTOR en Montecristi – Portoviejo.

Los resultados indican una clara tendencia: a medida que aumenta el porcentaje de CBR, se observa generalmente un incremento en los valores de su densidad máxima (PROCTOR). Esto sugiere una correlación positiva entre el CBR y el PROCTOR en la región de Montecristi - Portoviejo. Es decir, a medida que la capacidad portante del suelo aumenta (reflejada por un mayor CBR), también tiende a aumentar la resistencia del suelo a las deformaciones, como se indica por los valores más altos de PROCTOR.

Tabla 2. Resultados de pruebas de suelo en Sitio Guayabal - La Pila a 0,50 m de profundidad.

SITIO GUAYABAL - LA PILA PROFUNDIDAD 0,50 m									
PORCENTAJES	Tamiz N°200	IP	LL	GRADO DE EXPANSIÓN	SUCS	AASTHO	PROCTOR	CBR	ESPONJAMIENTO
0%	73.13	31.37	60.49	ALTO	CH	A-7-6	1463	1.60%	12.46
6%	19.99	0.00	0.00	BAJO	SM	A-3	1461	22.00%	3.43
9%	14.72	0.00	0.00	BAJO	SM	A-3	1470	27.20%	2.24
12%	20.05	0.00	0.00	BAJO	SM	A-3	1608	32.00%	0.00

Con la aplicación del 6%, 9%, y 12% de cal, se observó una significativa disminución en la plasticidad del suelo, indicada por las reducciones en los valores de IP y LL. La clasificación del suelo según SUCS se mantiene como SM (suelo con expansión de arcilla), y AASTHO como A-3, en todos los casos. A medida que aumenta el porcentaje de aplicación de cal, se evidencia una mejora en el CBR, sugiriendo una mayor capacidad portante del suelo. No obstante, se observó una disminución en el esponjamiento, especialmente a un 12% de aplicación de cal llegando a 0.00. Estos resultados destacaron la capacidad de la cal como estabilizador para reducir la plasticidad y mejorar la capacidad portante del suelo expansivo en el sitio Guayabal-La Pila, aunque se sugiere la necesidad de considerar el esponjamiento como un factor relevante en el proceso de estabilización.



Figura 2. Relación entre PROCOR y CBR en Guayabal - La Pila.

La tendencia observada en el gráfico sugiere una relación positiva entre el PROCTOR y el % CBR en el sitio la Guayabal - La Pila. A medida que el CBR aumenta, se aprecia un aumento correspondiente en los valores de PROCTOR. Este patrón indica que a medida que la capacidad portante del suelo, representada por el %CBR, se incrementa, también lo hace la resistencia del suelo a las deformaciones, evidenciada por los valores más altos de PROCTOR.

Tabla 3. Resultados de Pruebas de Suelo en Sitio Rocafuerte - Tosagua a 0.50m de Profundidad.

SITIO ROCAFUERTE - TOSAGUA PROFUNDIDAD 0,50 m									
PORCENTAJES	Tamiz N°200	PLASTICIDAD	LL	GRADO DE EXPANSIÓN	SUCS	AASTHO	PROCTOR	CBR	ESPONJAMIENTO
0%	99.36	31.92	56.65	ALTO	CH	A-7-6	1531	1.07%	27.30
6%	65.00	0.00	0.00	BAJO	SM	A-3	1458	27.00%	2.36
9%	65.51	0.00	0.00	BAJO	SM	A-3	1493	33.00%	0.00
12%	43.88	0.00	0.00	BAJO	SM	A-3	1549	37.00%	0.00

Con la aplicación del 6%, 9%, y 12% de cal, se observa una significativa disminución en la plasticidad del suelo, indicada por las reducciones en los valores de IP y LL. La clasificación del suelo según SUCS se mantiene como SM (Arena limosa), y AASTHO como A-3, en todos los casos. A medida que aumenta el porcentaje de aplicación de cal, se evidencia una mejora en el % CBR, sugiriendo una mayor capacidad portante del suelo. Sin embargo, se observa una disminución en el esponjamiento, especialmente a un 9% y 12% llegando a 0.00 siendo de 2.36 al 6% de aplicación de cal. Estos resultados resaltan la capacidad de la cal como estabilizador para reducir la plasticidad y mejorar la capacidad portante del suelo expansivo en el sitio Rocafuerte-Tosagua, aunque se destaca la importancia de considerar el esponjamiento en el proceso de estabilización.

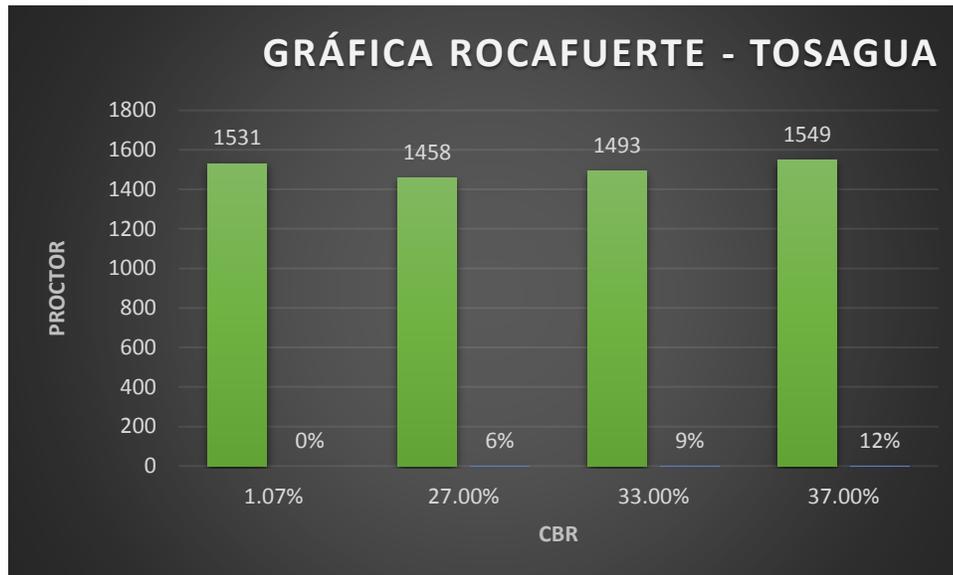


Figura 3. Relación entre PROCTOR y CBR en Gráfica Rocafuerte - Tosagua

La tendencia observada en el gráfico indica una relación inversa entre el PROCTOR y el CBR en Rocafuerte - Tosagua. A medida que el CBR aumenta, los valores de PROCTOR tienden a disminuir. Esto sugiere que a mayores niveles de capacidad portante del suelo (reflejados en un mayor CBR), la compactación del suelo, representada por los valores de PROCTOR, tiende a ser menor. Es decir, suelos con una mayor capacidad portante pueden requerir menor esfuerzo de compactación durante el proceso de construcción.

Conclusiones

El estudio realizado aportó perspectivas significativas sobre la efectividad de la cal como aditivo estabilizador en suelos arcillosos, centrándose específicamente en diferentes grados de expansión de la arcilla. La combinación de una revisión bibliográfica exhaustiva y ensayos realizados en tres sectores de la provincia de Manabí ha proporcionado una comprensión detallada de las propiedades físico-mecánicas de las muestras analizadas.

Los resultados obtenidos revelan patrones claros en la respuesta del suelo a diferentes porcentajes de aplicación de cal. Se observa una reducción sustancial en la plasticidad del suelo, indicada por los valores disminuidos de índice de plasticidad (IP) y límite líquido (LL) a medida que se incrementa el porcentaje de cal. Este fenómeno contribuye positivamente a la mejora de la capacidad portante del suelo, como se refleja en el aumento progresivo de los valores de California Bearing Ratio (CBR). Sin embargo, es crucial destacar que se ha identificado un aumento en el esponjamiento, especialmente a niveles más bajos de aplicación de cal, sugiriendo la necesidad de un enfoque equilibrado en la cantidad de cal utilizada para evitar posibles efectos adversos en la compactación del suelo.

Estos hallazgos respaldan la utilidad de la cal como estabilizador en suelos expansivos y proporcionan una base valiosa para el diseño y la implementación de técnicas de estabilización del suelo en regiones con

características geotécnicas similares. Como recomendación, se sugiere llevar a cabo investigaciones adicionales para comprender más profundamente los efectos a largo plazo de la aplicación de cal en la estabilidad del suelo y para evaluar la viabilidad económica de esta técnica en proyectos de ingeniería a gran escala. Además, se insta a considerar cuidadosamente el esponjamiento en el diseño de mezclas de cal, buscando optimizar la estabilización sin comprometer la compactación del suelo. Estas recomendaciones buscan mejorar la aplicación práctica de la cal como estabilizador, contribuyendo así a un desarrollo sostenible y eficiente de infraestructuras en áreas propensas a suelos expansivos.

Referencias

- Alva Ruiz, R. A., & Pezo Honorio, L. D. (2021). Mejoramiento de la subrasante con adición de cal estructural y su influencia en la capacidad portante de la carretera Shucushuyacu-Lago Cuipari–Teniente Cesar López–Loreto.
- Amador Salomao, P., Alcantara Alcívar, B., & Alchar Barbosa, F. (2019). Estabilización química del suelo con textura franca: adición de cal y cemento. 3.
- Arevalo Soria, R. D., & Tananta Utia, J. H. (2022). Mejoramiento de afirmado con adición de cal estructural en el camino Vecinal SM 804 Alto Ponaza, Miraflores, Distrito de Shamboyacu, Picota–San Martín.
- Buitrón Landeta, S. K., & Enríquez León, A. J. (2018). Estudio de la estabilización de arcillas expansivas de Manabí con ceniza del volcán Tungurahua (Bachelor's thesis, Quito, 2018.).
- CAF, C. A. (2010). Soluciones e innovaciones de tecnológicas de mejoramiento de vías de bajo tránsito. Caracas: Serie informes sectoriales.
- Chávez Chambilla, J. J., & Gomez Condori, M. C. (2023). Mejoramiento de la subrasante con aditivo BIOCEC para las deformaciones de las vías no pavimentadas en Alto Locumba, Tacna, 2023.
- Cordova Valentin, K. H., & Mori Montalvo, A. F. (2021). Modelo matemático para la predicción de la Capacidad de Soporte (CBR) en suelos expansivos estabilizados con cenizas de cáscara de arroz y cal a partir de sus propiedades índice y de compactación.
- Daza Cecilio, V. F. (2023). Influencia del cemento portland tipo i en el cambio volumétrico de los suelos arcillosos de alta plasticidad a nivel de subrasante debido a las condiciones climáticas, en el camino vecinal Jacas Chico-San Antonio de Colpa, Yarowilca, Huánuco 2021.
- Delgado León, I. D., & Guerra Pisco, B. K. (2020). Análisis comparativo de aceite sulfonado y cal para la estabilización de la sub-rasante en la carretera no pavimentada San Francisco, Tarapoto-2020.
- Gallardo Amaya, R. J., Martínez Ovallos, C. A., & Muñoz Quintero, A. (2020). Caracterización de un suelo plástico para estabilización con cementantes. Respuestas, 2.
- García, N. P. Evaluación de la efectividad de aditivos estabilizantes utilizando un suelo con propiedades marginales.
- Gonzáles-Rufino, J. L., & Chávez-Alegría, O. (2021). Evaluación de la expansión en suelos presaturados. Ingeniería, investigación y tecnología, 22(4).

- Landa Alarcon, J. Y., & Torres Montesinos, S. F. (2019). Mejoramiento de Suelos Arcillosos en Subrasante mediante el uso de Cenizas Volantes de Bagazo de Caña de Azúcar y Cal.
- Luis, G. R. J., & Omar, C. A. (2021). Evaluación de la expansión en suelos presaturados Expansion evaluation of presaturated soils. *Ingeniería Investigación y tecnología*, 22(4), 1-14.
- Martinez Machado, M. M. (2020). Mejoramiento de la subrasante mediante la adición del Polímero Polycor, en la Av. Unión de Manchay. Lima-2019.
- Massenlli, G., & De Paiva, C. (2019). Influencia de la deflexión superficial en pavimentos flexibles con subrasantes de baja resistencia. *Revista Chilena de ingeniería*, 1-3.
- Moale Quispe, A. B., & Rivera Justo, E. J. (2019). Estabilización química de suelos arcillosos con cal para su uso como subrasante en vías terrestres de la localidad de Villa Rica.
- Mora Cedeño, J. V. (2023). Análisis comparativo estabilización de suelo expansivo con cal y estabilización de suelo expansivo con materiales evacuados, cerámica triturada, hormigón triturado y ceniza de bagazo (Bachelor's thesis, Guayaquil: ULVR, 2023.).
- Peralta Tingal, S. P., Cerrón Holgado, K. L., Cerrón Estévez, N. L., Carrasco Boza, C. A., & Quispe Arroyo, K. W. Caracterización de arcillas expansivas y mitigación de riesgos.
- Quispe Mamani, L. M., & Roldan Perez, H. T. (2022). Estabilización de suelo con Cloruro de Sodio NaCl y CAL para mejorar sus propiedades físico-mecánicas, Lima-2022.
- Robles Cedeño, R. A., & Giler Zambrano, F. A. (2021). Uso de toba volcánica como solución de suelos expansivos (Bachelor's thesis, Guayaquil: ULVR, 2021.).
- Salinas Suárez, J. E., & Villao Carvajal, R. A. (2019). Estudio comparativo de estabilización de suelos de subrasante suelos expansivos, utilizando cal, sal y geoceldas, para implementación en una nueva vía en la comuna Bajadita de Colonche de la parroquia Colonche (Bachelor's thesis, La Libertad: Universidad Estatal Península de Santa Elena, 2019.).
- Sánchez Albán, M. A. (2014). Estabilización de suelos expansivos con cal y cemento en el Sector Calcical del Cantón Tosagua Provincia de Manabí. Quito: Pontificia Universidad Católica del Ecuador.
- Torres Montesinos, S. F., & Landa Alarcon, J. Y. Mejoramiento de suelos arcillosos en subrasante mediante el uso de cenizas volantes de bagazo de caña de azúcar y cal en el tramo de la carretera Tingo María-Monzón en la provincia de Leoncio Prado.
- Zamora Nevado, R. M. (2022). El yeso de Mórrope como aditivo alternativo para la estabilización de suelos arcillosos expansivos.