

Comparativa De Métodos Químicos En La Estabilización De Suelos Cohesivos (Arcillosos): Cal, Cloruro De Calcio Y Sulfato De Calcio (Yeso)
Comparative Study of Chemical Methods in the Stabilization of Cohesive (Clay) Soils: Lime, Calcium Chloride, and Gypsum (Calcium Sulfate)

Jessica Tatiana Fiallos Condo, Daicy Paola Arias Salazar, Byron René Córdova Cruz, Mario Kleber Fiallos Condo

**CONFLUENCIA DE
INNOVACIONES CIENTÍFICAS**

Enero - junio, V°5-N°1; 2024

- ✓ **Recibido:** 28/04/2024
- ✓ **Aceptado:** 17/05/2024
- ✓ **Publicado:** 30/06/2024

PAIS

- Ecuador, Ambato.
- Ecuador, Ambato.
- Ecuador, Ambato.
- Ecuador, Ambato.

INSTITUCIÓN:

- Universidad Técnica de Ambato.
- Universidad Técnica de Ambato.
- Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil.
- Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

CORREO:

- ✉ Jessicatianafiallos0@gmail.com
- ✉ daicyarias@indoamerica.edu.ec
- ✉ arq.rene.cordova.c@gmail.com
- ✉ Mariefiallos0205@gmail.com

ORCID:

- <https://orcid.org/0009-0007-2111-8576>
- <https://orcid.org/0000-0002-6483-5619>
- <https://orcid.org/0000-0002-3574-6019>
- <https://orcid.org/0009-0009-2836-6438>

FORMATO DE CITA APA

Fiallo, J. Arias, D. Córdova, B. Fiallos, M. (2024). *Comparativa de Métodos Químicos en la Estabilización de Suelos Cohesivos (Arcillosos): Cal, Cloruro de Calcio y Sulfato de Calcio (Yeso)*. *Revista G-ner@ndo*, V°5 (N°1.), 818 – 826.

Resumen

El propósito de este estudio experimental es presentar los resultados obtenidos de una investigación sobre la estabilización de un suelo arcilloso mediante tres métodos químicos: cal, cloruro de calcio y sulfato de calcio (yeso). Se recolectó una muestra de arcilla en la ciudad del Puyo y se realizaron pruebas de sondeo para obtener muestras inalteradas. Se llevaron a cabo diversos ensayos, como el de cono y arena de Ottawa, así como ensayos de penetración estática y dinámica, para determinar las propiedades del suelo según normativas específicas. Tras pulverizar la muestra, se realizaron pruebas de Límites de Atterberg para identificar el tipo de suelo según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS). Además, se evaluó el Índice CBR después de un ensayo de próctor modificado, determinando así la humedad óptima y la densidad máxima según normativas específicas. Se prepararon bloques mezclando el suelo con cada aditivo químico en diferentes porcentajes y se dejaron curar durante 7, 14 y 21 días antes de someterlos a ensayos de compresión para evaluar su resistencia máxima. Los resultados se presentan detalladamente en tablas y gráficas, demostrando la eficacia de cada método de estabilización química en el suelo arcilloso estudiado.

Palabras clave: suelo, cohesivo, cal, calcio, yeso

Abstract

The purpose of this experimental study is to present the results obtained from an investigation into the stabilization of clayey soil using three chemical methods: lime, calcium chloride, and calcium sulfate (gypsum). A clay sample was collected in the city of Puyo, and drilling tests were conducted to obtain undisturbed samples. Various tests were carried out, such as the cone and Ottawa sand test, as well as static and dynamic cone penetration tests, to determine the soil properties according to specific standards. After pulverizing the sample, Atterberg Limit tests were performed to identify the soil type according to the Unified Soil Classification System (USCS). In addition, the CBR Index was evaluated after a modified Proctor test, thus determining the optimum moisture content and maximum density according to specific standards. Blocks were prepared by mixing the soil with each chemical additive in different percentages and allowed to cure for 7, 14, and 21 days before being subjected to compression tests to evaluate their maximum resistance. The results are presented in detail in tables and graphs, demonstrating the effectiveness of each chemical stabilization method in the clayey soil under study.

Keywords: soil, cohesive, limestone, calcium, plaster.

Introducción

La infraestructura vial constituye una piedra angular en el desarrollo y el bienestar de las sociedades modernas, sirviendo como una red vital que facilita no solo el flujo de personas y bienes, sino también la integración económica, política y cultural de ciudades, regiones y naciones. Esta red de carreteras, puentes y autopistas es esencial para el crecimiento económico, ya que posibilita la movilización eficiente de recursos, reduce los costos de transporte y mejora la accesibilidad a mercados locales e internacionales. Además, desempeña un papel crucial en el fortalecimiento de la cohesión social y la equidad, permitiendo el acceso igualitario a oportunidades de empleo, educación, salud y recreación, elementos fundamentales para mejorar la calidad de vida de los habitantes (García, 2013).

En el contexto ecuatoriano, el significativo avance en la infraestructura vial refleja el compromiso del país con el progreso y la modernización. La Red Vial Nacional, que integra carreteras estatales, provinciales y cantonales, es testimonio de un esfuerzo continuo por conectar comunidades, facilitar el comercio y promover el turismo dentro de esta nación diversa y geográficamente variada (González, 2011). La inversión en infraestructura vial no solo ha mejorado la movilidad y la conectividad, sino que también ha sido un catalizador para el desarrollo económico, impulsando la inversión tanto nacional como extranjera.

Sin embargo, el desafío del mantenimiento de estas vías persiste, exacerbado por el desgaste natural debido al uso intensivo y las condiciones climáticas adversas, características del variado terreno ecuatoriano. La erosión, las inundaciones y los deslizamientos de tierra, frecuentes en áreas montañosas y tropicales, ponen a prueba la resistencia y durabilidad de la infraestructura vial. Estos desafíos subrayan la importancia de adoptar métodos de construcción y mantenimiento que no solo sean eficaces, sino también sostenibles y respetuosos con el medio ambiente (Murillo, 2010).

Ante este panorama, la estabilización química de suelos emerge como una estrategia innovadora y prometedora para mejorar la infraestructura vial. Este enfoque implica la aplicación de técnicas de ingeniería civil que utilizan compuestos químicos para modificar las propiedades físicas y químicas del suelo, mejorando su capacidad de soporte y resistencia al agua. Los métodos de estabilización química, incluyendo la adición de cal, cloruro de calcio y sulfato de calcio (yeso), ofrecen ventajas significativas en términos de durabilidad, coste y eficiencia, al proporcionar una solución a largo plazo para los problemas de deterioro de las carreteras (Rodríguez, 2012).

El uso de la cal en la estabilización de suelos, por ejemplo, es un método bien establecido que mejora la compresibilidad, reduce la plasticidad y aumenta la resistencia del suelo, haciéndolo más adecuado para soportar estructuras viales. Por otro lado, el cloruro de calcio, un agente higroscópico, ayuda a controlar el polvo y mejora la compactación del suelo, resultando en una superficie más dura y resistente al tráfico. Además, el sulfato de calcio, o yeso, se utiliza para acelerar el fraguado de las mezclas de suelo-cemento y mejorar las propiedades mecánicas del suelo, como la resistencia a la compresión y la reducción de la contracción (Lime, 2006).

Este proyecto tiene como objetivo explorar y evaluar el potencial de estos métodos químicos para la estabilización de sub-bases de carreteras en Ecuador. Al implementar estos enfoques, se busca no solo mejorar la calidad y durabilidad de la infraestructura vial, sino también optimizar los costos de construcción y mantenimiento. Además, el proyecto aspira a contribuir al cuerpo de conocimiento en el campo de la ingeniería civil, ofreciendo datos valiosos sobre la aplicación de técnicas de estabilización química en el contexto ecuatoriano, caracterizado por su diversidad climática y geográfica.

La relevancia de este proyecto radica en su potencial para abordar de manera efectiva los desafíos asociados con el mantenimiento y la sostenibilidad de la infraestructura vial. Al mejorar la estabilidad y durabilidad de las carreteras, se puede lograr una reducción significativa en la necesidad de reparaciones frecuentes, lo que a su vez conduce a una disminución de los

costos de mantenimiento a largo plazo y un impacto ambiental positivo al reducir la necesidad de materiales de construcción nuevos. Este enfoque no solo es económicamente viable, sino que también promueve prácticas de construcción más sostenibles, alineadas con los objetivos globales de desarrollo sostenible (Villalaz, 2004).

Materiales Y Métodos

Para desarrollar la investigación "Comparativa de Métodos Químicos en la Estabilización de Suelos Cohesivos (Arcillosos): Cal, Cloruro de Calcio y Sulfato de Calcio (Yeso)", se adopta una metodología que comienza con una exhaustiva revisión bibliográfica. Esta fase inicial es esencial para entender los principios teóricos y los estudios anteriores acerca de la estabilización de suelos con estos agentes químicos. Se procede con la selección cuidadosa de muestras de suelo, recogiendo suelos arcillosos de diversas localizaciones para garantizar la generalidad de los resultados (De Vicente, 2007).

Las muestras seleccionadas se preparan siguiendo procedimientos estandarizados antes de someterlas a análisis en el laboratorio, donde se evalúan sus características físicas y mecánicas pre y post aplicación de los tratamientos químicos. Estos tratamientos consisten en añadir cal, cloruro de calcio y sulfato de calcio en diferentes concentraciones, identificando así las proporciones más efectivas.

La fase experimental se enfoca en registrar detalladamente las modificaciones en las propiedades del suelo después de la estabilización química, aplicando análisis estadísticos para el tratamiento de los datos. Esta comparación directa facilita la evaluación de la eficiencia de cada método en términos de mejora de resistencia, disminución de la compresibilidad y aumento de la estabilidad del suelo (Echeverria, 2013).

Se interpretan los resultados a la luz de trabajos previos, permitiendo no solo establecer la eficacia relativa de los métodos sino también entender los mecanismos por los cuales estos aditivos optimizan las propiedades de los suelos arcillosos. Con base en estos descubrimientos, se elaboran recomendaciones para la implementación práctica de estos métodos en la

estabilización de suelos. El estudio concluye con la elaboración de un informe detallado o la preparación de un artículo para su publicación, con el fin de compartir los conocimientos adquiridos con la comunidad académica y profesional en ingeniería civil y geotecnia. Esta metodología no solo permite una evaluación exhaustiva de los tratamientos químicos, sino que también enriquece el conocimiento existente, impulsando prácticas de estabilización de suelos más eficientes y sostenibles.

Análisis de Resultados

La implementación de métodos de estabilización química en la infraestructura vial de Ecuador representa una oportunidad única para abordar los desafíos específicos que enfrenta el país debido a su geografía diversa. Las regiones costeras, andinas y amazónicas presentan diferentes tipos de suelos y condiciones climáticas, lo que requiere soluciones adaptadas a cada contexto. La estabilización química ofrece la flexibilidad necesaria para adaptarse a estas variadas condiciones, proporcionando una base sólida para el desarrollo de infraestructura vial resistente y duradera en todas las regiones del país.

Este proyecto también pretende fomentar la colaboración entre instituciones académicas, agencias gubernamentales y el sector privado. Al unir esfuerzos, es posible compartir conocimientos, recursos y tecnologías para superar los desafíos técnicos y financieros asociados con la implementación de nuevos métodos de construcción vial. La participación activa de las universidades puede garantizar que la investigación y el desarrollo se mantengan a la vanguardia, promoviendo la innovación y la adopción de las mejores prácticas en el campo de la ingeniería civil.

Más allá de los beneficios técnicos y económicos, el proyecto busca tener un impacto positivo en las comunidades locales al mejorar la accesibilidad y la conectividad. Carreteras más seguras y confiables pueden transformar la vida cotidiana de las personas, facilitando el acceso a servicios esenciales, oportunidades de empleo y mercados. Esto es especialmente importante

en áreas rurales y remotas, donde la infraestructura vial deficiente a menudo limita el desarrollo socioeconómico.

La sostenibilidad ambiental es otro aspecto clave del proyecto. Al adoptar métodos de estabilización química, se reduce la necesidad de extraer y transportar materiales de construcción a larga distancia, lo que disminuye la huella de carbono de los proyectos de infraestructura vial. Además, al mejorar la durabilidad de las carreteras, se minimiza el impacto ambiental asociado con la construcción y reconstrucción frecuentes. Este enfoque alinea el desarrollo de infraestructura vial con los principios de sostenibilidad y conservación ambiental (Rojas,2014).

Para garantizar el éxito del proyecto, es crucial realizar una evaluación exhaustiva de los impactos a largo plazo de la estabilización química en diferentes tipos de suelos y condiciones ambientales. Esto incluye estudios de campo y laboratorio que analicen la eficacia de los compuestos químicos utilizados, su interacción con los suelos locales y su resistencia a las condiciones climáticas específicas de Ecuador. La recopilación y análisis de estos datos permitirán la optimización de las formulaciones químicas y técnicas de aplicación, asegurando los mejores resultados posibles.

En conclusión, el proyecto de estabilización química de suelos para la infraestructura vial en Ecuador representa una iniciativa integral que aborda múltiples aspectos del desarrollo sostenible. Al mejorar la calidad, durabilidad y sostenibilidad de la infraestructura vial, este proyecto no solo beneficia el desarrollo económico y la cohesión social, sino que también contribuye a la protección del medio ambiente. Con el compromiso y la colaboración de todos los actores involucrados, es posible avanzar hacia un futuro donde las carreteras de Ecuador sean seguras, confiables y construidas con respeto por el planeta y sus habitantes.

Conclusiones

Basado en los ensayos y análisis meticulosamente ejecutados conforme a las normativas ASTM, AASHTO, e INEN, este trabajo experimental ha permitido una evaluación profunda sobre las propiedades índice y técnicas de suelos cohesivos (arcillosos) sujetos a procesos de estabilización mediante aditivos químicos. La meticulosidad y rigor en la aplicación de las normas aseguraron la fiabilidad de los datos obtenidos, los cuales son fundamentales para comprender el impacto de los tratamientos químicos en las propiedades del suelo.

Los resultados del ensayo in situ con cono y arena de Ottawa, y los ensayos de penetración tanto estática como dinámica, revelaron las características iniciales del suelo, mostrando una baja densidad de campo y una resistencia inicial limitada. Estos datos establecieron un punto de partida crítico para evaluar la efectividad de los tratamientos de estabilización.

La aplicación de cal, yeso y cloruro de calcio a distintas concentraciones y períodos de curado modificó significativamente las propiedades físicas y mecánicas del suelo. La mejora en la capacidad de soporte de carga, reflejada en un incremento en el valor de CBR y en la carga última admisible, destacó el potencial de la estabilización química para reforzar suelos cohesivos.

Particularmente, la estabilización con cal mostró una mejora notable en la resistencia y las propiedades de soporte de carga a los 14 y 21 días de curado, sugiriendo una interacción química favorable entre la cal y la arcilla. Por otro lado, la estabilización con yeso y cloruro de calcio, aunque mostró mejoras, no alcanzó los estándares necesarios para ser considerada efectiva para aplicaciones de subrasante según las especificaciones del Ministerio de Obras Públicas de la República del Ecuador.

Los hallazgos confirman que el tipo de aditivo químico, su concentración y el tiempo de curado son factores determinantes en la eficacia de la estabilización. La arcilla tratada con cal al 5% y 10% después de 14 días, y al 15% después de 21 días, demostró las mejores características para soportar cargas. En contraste, las mezclas de arcilla con yeso y cloruro de

calcio, aunque mostraron mejoras con el incremento de la dosis y el tiempo de curado, no cumplieron con los requisitos para su uso como material de subrasante.

Este estudio subraya la importancia de seleccionar adecuadamente los métodos de estabilización para suelos cohesivos, enfocándose en aquellos que no solo mejoran las propiedades mecánicas del suelo, sino que también cumplen con los estándares y regulaciones locales para aplicaciones de ingeniería civil. La estabilización con cal emerge como la más prometedora para los suelos evaluados, ofreciendo un camino viable hacia la mejora de infraestructuras viales con bases y sub-bases más estables y duraderas. Este conocimiento es crucial para guiar futuras investigaciones y proyectos de construcción, asegurando la elección de técnicas de estabilización efectivas y sostenibles.

Referencias Bibliográfica

De Vicente, M.M. (2007, febrero 11). CITOP. Recuperado el 3 de mayo de 2016, de http://www.citop.es/publicaciones/documentos/Cimbra373_06.pdf

Echeverria, V. (2013, diciembre 2). Muestras Alteradas e Inalteradas. Recuperado de <https://es.scribd.com/doc/188645663/Muestras-Alteradas-e-Inalteradas>

García Romero, C. (2013, mayo 17). Recuperado de http://www.utecv.esiaz.ipn.mx/comunidad/geotecnia/guias/PROPIEDADES_INDICES_DE_LOS_SUELOS.pdf

González, J. (2011). Geotecnia. España.

LIME. (2006). Manual de Estabilización de suelo tratado con cal.

Mantilla, F. (n.d.). Apuntes Mecánica de Suelos 2, Sexto Semestre. Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Universidad Técnica de Ambato.

Murillo, E.X. (2010). Estudio del comportamiento de las bases de pavimento rígidos en la ciudad de Cuenca. Universidad de Cuenca.

Polanco Rodríguez, A. (2012, enero 26). Recuperado de http://fing.uach.mx/licenciaturas/IC/2012/01/26/MANUAL_LAB.%20DE%20MECANICA%20DE%20SUELOS%20II.pdf

PROPIEDADES ÍNDICE. (2003, noviembre 3). Recuperado de http://icc.ucv.cl/geotecnia/03_docencia/03_clases_catedra/clases_catedra_ms1/04_propiedades.pdf

Rojas, F., & Calamargo, A. (2014). Estabilización Físico-Química de suelos Finos para Subrasantes de vías rurales. Universidad Industrial de Santander.

Sánchez Malagón, R. (2012). Estudio de Mecánica de suelos en la Planta Procesadora de Nopal Los Remedios San Bernardino Tlaxcalancingo, Municipio San Andrés Cholula, Puebla.

Stulz, R., & Mukerji, K. (1993). SKAT. Recuperado el 1 de mayo de 2016, de <http://ces.iisc.ernet.in/energy/HC270799/HDL/spanish/sk01ms/sk01ms00.htm#Contents>

Urgiles, H. (2011, marzo 3). Scribd. Recuperado de <https://es.scribd.com/doc/49897245/Relaciones-Volumetricas-y-Gravimetricas-Suelos>

Villalaz, C. (2004). Mecánica de Suelos y Cimentaciones. LIMUSA.
