

DOI: <https://doi.org/10.46296/ig.v8i15.0249>

ESTABILIZACIÓN DE SUELO ARCILLOSO CON EL EMPLEO DE CAL Y CEMENTO PARA EL MEJORAMIENTO DE LA SUBRASANTE

STABILIZATION OF CLAY SOIL WITH THE USE OF LIME AND CEMENT FOR THE IMPROVEMENT OF THE SUGRADE

Velásquez-Chávez Paul Daniel¹; Véliz-Rivadeneira José Martín²

¹ Departamento de Construcciones Civiles y Arquitectura, Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas, Universidad Técnica de Manabí. Portoviejo, Ecuador.
Correo: pvelasquez9950@utm.edu.ec. ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0008-4606-134X>

² Departamento de Construcciones Civiles y Arquitectura, Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas, Universidad Técnica de Manabí. Portoviejo, Ecuador.
Correo: martin.veliz@utm.edu.ec. ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0001-9526-2913>

Resumen

Para mejorar la estabilidad de una subrasante, se extrajo material de la Avenida Miraflores del Cantón Portoviejo y se sometió a pruebas experimentales. Se realizaron ensayos conforme a las normas: Límites de Atterberg (AASHTO T-89, 2021), Proctor Modificado (AASHTO T-180, 2021) y California Bearing Ratio (CBR) (AASHTO T-193, 2021). El suelo fue tratado con cal y cemento en tres proporciones diferentes: 2%, 4% y 6%, evaluando su reacción ante cada adición. Se encontró que, desde el 2% hasta el 6% de ambos estabilizantes, el material presentó una mejora significativa en sus propiedades geotécnicas. En su estado mejorado, el suelo fue clasificado como Limo de Baja Plasticidad (ML), con una densidad seca máxima (DMS) de 1623 kg/m³ y un contenido óptimo de humedad (COH) del 16.79%. El ensayo CBR arrojó un valor del 26.32%, lo que indica una notable mejora en la resistencia del suelo, clasificándolo como un material de excelente calidad para su empleo en capas de subrasante. Se observó que, a medida que se incrementaba la proporción de cal y cemento, las propiedades mecánicas del suelo arcilloso mejoraban significativamente, lo que sugiere una mayor estabilidad y capacidad de soporte del material tratado.

Palabras clave: Estabilización de suelos arcillosos, cal y cemento, capacidad de carga del suelo.

Abstract

To improve the stability of a subgrade, material was extracted from Miraflores Avenue in Portoviejo Canton and subjected to experimental testing. Tests were conducted according to the Atterberg Limits (AASHTO T-89, 2021), Modified Proctor (AASHTO T-180, 2021), and California Bearing Ratio (CBR) (AASHTO T-193, 2021) standards. The soil was treated with lime and cement in three different proportions: 2%, 4%, and 6%, and its reaction to each addition was evaluated. It was found that, from 2% to 6% of both stabilizers, the material showed a significant improvement in its geotechnical properties. In its improved state, the soil was classified as Low Plasticity Silt (LM), with a maximum dry density (MDD) of 1623 kg/m³ and an optimum moisture content (OMC) of 16.79%. The CBR test yielded a value of 26.32%, indicating a significant improvement in the soil's strength, classifying it as an excellent material for use in subgrade layers. It was observed that, as the proportion of lime and cement increased, the mechanical properties of the clayey soil improved significantly, suggesting greater stability and load-bearing capacity of the treated material.

Keywords: Stabilization of clay soils, lime and cement, soil load capacity.

Información del manuscrito:

Fecha de recepción: 10 de diciembre de 2024.

Fecha de aceptación: 27 de enero de 2025.

Fecha de publicación: 10 de abril de 2025.



1. Introducción

En algunas provincias de la región Costa del Ecuador se cuenta con la presencia de suelos expansivos los cuales generan constante inestabilidad en las obras civiles; por tal motivo es necesario buscar una alternativa de estabilización para este tipo de suelos, los cuales presentan graves problemas geotécnicos para su empleo en la construcción de infraestructuras debidos a su elevada plasticidad, e inestabilidad de volumen en función de la humedad. (Sánchez Maria, 2014).

En estudios preliminares se ha encontrado que en la provincia de Manabí gran parte de su suelo se halla la presencia de arcillas que causan afectaciones relacionadas con el sector de la construcción debido a su susceptibilidad a cambios volumétricos producidos por variaciones en el contenido de humedad (Chicaiza & Oña, 2018)

Según Peralta (2021), la caracterización física de los suelos se define a partir de sus propiedades índice, estas permiten nombrar a los suelos y establece relaciones con sus propiedades ingenieriles. Las

propiedades índices se obtienen por medio de ensayos como la clasificación visual, el contenido de humedad, el peso específico, la granulometría, plasticidad, y densidad máxima y mínima; las propiedades físicas a tener en cuenta de las arcillas expansivas incluyen la interacción química del agua, la plasticidad, la estructura del suelo y la densidad seca. Estas se consideran muy importantes debido a la función del agua en el proceso de hinchamiento de las arcillas expansivas.

Para Huevo, H., y Orellana, A., la “adición de cal disminuye la plasticidad del suelo, reduciendo de igual manera su cohesión, y la resistencia en los primeros días de curado, razón por la cual la resistencia a compresión a temprana edad en probetas elaboradas con suelo natural es superior que las de mezcla suelo - cal. Indica que el porcentaje óptimo de cal se determina bajo la norma ASTM D 6276 (American Society for Testing and Materials) y que en su caso particular el porcentaje de cal provoca un cambio considerable en la granulometría y de igual manera en su clasificación, pasando de un

suelo arcilloso (CL) a ser un suelo limoso (ML). Asimismo, concluye que el suelo estabilizado con cal presenta incrementos en los resultados de resistencia a la compresión en más del 100% a los valores obtenidos para el mismo suelo sin cal a los 90 días de curado, según la norma ASTM D 5102-04, donde indica el tiempo necesario en que los especímenes de suelo - cal alcanzan una resistencia a la compresión aceptable.

Según (Jahandari et al., 2021) hay varias alternativas para la estabilización del suelo; siendo así que, existen materiales sintéticos y naturales disponibles para el mejoramiento de sus características. Por ejemplo, materiales como la cal, cemento, arena, asfalto han sido evaluados en investigaciones que han considerado la mejora en las propiedades de la capa subrasante.

El uso de los aditivos cal y cemento puede mejorar las condiciones estructurales, debido a que la cal aporta mayor capacidad de soporte, contribuye a reducir la humedad natural y a reducir plasticidad, lo que permite reducir los costos generados por mantenimiento (Banzibaganye et al., 2018), mientras que con el

cemento se puede incrementar aún más la resistencia del suelo.

Además, en países como Ecuador se ha detectado una extensión importante de suelos arcillosos que se caracterizan por un alta plasticidad y baja resistencia (Sánchez, 2015), por lo que la estabilización con cal y cemento puede solventar esta problemática.

Los principales objetivos de la estabilización del suelo son aumentar la resistencia, proporcionar o reducir la permeabilidad y reducir los cambios volumétricos (asentamiento o expansión).

Para realizar el presente anteproyecto, se investigó los procesos de la estabilización de suelos con presencia de arcillas expansivas. Con el fin de obtener una estabilización de las arcillas mediante la utilización de los compuestos como es la cal y el cemento

2. Metodología

La presente investigación se caracterizó por un enfoque cuantitativo con un alcance descriptivo y correlacional. El

material arcilloso utilizado fue obtenido en la provincia de Manabí, en la avenida Miraflores. Para su extracción, se realizó una perforación de aproximadamente un metro cuadrado, removiendo primero 25 centímetros de capa vegetal, y luego profundizando hasta -50 cm para extraer el material a estudiar. Este material fue sometido a diversas pruebas de laboratorio, conforme a las normas establecidas para este tipo de análisis, entre las cuales se incluyen los Límites de Atterberg (AASHTO-T.89, 2021), el Proctor Modificado (AASHTO-T.180, 2021) y el Índice de Capacidad de Soporte de California (CBR) (AASHTO T.193, 2021).

Tabla 1. Clasificación del suelo según la SUCS Y AASHTO

Clasificación	
SUCS	ML
AASHTO	A-7-5

Utilizando Cal y Cemento como método estabilizador, se procedió a escoger el material para realizar los ensayos correspondientes a Proctor modificado, en el cual se escogieron 3000gr que fueron asignadas para el ensayo correspondiente, se realizaron 5 capas, de acuerdo a la norma AASHTO-T80, Se utilizó un cilindro cuya masa es de 6112.00 gr,

el cual tenía un volumen de 2132.70 cm³, la masa del martillo es de 10 lb, cuya altura de caída es de 45.72 cm, el número de golpes por capa fue 56 golpes respectivamente, se escogieron muestras para la humedad y para el análisis de las combinaciones estas se realizaron en un 2%,4%y6%, tanto de cal como de cemento por cada combinación.

Para obtener la cantidad optima de material para el ensayo correspondiente se restó el porcentaje de sustitución, con el suelo natural para obtener la cantidad deseada. El tiempo de inmersión de las muestras fue para los ensayos de CBR fue de 96 horas según lo indica la norma AASHTO T-193.

Ilustración 1. Proceso de ensayos



También se empleó un método experimental basado en la norma de la American Society for Testing and Materials (ASTM). Los instrumentos utilizados incluyeron el equipo de Casagrande, un ranurador, balanza, horno, vidrio, y pipeta graduada conforme a la norma ASTM D4318. Para el ensayo Proctor, se utilizaron moldes de 6 pulgadas de diámetro, con una masa de 6112 gramos, y el material se compactó en cinco capas. Adicionalmente, se utilizó la prensa Marshall de la Universidad Técnica de Manabí, como se muestra en la ilustración 1.

Para el análisis del estudio se requirió de revisiones bibliográficas de textos de suelos, y artículos del mismo.

3. Resultados y discusión

Una vez obtenida la muestra se procedió a realizar los ensayos de laboratorios, para obtener sus características físicas, tanto del suelo natural como de la combinación realizada por cada porcentaje. a continuación, se presentan sus características en la tabla 2.

Tabla 2. Características obtenidas del material sin y con empleo de Cal y cemento en porcentajes del cemento al 2%, 4% y 6% y de cal al 2%, 4% y 6%

Resultados	0%	2%	4%	6%
Límite Líquido LL (%)	54.95	48.88	44.28	40.96
Límite Plástico LP (%)	30.11	30.67	29.72	30.07
Índice de Plasticidad IP	24.80	18.21	14.56	10.89
Densidad máxima seca (Kg/cm ³)	1553	1600	1614	1623
CBR (%)	1.69	8.49	17.93	26.32
Humedad Óptima	23.37	18.56	17.94	16.79

Se puede observar en la tabla # 2 con respecto al límite líquido que a medida que aumenta el contenido de cal, y cemento, el límite líquido disminuye, lo que indica una mejora en la estabilidad del suelo frente a la humedad.

En cambio, con el límite plástico este presenta ligeras variaciones, pero en general, no muestra un cambio significativo con la adición de cal y cemento.

Con respecto al índice de Plasticidad (IP) disminuye considerablemente con el aumento del contenido de cal y cemento, lo que sugiere una reducción en la plasticidad del suelo,

haciéndolo más estable y menos susceptible a deformaciones.

En cuanto a la densidad Máxima Seca aumenta con el incremento de cal y cemento, lo que indica una mayor compactación del suelo.

Observando los resultados de CBR (California Bearing Ratio), que mide la resistencia del suelo, mejora drásticamente con la adición de cal y cemento, indicando una mayor capacidad de soporte.

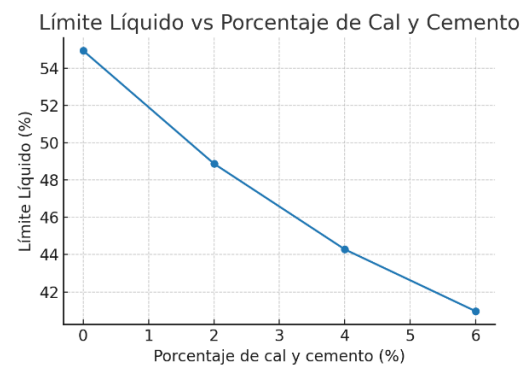
Con los resultados de la humedad optima esta disminuye al aumentar el contenido de cal y cemento, lo que significa que el suelo requiere menos agua para alcanzar su máxima densidad.

En conclusión, El uso de cal y cemento en la estabilización del suelo mejora significativamente sus propiedades, especialmente en términos de estabilidad, densidad y capacidad de carga, lo que sugiere que estas mezclas son efectivas para mejorar el comportamiento del suelo en aplicaciones de ingeniería civil.

A continuación, se presentan Características obtenidas del material sin y con empleo de Cal y

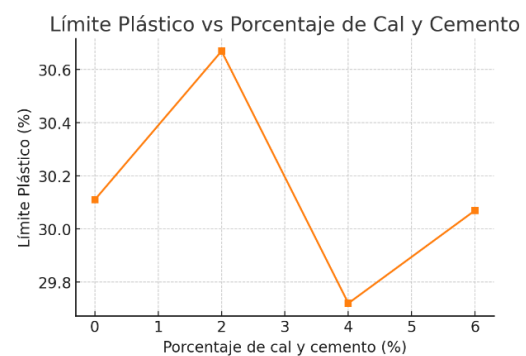
cemento de acuerdo a cada ensayo realizado.

Ilustración 2. Limite liquido vs Porcentaje de Cal (2%, 4% y 6%) y Cemento (2%, 4% y 6%)



A medida que aumenta el porcentaje de cal y cemento, el límite líquido disminuye, lo que indica una menor capacidad del suelo para retener agua. Esto mejora su estabilidad en condiciones húmedas.

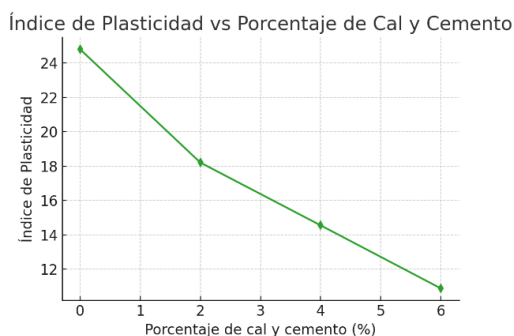
Ilustración 3. Limite Plástico Porcentaje de Cal (2%, 4% y 6%) y Cemento (2%, 4% y 6%)



El límite plástico no presenta una variación significativa con el aumento de cal y cemento, manteniéndose casi constante. Esto sugiere que la capacidad del suelo

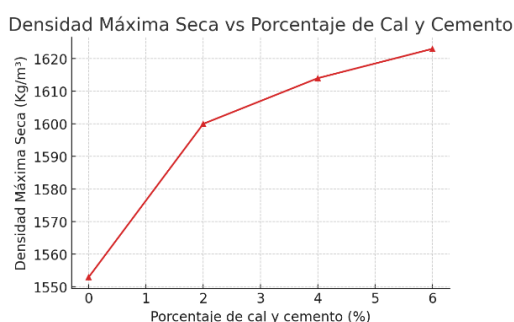
para deformarse sin fracturarse no se ve afectada significativamente.

Ilustración 4. Índice de Plasticidad vs Porcentaje de Cal (2%, 4% y 6%) y Cemento (2%, 4% y 6%)



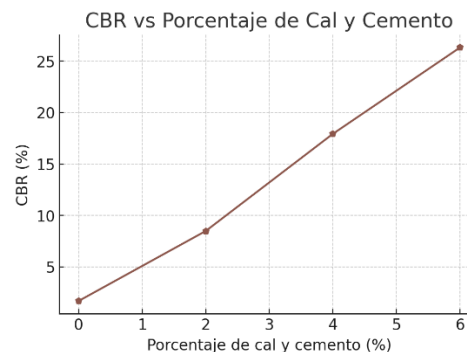
El índice de plasticidad disminuye considerablemente al aumentar el porcentaje de estabilizantes. Esto implica que el suelo se vuelve menos plástico, lo que lo hace más estable y menos susceptible a deformaciones bajo carga.

Ilustración 5. Densidad Máxima Seca vs Porcentaje de Cal (2%, 4% y 6%) y Cemento (2%, 4% y 6%)



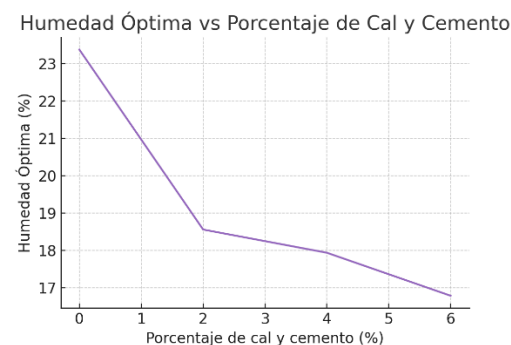
La densidad máxima seca aumenta con el incremento de cal y cemento, lo que indica una mejor compactación del suelo y una mayor resistencia al tráfico o cargas.

Ilustración 6. CBR Porcentaje de Cal (2%, 4% y 6%) y Cemento (2%, 4% y 6%)



El CBR muestra un aumento dramático, lo que refleja una mejora significativa en la capacidad de carga del suelo, haciéndolo más adecuado para soportar mayores cargas.

Ilustración 7. Humedad Óptima vs Porcentaje de Cal (2%, 4% y 6%) y Cemento (2%, 4% y 6%)



La humedad óptima disminuye al aumentar el contenido de cal y cemento, lo que significa que el suelo necesita menos agua para lograr la compactación máxima, favoreciendo su comportamiento en campo.

4. Conclusiones

De acuerdo a la ilustración # 8 se dan las siguientes conclusiones

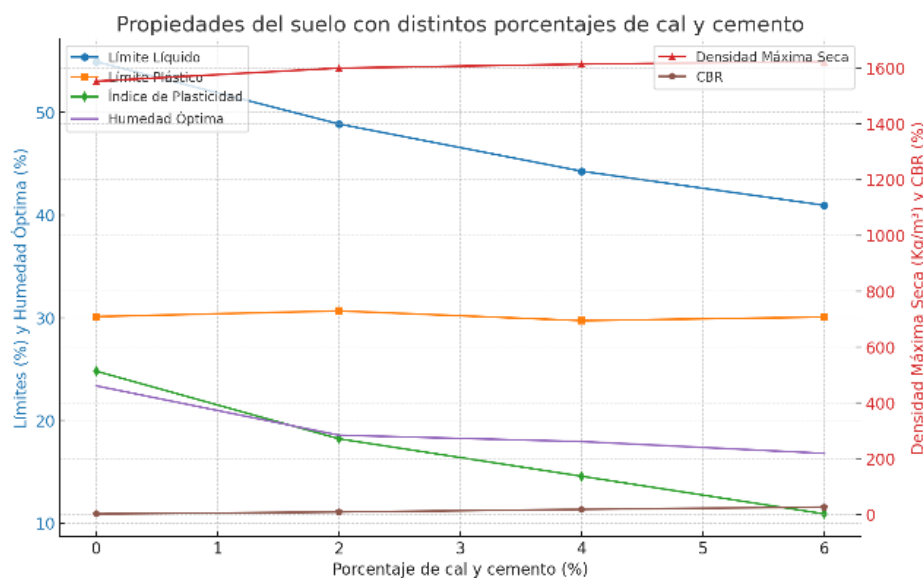
Mejora en la capacidad de carga: El CBR aumenta significativamente con el incremento en el contenido de cal y cemento, pasando de 1.69% sin tratamiento a 26.32% con 6% de aditivos, lo que indica una notable mejora en la capacidad de soporte del suelo.

Reducción de la plasticidad: El índice de plasticidad disminuye de 24.80 a

10.89, lo que sugiere que el suelo se vuelve menos plástico y más estable con la adición de cal y cemento, mejorando su comportamiento frente a deformaciones.

Optimización de la compactación: La densidad máxima seca aumenta con el contenido de cal y cemento, indicando que el suelo se vuelve más compacto, mientras que la humedad óptima disminuye, lo que implica que se requiere menos agua para alcanzar la máxima compactación.

Ilustración 8. Análisis de las propiedades del suelo con distintos Porcentaje de Cal (2%, 4% y 6%) y Cemento (2%, 4% y 6%)



Bibliografía

AASHTO-T 180. (2021). Standard Method of Test for Moisture- Density Relations of Soils Using a 4.54-kg (10-lb) Rammer and a 457-mm

(18 in.) Drop. Washington, DC, USA.

AASHTO-T.193. (2021). Standard Method of Test for The California Bearing Ratio. Washington, DC, USA.

- AASHTO-T.89. (2021). Standard Method of Test for Determining the Liquid Limit of Soils. Washington, DC, USA.
- AASHTO-T.89. (2021). Standard Method of Test for Determining the Liquid Limit of Soils. Washington, DC, USA.
- Ministerio de Transporte y Obras Públicas [MTOP]. (2013). VOLUMEN N°3 ESPECIFICACIONES GENERALES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE CAMINOS Y PUENTES. https://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/12/01-12-2013_Manual_NEVI-12_VOLUMEN_3.pdf
- Albán, M. A. (2014). Estabilización de suelos expansivos con cal y cemento en el sector Cacical del cantón Tosagua provincia de Manabí. Pontificia Universidad Católica del Ecuador, (1)1-416. <http://repositorio.puce.edu.ec>
- Asgari, M. R., Dezfuli, A. B., & Bayat, M. (2015). Experimental study on stabilization of a low plasticity clayey soil with cement/lime. Arabian Journal of Geosciences, 8(3), 1439-1452. <https://doi.org/10.1007/s12517-013-1173-1>
- Chicaiza, E. A., & Oña, F. J. (2018). Estabilización de arcillas expansivas de la provincia de Manabí con puzolana extraída de ceniza de cascarilla de arroz. Quito: EPN.
- Firoozi, A. A., Olgun, C. G., Firoozi, A. A., & Baghini, M. S. (2017). Fundamentals of soil stabilization. International Journal of Geo-Engineering, 8(1), 1-16. <https://doi.org/10.1186/s40703-017-0064-9>
- Malik, Prateek & Mishra, Sudipta. (2021). Geosynthetics Stabilizers and Fly Ash for Soil Subgrade Improvement – A State of the Art Review. International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering. 10. 97-104. 10.35940/ijitee.C8393.0110321