

Estabilización de suelo por métodos de mezcla aplicados a suelos areno–arcillosos ubicados en el Sector Cañada Honda, Municipio Maracaibo, Estado Zulia

Soil stabilization by mixing methods applied to sandy clay soils located in the Cañada Honda Sector, Maracaibo Municipality, Zulia State

Isabella V. Martínez-García

Universidad Rafael Urdaneta, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Civil. Maracaibo, Venezuela.

 <https://orcid.org/0009-0000-0550-7431> | Correo electrónico: isavalmg12@gmail.com

María A. García-Román

Universidad Rafael Urdaneta, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Civil. Maracaibo, Venezuela.

 <https://orcid.org/0000-0002-5799-3600> | Correo electrónico: maria.garcia.62540@uru.edu

Recibido: 05-10-2025 Admitido: 16-11-2025 Aprobado: 30-11-2025

DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.20208277>

Resumen

Esta investigación tuvo como objetivo comparar la efectividad de métodos de estabilización por mezcla en suelos areno-arcillosos (SC) del sector Cañada Honda, Maracaibo, estado Zulia, con el fin de mejorar su capacidad portante y comportamiento mecánico. La metodología comprendió la caracterización física y mecánica del suelo en estado natural, mediante ensayos de granulometría, límites de consistencia, gravedad específica, contenido de humedad, Proctor modificado y valor soporte California Bearing Ratio (CBR). Posteriormente, se aplicaron procesos de estabilización con grava al 15 % y óxido de calcio (cal seca) al 7,5 %, evaluando las muestras tratadas mediante compactación y ensayos CBR bajo condiciones normalizadas. Los resultados iniciales indicaron que el suelo natural presentó un valor de CBR de 8,2 %, inferior a los requerimientos mínimos para su uso como subrasante en proyectos viales, además de una plasticidad media asociada al contenido de finos arcillosos. Las mezclas estabilizadas evidenciaron mejoras significativas en la densidad seca máxima y reducciones en la humedad óptima, lo que se reflejó en un incremento sustancial de la capacidad portante. En particular, la estabilización con cal alcanzó un valor de CBR de 75 %, mientras que la mezcla con grava registró un CBR de 19,1 %, valores que superan ampliamente la condición inicial del suelo. Estos hallazgos demuestran que la aplicación de estabilización por mezcla mejora de manera efectiva las propiedades mecánicas de los suelos SC de la zona, posibilitando su aprovechamiento como material de subrasante en infraestructuras viales y reduciendo los riesgos de asentamientos diferenciales.

Palabras clave: Estabilización de suelos, Suelos areno-arcillosos, Relación de soporte California, Capacidad portante, Compactación de suelos.

Abstract

This research aimed to compare the effectiveness of mixing stabilization methods applied to sandy clay soils (SC) located in the Cañada Honda sector, Maracaibo, Zulia State, in order to improve their bearing capacity and mechanical behavior. The methodology included the physical and mechanical characterization of the natural soil, through grain size distribution, Atterberg limits, specific gravity, moisture content, Modified Proctor compaction, and California Bearing Ratio (CBR) tests. Subsequently, stabilization processes were carried out by incorporating 15% gravel and 7.5% quicklime (CaO), after which compaction and CBR tests were performed again on the treated samples under standardized conditions. Initial results showed that the natural soil exhibited a CBR value of 8.2%, below the minimum requirements for its use as subgrade in road projects, in addition to medium plasticity associated with its clay content. Stabilized mixtures demonstrated significant improvements in maximum dry density and reductions in optimum moisture content, reflected in a substantial increase in bearing capacity. In particular, lime stabilization reached a CBR value of 75%, while the gravel mixture achieved 19.1%, both considerably higher than the natural condition. These

findings confirm that mixing stabilization effectively enhances the mechanical properties of SC soils in the study area, enabling their use as subgrade material for road infrastructure and reducing the risk of differential settlements. In conclusion, lime proved to be the most efficient additive to increase the bearing capacity of Cañada Honda SC soil, while gravel also represents a viable option, although with lower effectiveness. Further research is recommended to evaluate combined or intermediate dosages to define optimal parameters that maximize technical and economic efficiency in future stabilization projects.

Key words: Soil stabilization, Sandy clay soils, California Bearing Ratio, Bearing capacity, Soil Compaction.

Introducción

El suelo areno-arcilloso está compuesto por una fracción predominante de arena y una proporción significativa de arcilla, lo que le otorga propiedades mecánicas mixtas y lo convierte en un material complejo desde el punto de vista geotécnico. Suele presentar plasticidad media a alta, baja a moderada permeabilidad y cierta cohesión, pero su comportamiento es altamente sensible a la humedad: la acumulación de agua reduce la fricción entre partículas, reblandece la fracción arcillosa y disminuye tanto la resistencia al corte como la capacidad portante. Esta última se mide comúnmente mediante el CBR (California Bearing Ratio), parámetro clave en el diseño de subrasantes y estructuras viales. El Manual de Carreteras del Perú [1], por ejemplo, establece un valor mínimo de 6 % para suelos usados como subrasante; sin embargo, los suelos areno-arcillosos pueden registrar valores tan bajos como 2,4 %.

En República Checa se han reportado CBR de hasta 3 % y plasticidades de 17,8 %, con consecuencias estructurales y económicas significativas [2]. En Chiclayo (Perú), se han registrado asentamientos de hasta 30 mm en vías construidas sobre estos suelos, con variaciones del 20 % en la capacidad de carga [3]. En Venezuela, en la ciudad de Maracaibo [4] se identificaron suelos areno-arcillosos con CBR entre 2,4 % y 2,9 %, acompañados de altos niveles de absorción y expansión, evidenciando su inestabilidad en condiciones húmedas.

Ante esta situación, distintas investigaciones han demostrado que mediante técnicas de estabilización se puede mejorar significativamente el comportamiento mecánico de estos suelos. La adición de estabilizantes permite elevar el CBR desde valores inferiores al 3 % hasta más del 30 % [5], además de reducir la plasticidad, el potencial de expansión y los asentamientos diferenciales [6]. Por ejemplo, al sur de Lima, Perú [7]; se evaluó la incorporación de conchas de abanico trituradas en suelos areno-arcillosos, logrando un incremento del CBR del 42 % con una dosificación óptima del 34 %. De forma similar, estabilizaron un suelo arcilloso con cal en El Salvador [8], aumentando el CBR de 1,93 % a 54 % y eliminando completamente la plasticidad, lo que permitió reducir el espesor de pavimento requerido sin comprometer su desempeño estructural.

La estabilización del suelo areno-arcilloso representa una solución técnica eficiente, económica y sostenible, que permite mejorar la capacidad portante, reducir costos de mantenimiento, reutilizar materiales locales y minimizar el impacto ambiental. Su aplicación resulta especialmente relevante en zonas donde las condiciones del terreno limitan el desarrollo constructivo.

En Maracaibo, donde la información geotécnica regional es limitada y los suelos tipo SC están ampliamente distribuidos, urge implementar soluciones que garanticen la estabilidad de las infraestructuras, particularmente en áreas con tránsito constante, instalaciones estratégicas o actividad industrial. En este contexto, el presente estudio tiene como objetivo comparar la efectividad de métodos de estabilización por mezcla aplicados a suelos areno-arcillosos del sector Cañada Honda, estado Zulia.

Materiales y Métodos

La presente investigación se desarrolló bajo un enfoque comparativo con diseño experimental, estructurado en cuatro fases principales (Figura 1). El estudio se llevó a cabo en el sector Cañada Honda, municipio Maracaibo, estado Zulia, caracterizado por suelos residuales de origen arcilloso-arenoso.

Las muestras de suelo se obtuvieron mediante excavación manual por calicata lateral a una profundidad de 0,5 m desde la superficie del corte natural. La zona de muestreo presentaba una capa endurecida de material

oxidado, conocido localmente como “piedra de ojo”, característica asociada a la presencia de óxidos de hierro. Se recolectaron aproximadamente 100 kg de suelo, para su posterior análisis en laboratorio.



Figura 1. Diagrama de fases metodológicas de la investigación.

A continuación, se detallan las fases de la investigación desarrolladas conforme a los objetivos planteados.

Fase 1: Caracterización de muestra natural de suelo.

Esta fase tuvo como finalidad determinar las propiedades físicas y mecánicas del suelo areno-arcilloso en su estado natural, recolectado en el sector Cañada Honda, municipio Maracaibo, estado Zulia. Esta caracterización permitió establecer una línea base para comparar el comportamiento del suelo antes y después de aplicar los métodos de estabilización.

Previo al desarrollo de los ensayos, se seleccionaron 15 kg de muestra, la cual fue extendida y secada al aire libre durante 12 horas con el propósito de reducir su humedad superficial. Posteriormente, el material fue tamizado utilizando malla No. 4, lo que permitió separar la fracción gruesa de la fina. Dado que más del 50 % del material pasó por este tamiz, se confirmó la predominancia de suelos finos. Finalmente, se homogeneizó el material y se procedió al cuarteo, con el fin de extraer las porciones necesarias para cada ensayo. Seguidamente, se mencionan los ensayos realizados para obtener los resultados y conclusiones necesarias.

a. Examen visual y táctil, según los criterios propuestos por Badillo y Rodríguez (2005) [9], para una primera clasificación del suelo en campo, basada en color, textura, plasticidad y reacción al contacto con el agua.

b. Análisis granulométrico (COVENIN 255:2006) [10], destinado a determinar la distribución de tamaños de partículas y clasificar el tipo de suelo según su proporción de arenas, limos y arcillas.

c. Ensayo de azul de metileno (SAEMA: IE-T-410) [11], que permite evaluar la presencia y actividad de minerales arcillosos expansivos, relevantes para estimar el comportamiento volumétrico del suelo frente a la humedad.

d. Determinación de la gravedad específica (ASTM C128-07) [12], (ASTM C127-07) [13], y (ASTM D854:2002) [14], con el objetivo de establecer la relación entre el peso del sólido y el volumen que ocupa, parámetro necesario para cálculos de densidad y esfuerzos.

e. Contenido de humedad natural (ASTM D2216-2010) [15], que mide el porcentaje de agua presente en la muestra al momento de su extracción, útil para conocer el estado inicial del suelo.

f. Límites de Atterberg (ASTM D4318-10) [16], que determinan los límites de plasticidad y de líquido, esenciales para establecer la consistencia del suelo y su potencial de deformación.

g. Ensayo de compactación Proctor modificado (ASTM D1557:2002) [17], que permite obtener la humedad óptima y la densidad seca máxima, fundamentales para definir las condiciones adecuadas de compactación en obra.

h. Ensayo de penetración CBR (ASTM D1883:2007) [18], que evalúa la capacidad portante del suelo como subrasante, a través de su resistencia a la penetración, siendo un criterio clave en el diseño de pavimentos.

Fase 2: Ensayo de compactación a muestras tratadas

Mezcla suelo natural + 15 % grava (3/8")

Se prepararon mezclas con 2550 g de suelo natural y 450 g de grava (15 %), para un total de 3 kg por punto, cantidad necesaria para llenar adecuadamente el molde en 5 capas. Se ensayaron cinco contenidos de humedad: 5 %, 6 %, 7 %, 8 % y 9 %. Las mezclas fueron compactadas con un martillo de 10 lb en capas, y se determinó la densidad seca y el contenido de humedad real tras secado en horno. El objetivo fue obtener la curva de compactación para esta mezcla estabilizada.

Mezcla suelo natural + 7,5 % cal seca

Basado en la literatura para suelos de plasticidad moderada, se seleccionó un 7,5 % de cal respecto al peso seco del suelo. Para cada punto se mezclaron 2312,5 g de suelo y 187,5 g de cal (total 2,5 kg), en cinco niveles de humedad: 6 %, 8 %, 10 %, 12 % y 14 %. La mezcla se homogeneizó manualmente hasta adquirir una coloración grisácea. Se compactó con el mismo procedimiento anterior, se registró el peso del molde y se tomó una muestra para horno. Luego, se calcularon las humedades reales y las densidades secas de cada punto, para obtener la correspondiente curva de compactación.

Fase 3: Ensayo CBR a muestras tratadas

Con el objetivo de analizar el efecto de estabilizantes en la capacidad portante del suelo natural, se prepararon dos grupos de muestras tratadas: una mezcla con 15 % de grava (3/8") y otra con 7,5 % de cal seca, calculados con base en el peso seco del suelo. Para cada grupo se elaboraron tres moldes, compactados con tres niveles de energía: alta (56 golpes/capa), media (25 golpes/capa) y baja (12 golpes/capa). En todos los casos, se aplicaron cinco capas de igual espesor, utilizando la humedad óptima específica determinada previamente mediante el ensayo Proctor modificado.

El mezclado fue manual, buscando una distribución homogénea del estabilizante. En las muestras con grava, el agregado se incorporó progresivamente al suelo húmedo, asegurando una mezcla sin segregación. En las muestras con cal, esta se añadió en forma seca al suelo previamente humedecido, permitiendo una activación parcial antes de la compactación para favorecer la reacción puzolánica inicial.

Una vez compactadas las mezclas, se registró el peso total del conjunto (molde + muestra + agua). Luego se instaló el sistema de sobrecarga (plato, vástago graduable y pesas) sobre la superficie de cada muestra y se colocó el trípode con el reloj comparador para registrar la lectura inicial.

Las seis muestras tratadas fueron sumergidas completamente en un tanque de agua durante un período de 96 horas, con lecturas diarias del comparador para monitorear cambios volumétricos por expansión o retracción. Tras finalizar el periodo de inmersión, se retiraron las cargas, se inclinó cada molde para permitir el drenaje, y se registró el peso final de cada muestra.

Luego, cada molde fue evaluado en la máquina CBR (prensa multiensayo). Se reinstaló la carga de sobrecarga correspondiente y se posicionó el pistón metálico para iniciar la prueba. Se registraron las lecturas de carga (en lb) correspondientes a las siguientes profundidades de penetración: 0,025", 0,050", 0,075", 0,1", 0,2", 0,3", 0,4" y 0,5", siguiendo el protocolo estándar.

Con los datos obtenidos, se calcularon los esfuerzos de penetración para cada caso y se trazaron las curvas esfuerzo-penetración. Además, se elaboraron gráficas de densidad seca vs CBR (%), permitiendo evaluar comparativamente el comportamiento mecánico de las mezclas tratadas en relación con el suelo natural.

Fase 4: Comparación de resultados obtenidos

Finalizados los ensayos para evaluar la capacidad portante de cada muestra analizada, se procedió al procesamiento de los datos obtenidos mediante planillas de cálculo y gráficas correspondientes a cada prueba.

Se realizó un análisis comparativo de los efectos generados por la adición de cal y grava, por separado, sobre el comportamiento del suelo areno-arcilloso estudiado en esta investigación. Posteriormente, se establecieron las conclusiones con base en la clasificación de capacidad de soporte propuesta por Crespo Villalaz (2004) en su libro *Mecánica de Suelos y Cimentaciones* [19].

Esta comparación de resultados fue hecha mediante una gráfica realizada en el lenguaje de programación *Python*, donde se observa los rangos de clasificación mediante zonas de distintos colores para una sencilla y práctica interpretación.

Resultados

Caracterización de muestra de suelo natural

Los ensayos realizados determinaron el tipo de suelo en base a los análisis a sus propiedades físicas y mecánicas, obteniendo el valor de capacidad soporte para posteriormente hacer las comparaciones correspondientes al objetivo de la investigación. A continuación, se presentan los resultados obtenidos en los ensayos realizados a las muestras de suelo (Figura 2).

RESULTADOS		
IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA	PROPIEDAD EVALUADA	RESULTADO
Procedencia: Sector Cañada Honda	Granulometría	Pasante T#200= 22,2%
	Límites de Consistencia	L.L= 31%
		L.P= 14%
		I.P= 17%
	Azul de Metileno	Illitas
	Humedad natural de los Suelos	1.40%
	Gravedad Específica	2.707%
	Clasificación	S.U.C.S: (SC) Arena arcillosa
		H.R.B: A-2-6 (1)
Proctor Modificado	DMS =1990 kg/m ³	
	H. Ópt = 7,7%	
CBR (0,20") %	8,2	

Figura 2. Tabla resumen de resultados de caracterización de suelo natural.

La muestra natural de suelo extraída del sector Cañada Honda presentó un porcentaje de finos (pasante por el tamiz #200) del 22,2 %, lo que evidencia una proporción considerable de partículas menores a 0,075 mm. Según los ensayos de límites de consistencia, el suelo posee un límite líquido (LL) de 31 % y un límite plástico (LP) de 14 %, arrojando un índice de plasticidad (IP) de 17 %, clasificado como plasticidad media. El resultado del ensayo de azul de metileno indica la presencia de arcilla tipo illita, una fracción mineral que puede afectar la estabilidad del suelo en condiciones de humedad.

La humedad natural del suelo fue de 1,4 %, un valor bajo, posiblemente relacionado con condiciones climáticas locales al momento de la toma de muestra. La gravedad específica obtenida fue de 2,707, dentro del rango típico para suelos inorgánicos. De acuerdo con el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) [20], el material se clasifica como arena arcillosa (SC), mientras que según el sistema AASHTO [21] se ubica en el grupo A-2-6 (1), correspondiente a suelos de calidad regular como subrasante.

En el ensayo Proctor modificado, se obtuvo una densidad máxima seca (DMS) de 1990 kg/m³ con una humedad óptima (H. Ópt) de 7,7 %. Finalmente, el valor de soporte CBR (penetración de 0,20") fue de 8,2 %, indicando una capacidad portante limitada que, si bien supera el mínimo exigido en algunas normativas como el MTC de Perú (6 %) [1], no es adecuada para estructuras viales exigentes sin tratamiento previo.

Ensayo de compactación de muestras tratadas

Se trabajó con contenidos de humedad reales entre 4,9 % y 13,2 %, con el fin de identificar el punto de humedad óptima y la densidad seca máxima (DMS) correspondiente para cada mezcla. Los resultados obtenidos mostraron una respuesta diferenciada en cada caso, según las propiedades físicas de los materiales incorporados.

La mezcla de suelo natural con grava (15 %) presentó la mayor densidad seca, con un valor de 2057 kg/m³, y una humedad óptima de 7,6 %. Esta mejora en la compactación se debe a la corrección en la gradación del suelo: la incorporación de partículas gruesas facilitó un mejor acomodo entre las fracciones del suelo, reduciendo los vacíos internos y permitiendo una mayor concentración de masa por unidad de volumen. Además, al disminuir el índice de plasticidad, la mezcla se volvió más estable ante la acción del agua durante la compactación, lo que optimizó la eficiencia del proceso (Figura 3).

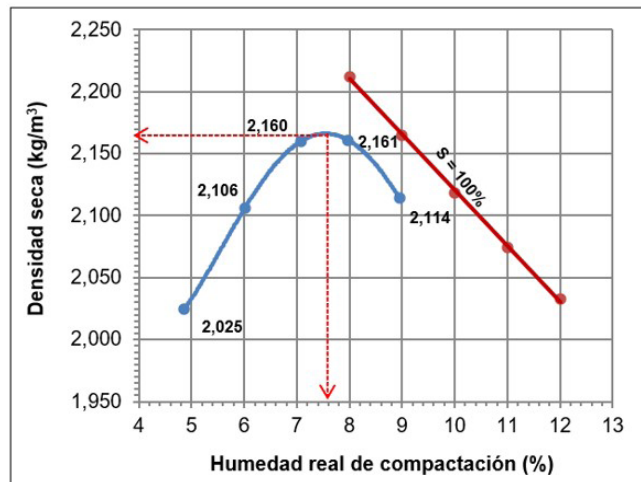


Figura 3. Curva de compactación del suelo con 15% de grava.

En cuanto a la mezcla de suelo natural con cal seca (7,5 %), esta mostró una densidad seca máxima menor, de 1971 kg/m³, con una humedad óptima de 8,8 %, es decir, 1,2 % más alta que la registrada en la mezcla con grava. El incremento en la humedad requerida se explica por la naturaleza microporosa de la cal, la cual absorbe parte del contenido de agua durante las reacciones de hidratación. Esta característica, junto con su menor densidad relativa, influye directamente en la disminución de la densidad alcanzada durante la compactación (Figura 4).

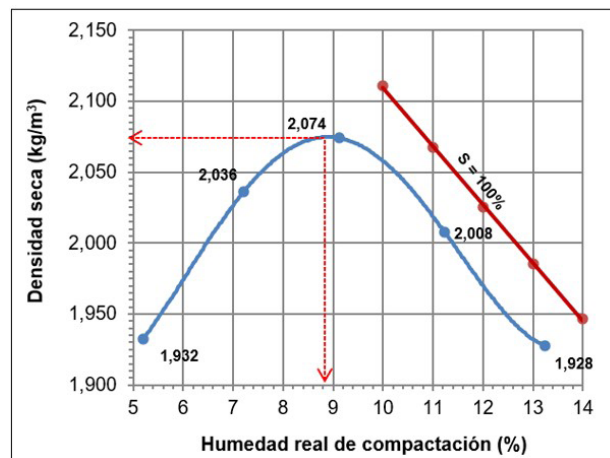


Figura 4. Curva de compactación del suelo con 7,5% óxido de calcio.

Ensayo CBR a muestras tratadas

La mezcla con 15 % de grava presentó un valor de CBR de 19,1 %, más del doble respecto al suelo natural. Esta mejora se atribuye a una mejor distribución granulométrica y a una reducción del contenido de finos cohesivos, lo cual incrementó la fricción interna y la resistencia al corte del material. La presencia de partículas gruesas también contribuyó a mejorar el entrelazado de los componentes del suelo, favoreciendo una estructura más densa y estable bajo cargas externas. Este valor sitúa a la mezcla dentro de los rangos aceptables (Figura 5) para subrasantes de tráfico medio, incluso sin recurrir a técnicas de refuerzo adicionales.

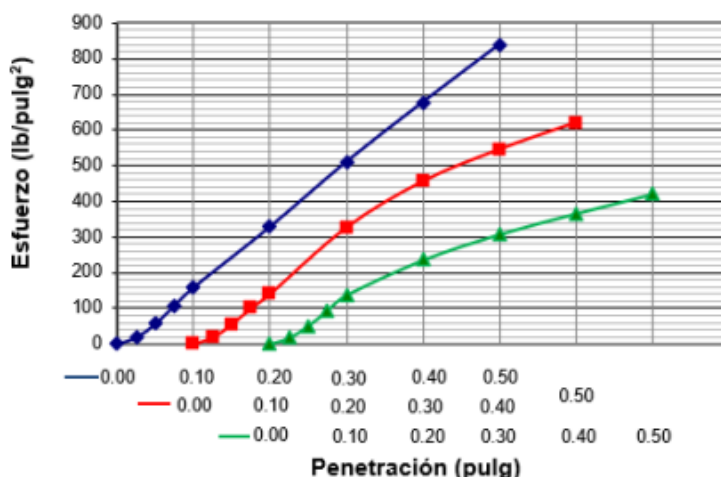


Figura 5. Curva esfuerzo-penetración del suelo natural más grava.

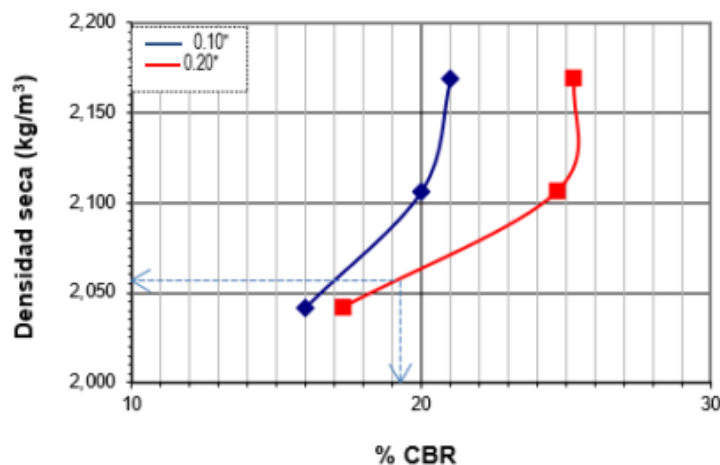


Figura 6. Curva de valor soporte de suelo natural más grava.

Por otro lado, la mezcla tratada con 7,5 % de cal seca alcanzó un CBR de 75,0 %, lo cual representa un aumento excepcional de casi nueve veces respecto al suelo sin tratar. Este resultado refleja el efecto combinado de los procesos físico-químicos inducidos por la cal. En primer lugar, ocurre una reducción de plasticidad y mejora en la cohesión a través de la floculación y aglomeración de partículas arcillosas. En segundo lugar, y más importante, se desarrollan reacciones pozolánicas entre los óxidos de calcio y los minerales arcillosos presentes en el suelo, formando compuestos cementantes que rigidizan la matriz del suelo. Esto genera un material estabilizado con propiedades mecánicas mucho más elevadas, adecuado incluso para capas estructurales más exigentes como bases o sub-bases (Figuras 7y 8).

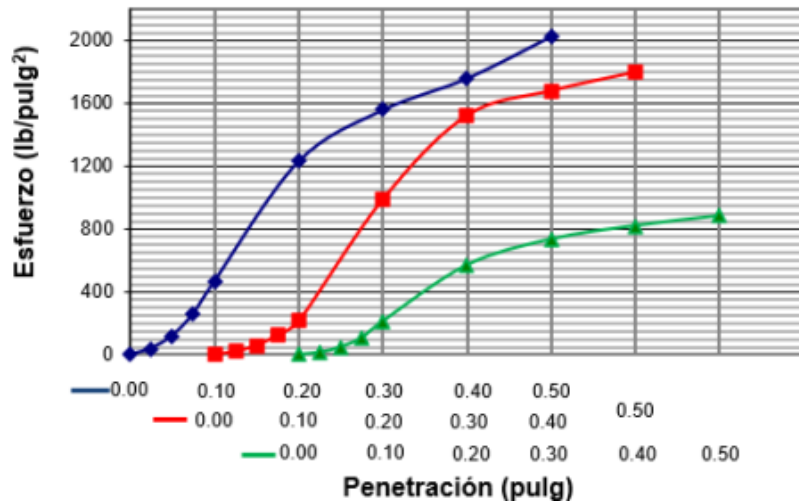


Figura 7. Curva esfuerzo-penetración de suelo natural más óxido de calcio.

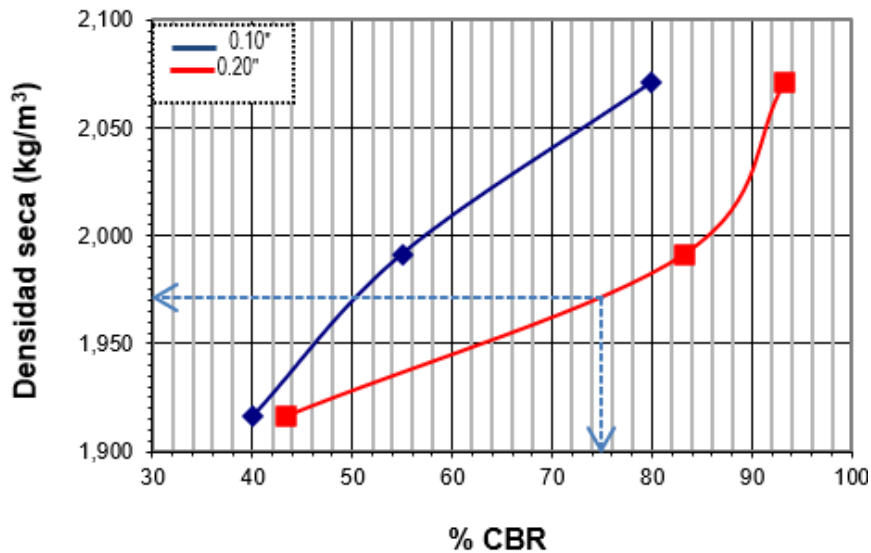


Figura 8. Curva de valor soporte de suelo natural más óxido de calcio.

En conjunto, los resultados del CBR evidencian que la estabilización del suelo arenoso-arcilloso mediante el uso de aditivos puede transformar un material inadecuado en una base funcional, con mejoras sustanciales en su comportamiento mecánico y su capacidad portante. Si bien la grava mejora la compactación y resistencia de forma inmediata, la cal seca introduce transformaciones químicas que logran un reforzamiento más profundo y duradero del suelo tratado.

Comparación de resultados obtenidos

Seguidamente, se presenta un contraste de los resultados obtenidos de la capacidad soporte de los suelos tratados, con base en el valor CBR obtenido del suelo natural (Figura 9).

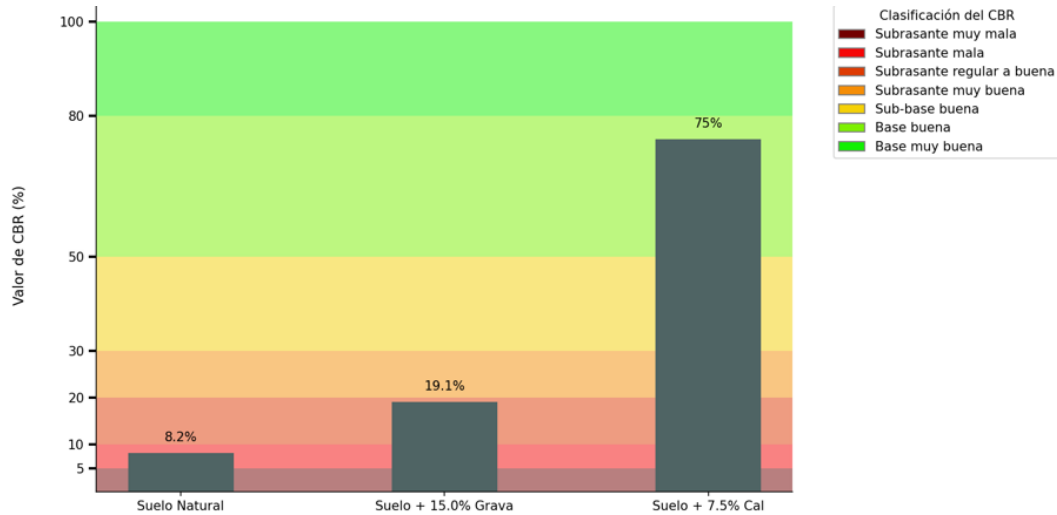


Figura 9. Comparativa de la capacidad de soporte del suelo

La gráfica ilustra de forma clara la evolución del valor de CBR (California Bearing Ratio) en las diferentes mezclas estudiadas, tomando como punto de referencia el suelo natural, cuya capacidad portante representa el nivel base de comparación.

El valor de CBR de 8,2% perteneciente al suelo natural indica una subrasante deficiente, clasificada como “subrasante mala” de acuerdo con la clasificación propuesta por Crespo en 2004 [19], con una capacidad portante insuficiente para soportar cargas estructurales sin deformaciones significativas. En términos prácticos, un CBR de este orden obliga a considerar técnicas de estabilización o sustitución, dado que está por debajo del mínimo exigido por normativas como la del MTC Perú ($\geq 6\%$) [1] y no cumple con los requerimientos de estabilidad para obras de infraestructura vial.

La adición de grava generó un CBR de 19,1%, es decir, un incremento del 133 % respecto al valor inicial. Este aumento es consecuencia de una mejora granulométrica: la grava rellena espacios vacíos, reduce la compresibilidad del suelo y aumenta la fricción interna. Si bien el CBR resultante aún no alcanza las categorías de sub-base o base, se sitúa dentro de una subrasante regular a buena, permitiendo su uso en estructuras viales de bajo tránsito o como capa de transición. Es una mejora significativa desde el punto de vista físico, aunque limitada frente a soluciones químicas.

El tratamiento con cal seca obtuvo un valor de capacidad portante de 75%, lo que significa un incremento del 814 % en comparación con el suelo natural. Esta mejora masiva evidencia la eficacia del proceso de estabilización química, donde la cal reacciona con los minerales arcillosos formando compuestos cementantes que aumentan la cohesión y rigidez del suelo. Además, el tratamiento elimina la plasticidad, mejora la compactación y confiere una estructura más estable frente a la humedad. Este valor posiciona al suelo tratado como una base muy buena, adecuada para soportar altas cargas, incluso en zonas de tránsito pesado.

Conclusiones

La muestra de suelo natural caracterizada como un suelo areno-arcilloso de mediana plasticidad, presentó una baja capacidad portante. Este suelo no es apto para realizar cualquier tipo de estructura sobre él, por las características que el mismo posee.

Al obtener un suelo estabilizado gracias a los aditivos agregados, con una capacidad portante de 19,1% y 75% respectivamente, ya este suelo deficiente ahora puede ser utilizado para estructuras de mayor índole; como una base para estructura de pavimento.

A pesar de la presencia de contenido arcilloso en el suelo estudiado, no hubo presencia de expansión en el mismo al momento de realizar el ensayo. Se atribuye a su alto contenido arenoso.

La adición de cal al suelo areno arcilloso eliminó la plasticidad del suelo en su totalidad.

El método de estabilización utilizando óxido de calcio, fue el más efectivo y favorable para el suelo. Aumentando su capacidad portante en un 814,63%.

Referencias bibliográficas

[1] Instituto de la Construcción y Gerencia (ICG). (2013). Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos. Recuperado de: https://cdn-web.construccion.org/normas/files/tecnicas/Manual_Suelos_Pavimentos.pdf

[2] Pavel Reiterman, P., Mondschein, P., Douřsova, B., Davidova, V., Keppert, M. (2022). Utilization of concrete slurry waste for soil stabilization. *Case Studies in Construction Materials*, Vol. 16, p. e00900. Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214509522000328#ab0015>

[3] S. P. Muñoz-Pérez, J. G. Aguilar-Morante & I. P. Diaz-Flores. (2023) Subgrade soil stabilization using marine debris: A literature review. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, no. 109, Pag 25-34. Recuperado de: <https://revistas.udea.edu.co/index.php/ingenieria/article/view/347333/20809614>

[4] Asslan, G. & Marín, M. J. (2014) Análisis de la relación humedad densidad y valor soporte de los suelos de la zona I del municipio Maracaibo. Trabajo Especial de Grado. Universidad Rafael Urdaneta, Venezuela. Recuperado de: <https://uru.insiemmp.com/educa/biblio/2301-14-07282.pdf>

[5] Sukawati, N. K. S. A., Juniastra, I. M., Wibawa, I. M. S., Sunatha, I. G. N., & Nada, I. M. (2024). Stabilization of Krobokan Clay Soil with California Bearing Ratio (CBR) for Highway Pavement. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 10(7), 4301–4312. <https://doi.org/10.29303/jppipa.v10i7.7983>

[6] Firoozi, A. A., Guney Olgun, C., Firoozi, A. A., Mojtaba Shojaei Baghini, M. S. (2017) Fundamentals of soil stabilization. *Geo-Engineering* 8, 26. <https://doi.org/10.1186/s40703-017-0064-9>

[7] Garcia, G. A., & Rabines, A. (2023). Mejoramiento de la sub rasante de suelos areno arcillosos utilizando 22%, 34% y 48% de conchas de abanico en la zona sur de Lima. Tesis de licenciatura. Universidad Privada del Norte, Perú. Recuperado de: <https://hdl.handle.net/11537/35642>

[8] Hernández, J. Mejía, D. Zelaya, C (2016). Propuesta de estabilización de suelos arcillosos para su aplicación en pavimentos rígidos en la Facultad Multidisciplinaria Oriental de la Universidad de El Salvador. Universidad de El Salvador. El Salvador. Recuperado de: <https://hdl.handle.net/20.500.14492/23359>

[9] Badillo, J., & Rodríguez, R. (2005). *Mecánica de suelos: fundamentos de la mecánica de suelos*, tomo I. (Pág 127-161). Limusa.

[10] COVENIN. (2006). *COVENIN 255: Ensayo de granulometría de suelos por tamizado y sedimentación*. Instituto Venezolano de Normas Técnicas.

[11] SAEMA. Determinación de partículas finas, mediante el uso de azul de metileno. (2007). Maracaibo, Venezuela. Norma numero: IE-T-410.

[12] ASTM. (2007). *ASTM C127-07: Standard test method for relative density (specific gravity) and absorption of coarse aggregate*. ASTM International.

[13] ASTM. (2007). *ASTM C128-07: Standard test method for relative density (specific gravity) and absorption of fine aggregate*. ASTM International.

[14] ASTM. (2002). *ASTM D854-02: Standard test methods for specific gravity of soil solids by water pycnometer*. ASTM International.

[15] ASTM. (2010). *ASTM D2216-10: Standard test methods for laboratory determination of water (moisture) content of soil and rock by mass*. ASTM International.

[16] ASTM. (2010). *ASTM D4318-10: Standard test methods for liquid limit, plastic limit, and plasticity index of soils*. ASTM International.

[17] ASTM. (2002). *ASTM D1557-02: Standard test methods for laboratory compaction characteristics of soil using modified effort (56,000 ft-lbf/ft³)*. ASTM International.

[18] ASTM. (2007). *ASTM D1883-07: Standard test method for California bearing ratio (CBR) of laboratory-compacted soils*. ASTM International.

[19] Crespo Villalaz, C. (2004). *Mecánica de suelos y cimentaciones*, 5a ed. Limusa.

[20] ASTM. (2017). *Standard practice for classification of soils for engineering purposes (Unified Soil Classification System) (ASTM D2487-17)*. ASTM International.

[21] American Association of State Highway and Transportation Officials. (2017). *Standard specification for classification of soils and soil-aggregate mixtures for highway construction purposes (AASHTO M 145-17)*. AASHTO.