

DOI: <https://doi.org/10.46296/ig.v7i13.0153>

ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE LOS SUELOS LIMO ARENOSOS, ESTABILIZADO CON CAL Y CEMENTO

ANALYSIS OF THE MECHANICAL BEHAVIOR OF SANDY SILT SOILS, STABILIZED WITH LIME AND CEMENT

Castro-Solís Arnaldo Andreé ¹; Ortiz-Hernández Eduardo ²;
Macías-Sánchez Lucia ³

¹ Maestría en Ingeniería Civil, Mención Vialidad, Instituto de Posgrado, Universidad Técnica de Manabí. Portoviejo, Ecuador. Correo: acastro8956@utm.edu.ec.

ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0008-0920-0400>

² Departamento de Construcciones Civiles y Arquitectura, Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas, Universidad Técnica de Manabí. Portoviejo, Ecuador.

Correo: eduardo.ortiz@utm.edu.ec. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-1885-6005>

³ Departamento de Construcciones Civiles y Arquitectura, Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas, Universidad Técnica de Manabí. Portoviejo, Ecuador.

Correo: lucia.macias@utm.edu.ec. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-9921-4943>

Resumen

En esta investigación de estabilización de los suelos limos arenosos con cal y cemento se determinó el comportamiento mecánico de estos que incluyeron la realización de ensayos de laboratorio como son: granulometría, ensayos de Límites de Atterberg, ensayo de Proctor, ensayo de capacidad portante (CBR), y ensayos de Permeabilidad. Con el fin de analizar cómo cambian las propiedades del material, además se compararon las propiedades del suelo limo - arenosos en estado natural y posteriormente adicionando la cal y el cemento en porcentajes de 3%, 6% y 9%. Se realizaron otros tipos de estudios dinámicos para explorar las propiedades del suelo, se adicionó el ensayo de permeabilidad de carga constante, utilizando los agentes incorporados de cal y cemento teniendo como resultado una baja permeabilidad con cal para el 3% con 2.65E-05 cm/s, con el 6% 5.12E-06 cm/s, posteriormente se realizó el ensayo de permeabilidad con el empleo de cemento teniendo como resultado con el 3% un 2.44E-06 cm/s, con el 6% con 2.58E-06 cm/s y con el 9% un 2.55E-07 cm/s.

Palabras clave: Suelo limo arenoso, cal, cemento, comportamiento mecánico del suelo.

Abstract

In this research on the stabilization of sandy loam soils with lime and cement, the mechanical behavior of these soils was determined, which included laboratory tests such as particle size analysis, Atterberg Limits tests, Proctor compaction test, California Bearing Ratio (CBR) test, and Permeability tests. In order to analyze how the properties of the material change, the properties of the sandy loam soil in its natural state were compared with those after adding lime and cement at percentages of 3%, 6%, and 9%. Other dynamic studies were conducted to explore soil properties, including the constant head permeability test. Lime was added as an admixture, resulting in low permeability with 3% lime at 2.65E-05 cm/s, and with 6% lime at 5.12E-06 cm/s. Subsequently, the permeability test was conducted using cement as an admixture, resulting in 3% cement at 2.44E-06 cm/s, 6% cement at 2.58E-06 cm/s, and 9% cement at 2.55E-07 cm/s.

Keywords: Sandy silt soil, lime, cement, mechanical behavior of the soil.

Información del manuscrito:

Fecha de recepción: 18 de octubre de 2023.

Fecha de aceptación: 19 de diciembre de 2023.

Fecha de publicación: 10 de enero de 2024.



1. Introducción

El suelo es considerado como uno de los medios de soporte para las construcciones de obras civiles más importantes, lo que lo convierte en uno de los factores más significativos para el correcto progreso de diversas funcionalidades. (González et al., 2015).

A través de la historia el uso de la tierra también varía sustancialmente, la mayoría de los países experimentan una fase significativa de degradación del suelo, además de ser un recurso natural no renovable que constituyen la piel del planeta y explican la historia geológica reciente de la Tierra. Por ende, los suelos sostienen la agricultura, la biomasa forestal y son responsables de la depuración de las aguas subterráneas el cual posee un alto valor ecológico (FAO, 2015).

En este sentido, el suelo debe ser reconocido como un medio vivo y dinámico que actúa a través de un equilibrio único, junto a sus elementos biológicos, químicos y físicos.

Desde esta perspectiva, al ser la base más importante de toda obra civil este puede ser utilizado de

diversas formas, se lo puede utilizar como material de construcción para la elaboración de terraplenes, muros, casas, obras viales, entre otras.

Por tal motivo, este material debe cumplir con ciertas propiedades físicas y mecánicas que permitan su estabilidad y resistencia para que pueda satisfacer las diferentes sollicitaciones a las cuales el material estará expuesto.

Según la (FAO, 2023), la textura del suelo se puede distinguir en tres tipos: arena, arcilla y limo. La arena es la que predomina en los diversos cauces de los ríos. Los suelos limosos tienen gránulos de tamaño intermedio son fértiles y fáciles de trabajar y forman terrones fáciles de desagregar cuando están secos.

Para poder utilizar estos suelos es necesario alterar sus propiedades para evitar que las construcciones asentadas sobre este tipo de material experimenten deformaciones que son producidas por el cambio de volumen del suelo; entre los efectos causados por la expansión del suelo se encuentran grietas sobre obras civiles entre estas viviendas, muro y el levantamiento de estructuras.

La gran variedad de suelos y su composición, hace que su comportamiento sea aplicable a un cierto número de ellos; por lo tanto, es necesaria la realización de un análisis para determinar cuáles son las características del material que se requiere estabilizar, para de esta manera poder buscar el método de tratamiento más adecuado.

De acuerdo a una investigación realizada en Colombia por (Aiassa & Arría, 2007), se realizó un diseños de mezclas de suelo compactado para la construcción de terraplenes, en donde se evaluó la estabilización de suelos limo-arenoso para ser utilizada como material de subbase. A partir de los resultados se permitió caracterizar los materiales empleados y concluir sobre su desempeño óptimo, al ser utilizados para la construcción de capas de suelo compactado destinadas a sub-bases de pavimentos.

En este sentido, para ser eficiente el material que se desea estabilizar, se hace necesario realizar estudios de evaluación de granulometría, proctor, CBR y permeabilidad con el fin de analizar cómo cambian las propiedades del material. De esta manera esta investigación tiene

como objetivo principal analizar el comportamiento de las propiedades Mecánicas de un suelo limo - arenoso utilizando los agentes incorporados con Cal y Cemento.

2. Materiales y métodos

La metodología de investigación el cual se realizó se dividió en las siguientes etapas:

- Obtención de la muestra del sector llamado Vía 3 Puntas - Barraganete, abscisa 40+300 y preparación de las muestras de suelo.
- Elaboración de ensayos en el laboratorio para la determinación de las propiedades físicas y mecánicas del suelo como Granulometría, proctor, CBR y permeabilidad.
- Elaboración y análisis de los resultados mediante gráficas con su respectiva interpretación.

3. Resultados y discusión

En la figura N° 1 se ilustra la granulometría, es decir el tamaño de las partículas, en función del porcentaje que pasó por una serie de tamices donde se obtiene el tamaño

de las partículas, en este caso se realizaron ensayos con el material en estado natural y con porcentajes de 3%, 6% y 9%. De igual manera, también se realizó para la cal y cemento las granulometrías respectivas determinando su contenido de finos.

Análisis del material en estado natural, con cal y cemento

Figura 1. La grafica muestra el análisis granulométrico en estado natural del suelo



Para llevar a cabo esta investigación se partió seleccionando el lugar de estudio cumpliendo todas las normativas desde la exploración de muestras del terreno hasta los ensayos de laboratorios, el mismo que se extrajeron muestras de suelo realizando diferente sondeo. Para la determinación del coeficiente de permeabilidad existen diferentes métodos; por medio de ensayos de laboratorio, otros como los realizados de manera in situ y los métodos empíricos, donde el valor (k) es obtenido indirectamente a través de relaciones empíricas con

otras propiedades de los suelos. Para la ejecución del trabajo se tomó como referencia los ensayos de Lefranc.

En la Figura N° 3,4,5 se ilustran las curvas del ensayo de proctor con la estabilización de suelo con cal, el cual indica su valor de densidad máxima que puede alcanzar el material con su humedad óptima, es decir la humedad indica que tanto necesita de agua para llegar a su resistencia máxima.

Figura 2. Muestra de la densidad máxima que puede alcanzar el suelo en estado natural.

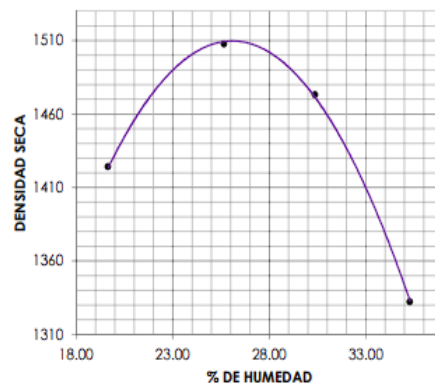


Figura 3. Muestra de la densidad máxima que puede alcanzar el suelo con el 3% Cal

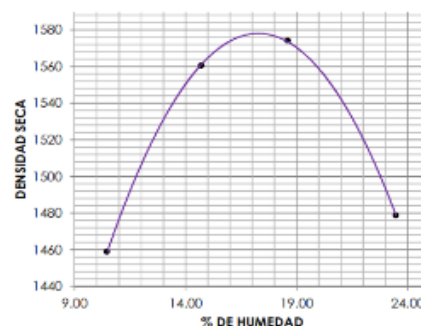


Figura 4. Muestra de la densidad máxima que puede alcanzar el suelo con el 6% Cal

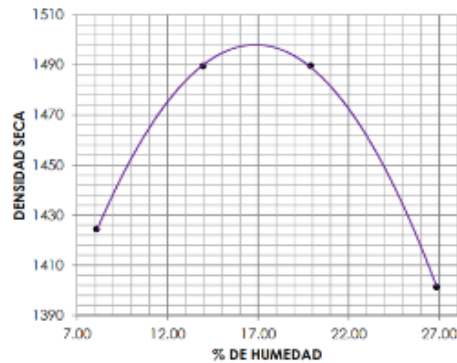


Figura 7. Muestra de la densidad máxima que puede alcanzar el suelo con el 6% Cemento

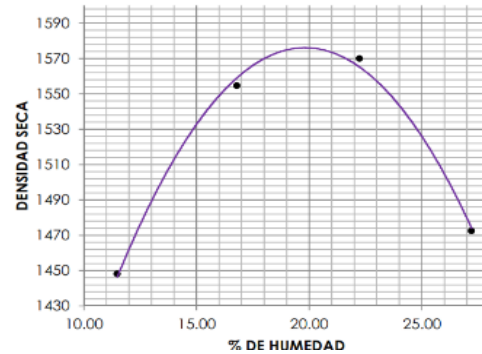


Figura 5. Muestra de la densidad máxima que puede alcanzar el suelo con el 9% Cal

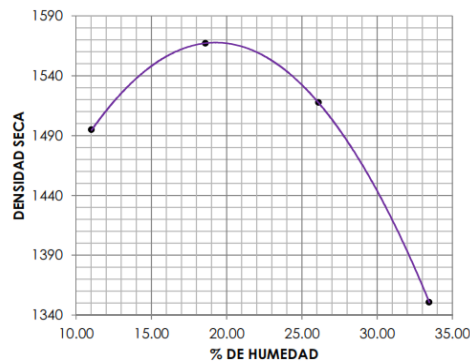
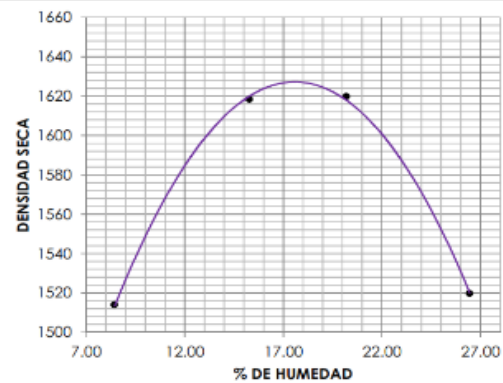
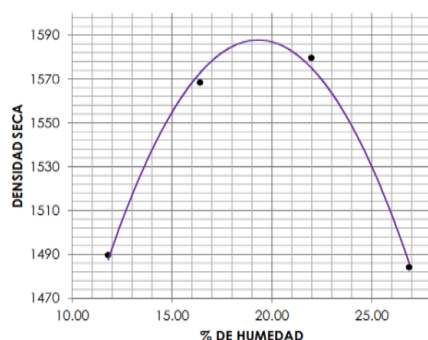


Figura 8. Muestra de la densidad máxima que puede alcanzar el suelo con el 9% Cemento



En la Figura N° 6,7,8 se ilustran las curvas del ensayo de proctor con la estabilización de suelo con cemento, el cual indica su valor de densidad máxima y humedad óptima.

Figura 6. Muestra de la densidad máxima que puede alcanzar el suelo con el 3% Cemento



Adicionalmente se realizó el ensayo de permeabilidad en el laboratorio de suelos con cal y cemento con los porcentajes del 3%, 6%, 9%, empleando la fórmula de lefranc para el método puntual a carga variable, para la cual se tuvieron en cuenta dos datos como: Profundidad de la calicata y el tiempo en el cual se estimó las diferencias de altura al momento de iniciar el ensayo.

En la tabla N°1 se ilustra los valores de permeabilidad con el 3% de cal según la Norma ASTM D2434. De

acuerdo a los resultados de suelos estabilizado, se lo describe como Permeabilidad baja en un promedio de $k = 0.0000265 \text{ cm/s}$ ($k = 2.65E-05 \text{ cm/s}$), debido al coeficiente de permeabilidad obtenido en el ensayo. Esta información es relevante para entender las características del suelo que pueda ser útil para el diseño y construcción de estructuras que involucren interacciones con el suelo en cuestión.

Tabla 1. Resultados de ensayo de permeabilidad del suelo con la adición de la cal a 3%.

Item	Test N° 3			--
	1	2	3	
Diámetro de muestra, D (cm)	15	15	15	--
Longitud de muestra, L (cm)	12.1	12.1	12.1	--
Área de muestra, A (cm ²)	176.71	176.71	176.71	--
Diferencia de Carga H (cm)	121.00	121.00	121.00	--
Q ml (cm ³)	56.5	56.0	56.3	--
Duración de Test, t (s)	1200.0	1200.0	1200.0	--
$K = \frac{Q \times L}{A \times t \times H}$ (cm/s)	0.000027	0.000026	0.000027	--

En la tabla N°2 se puede observar que comparando estos resultados con la clasificación de suelos según la Norma ASTM D2434 con una muestra estabilizada al 6% de cal, se tiene como resultado que el suelo analizado se clasifica como de baja permeabilidad con un promedio $k = .000005116 \text{ cm/s}$ y una permeabilidad de $k = 5.12E-06 \text{ cm/s}$ debido al coeficiente de permeabilidad obtenido en el ensayo.

Tabla 2. Resultados de ensayo de permeabilidad del suelo con la adición de la cal a 6%.

Item	Test N° 3			--
	1	2	3	
Diámetro de muestra, D (cm)	15	15	15	--
Longitud de muestra, L (cm)	12.1	12.1	12.1	--
Área de muestra, A (cm ²)	176.71	176.71	176.71	--
Diferencia de Carga H (cm)	94.23	94.20	94.15	--
Q ml (cm ³)	11.0	13.0	14.0	--
Duración de Test, t (s)	1800.0	1800.0	1800.0	--
$K = \frac{Q \times L}{A \times t \times H}$ (cm/s)	0.00000444	0.00000525	0.00000566	--

En la tabla N°3 se puede observar que el suelo estabilizado con una muestra del 9% de cal, se tiene como resultado que el suelo se clasifica como una muy baja permeabilidad con un promedio $k = 0.000011 \text{ cm/s}$ y una permeabilidad de $k = 1.08E-05 \text{ cm/s}$ debido al coeficiente de permeabilidad obtenido en el ensayo.

Tabla 3. Resultados de ensayo de permeabilidad del suelo con la adición de la cal a 9%.

Item	Test N° 3			--
	1	2	3	
Diámetro de muestra, D (cm)	15	15	15	--
Longitud de muestra, L (cm)	12.1	12.1	12.1	--
Área de muestra, A (cm ²)	176.71	176.71	176.71	--
Diferencia de Carga H (cm)	91.00	90.90	90.75	--
Q ml (cm ³)	17.5	17.0	17.0	--
Duración de Test, t (s)	1200.0	1200.0	1200.0	--
$K = \frac{Q \times L}{A \times t \times H}$ (cm/s)	0.000011	0.000011	0.000011	--

En la tabla N°4 se puede observar que una muestra de suelo con el 3% de cemento, se tiene como resultado que el suelo analizado se clasifica como de baja permeabilidad con un promedio de $k = 0.000024 \text{ cm/s}$ y una permeabilidad de $k = 2.44E-06 \text{ cm/s}$ debido al coeficiente de permeabilidad obtenido en el ensayo.

Tabla 4. Resultado de ensayo de permeabilidad del suelo con la adición del cemento a 3%

Item	2 Test Nº 3			--
	1	2	3	
Diámetro de muestra, D (cm)	15	15	15	--
Longitud de muestra, L (cm)	12.1	12.1	12.1	--
Área de muestra, A (cm ²)	176.71	176.71	176.71	--
Diferencia de Carga H (cm)	90.00	80.90	80.50	--
Q ml (cm ³)	3.5	3.4	3.8	--
Duración de Test, t (s)	1200.0	1200.0	1200.0	--
$K = \frac{Q \times L}{A \times t \times H}$ (cm/s)	0.000002	0.000002	0.000003	--

En la tabla N°5 se puede observar que una muestra con el 6% de cemento, se tiene como resultado que el suelo analizado se clasifica como de baja permeabilidad con un promedio $k = .0.000002585$ cm/s y una permeabilidad de $k = 2.58E-06$ cm/s debido al coeficiente de permeabilidad obtenido en el ensayo.

Tabla 5. Resultado de ensayo de permeabilidad del suelo con la adición del cemento a 6%

Item	2 Test Nº 3			--
	1	2	3	
Diámetro de muestra, D (cm)	15	15	15	--
Longitud de muestra, L (cm)	12.1	12.1	12.1	--
Área de muestra, A (cm ²)	176.71	176.71	176.71	--
Diferencia de Carga H (cm)	94.23	94.20	94.15	--
Q ml (cm ³)	6.5	6.7	6.0	--
Duración de Test, t (s)	1800.0	1800.0	1800.0	--
$K = \frac{Q \times L}{A \times t \times H}$ (cm/s)	0.00000262	0.00000271	0.00000242	--

En la tabla N°6 se puede ilustrar que una muestra con el 9% de cemento, se tiene como resultado que el suelo analizado se clasifica como de baja permeabilidad con un promedio $k = 0.000000255$ cm/s y una permeabilidad de $k = 2.55E-07$ cm/s debido al coeficiente de

permeabilidad obtenido en el ensayo.

Tabla 6. Resultado de ensayo de permeabilidad del suelo con la adición del cemento a 9%.

Item	2 Test Nº 3			--
	1	2	3	
Diámetro de muestra, D (cm)	15	15	15	--
Longitud de muestra, L (cm)	12.1	12.1	12.1	--
Área de muestra, A (cm ²)	176.71	176.71	176.71	--
Diferencia de Carga H (cm)	32.30	94.32	94.30	--
Q ml (cm ³)	2.5	2.0	2.3	--
Duración de Test, t (s)	11016.0	11016.0	11016.0	--
$K = \frac{Q \times L}{A \times t \times H}$ (cm/s)	0.00000048	0.00000013	0.00000015	--

Con respecto a la capacidad portante esta prueba de penetración nos permite comprobar las características mecánicas del suelo limo - arenosos estabilizados con cal y cemento. Esta prueba permitió medir la presión necesaria para hacer penetrar el pistón en la muestra del suelo De igual manera, esta prueba se la realizó de manera natural y con los porcentajes del cal y cemento del 3%, 6%, 9%. El CBR en estado natural sin estabilizar obtuvo un valor de 18.41% ilustrándose los resultados en la tabla 7. Al proceder con la estabilización con cal al 3% hubo un incremento significativo alcanzando un valor de 89.26% de CBR, al proceder a incrementar al 6% se obtuvo un valor de 173.59% y con un 9% presento un decrecimiento de 148.22% del CBR.

Para la estabilización de un suelo limo arenoso con cemento se obtuvo los siguientes resultados: Con un 3% de cemento se consiguió un CBR de 71.66%, para un 6% se obtuvo un valor de 141.41% y con 9% de cemento se alcanzó un resultado de 212.10%.

Análisis de los resultados

La clasificación del suelo en estado natural se pudo observar que está en el parámetro de Arena Limosa (SM) por el método SUCS, por otra parte, realizando la clasificación del suelo por el método AASHTO se obtiene que el suelo está en el rango de A-4 Suelo Limoso.

Una vez incorporando los porcentajes 3,6 y 9 de cal el suelo estudiado modifica su estructura cambiando al rango de A-2-4 por el método ASSHTO con 9% de cal; no obstante, con el cemento el valor del rango se mantiene en la clasificación A-4.

A continuación, se presentan los resultados de ensayos con el material en estado natural y cal con porcentajes de 3%, 6% y 9% y otros tipos de estudios dinámicos para explorar más en profundidad las propiedades del suelo.

En la tabla N°7, ilustra los resultados pertenecientes para el sondeo #1 con estado natural, donde presenta un tipo de suelo homogéneo en función a su profundidad, cada estrato tiene variabilidad en sus resultados, encontrando un material de tipo limo con una baja permeabilidad del $2.76E-05$ cm/s.

En la tabla N°8, ilustra los resultados pertenecientes para el sondeo #1 con el material con 3% de cal, encontrando un material de tipo limo con una baja permeabilidad del $2.65E-05$ cm/s

En la tabla N°9, ilustra los resultados pertenecientes para el sondeo #1 con material con 6% de cal, encontrando un material de tipo limo con una muy baja permeabilidad del $5.12E-06$ cm/s

En la tabla N°10, ilustra los resultados pertenecientes para el sondeo #1 con 9% de cal, encontrando un material de tipo limo con una baja permeabilidad del $2.76E-05$ cm/s

En la tabla N°11, ilustra los resultados pertenecientes para el sondeo #1 con el 3% cemento, teniendo como resultado una baja permeabilidad del $2.44E-06$ cm/s.

En la tabla N°12, ilustra los resultados pertenecientes para el sondeo #1 con el 6% cemento, presentando en sus resultados muy baja permeabilidad de 2.58E-06 cm/s.

En la tabla N°13, ilustra los resultados pertenecientes para el sondeo #1 material con 9% cemento, donde presenta un material de tipo limo con una baja permeabilidad del 2.55E-07 cm/s.

Tabla 7

MATERIAL EN ESTADO NATURAL									
SONDEO 1	LIMITES DE ATTERBERG			CLASIFICACIÓN DEL SUELO		COMPACTACIÓN		CBR DE LABORATORIO	PERMEABILIDAD
PROFUNDIDAD	LIMITE LIQUIDO (%)	LIMITE PLASTICO (%)	ÍNDICE PLÁSTICO	AASHTO	SUCS	HUMEDAD OPTIMA (%)	DENSIDAD MAXIMA (Kg/m3)	CBR AL 95 %	BAJA PERMEABILIDAD
Cota 1,50 m	35,54	30,00	5,54	A-4	SM	26,08	1510	18,41	2.76E-05 cm/s

Tabla 8

MATERIAL CON 3% CAL									
SONDEO 1	LIMITES DE ATTERBERG			CLASIFICACIÓN DEL SUELO		COMPACTACIÓN		CBR DE LABORATORIO	PERMEABILIDAD
PROFUNDIDAD	LIMITE LIQUIDO (%)	LIMITE PLASTICO (%)	ÍNDICE PLÁSTICO	AASHTO	SUCS	HUMEDAD OPTIMA (%)	DENSIDAD MAXIMA (Kg/m3)	CBR AL 95 %	BAJA PERMEABILIDAD
Cota 1,50 m	31,65	28,55	3,10	A-4	SM	17,27	1578	89,26	2.65E-05 cm/s

Tabla 9

MATERIAL CON 6% CAL									
SONDEO 1	LIMITES DE ATTERBERG			CLASIFICACIÓN DEL SUELO		COMPACTACIÓN		CBR DE LABORATORIO	PERMEABILIDAD
PROFUNDIDAD	LIMITE LIQUIDO (%)	LIMITE PLASTICO (%)	ÍNDICE PLÁSTICO	AASHTO	SUCS	HUMEDAD OPTIMA (%)	DENSIDAD MAXIMA (Kg/m3)	CBR AL 95 %	MUY BAJA PERMEABILIDAD
Cota 1,50 m	27,22	27,34	NP	A-4	SM	16,85	1498	173,59	5.12E-06 cm/s

Tabla 10

MATERIAL CON 9% CAL									
SONDEO 1	LIMITES DE ATTERBERG			CLASIFICACIÓN DEL SUELO		COMPACTACIÓN		CBR DE LABORATORIO	PERMEABILIDAD
PROFUNDIDAD	LIMITE LIQUIDO (%)	LIMITE PLASTICO (%)	ÍNDICE PLÁSTICO	AASHTO	SUCS	HUMEDAD OPTIMA (%)	DENSIDAD MAXIMA (Kg/m3)	CBR AL 95 %	
Cota 1,50 m	21,44	21,67	NP	A-2-4	SM	19,27	1568	148,22	

Tabla 11

MATERIAL CON 3% CEMENTO									
SONDEO 1	LIMITES DE ATTERBERG			CLASIFICACIÓN DEL SUELO		COMPACTACIÓN		CBR DE LABORATORIO	PERMEABILIDAD
PROFUNDIDAD	LIMITE LIQUIDO (%)	LIMITE PLASTICO (%)	ÍNDICE PLÁSTICO	AASHTO	SUCS	HUMEDAD OPTIMA (%)	DENSIDAD MAXIMA (Kg/m3)	CBR AL 95 %	MUY BAJA PERMEABILIDAD
Cota 1,50 m	35,17	26,76	8,41	A-4	ML	19,29	1588	71,66	2.44E-06 cm/s

Tabla 12

MATERIAL CON 6% CEMENTO									
SONDEO 1	LIMITES DE ATTERBERG			CLASIFICACIÓN DEL SUELO		COMPACTACIÓN		CBR DE LABORATORIO	PERMEABILIDAD
PROFUNDIDAD	LIMITE LIQUIDO (%)	LIMITE PLASTICO (%)	ÍNDICE PLÁSTICO	AASHTO	SUCS	HUMEDAD OPTIMA (%)	DENSIDAD MAXIMA (Kg/m3)	CBR AL 95 %	MUY BAJA PERMEABILIDAD
Cota 1,50 m	34,84	26,65	8,19	A-4	ML	19,80	1576	141,41	2.58E-06 cm/s

Tabla 13

MATERIAL CON 9% CEMENTO									
SONDEO 1	LIMITES DE ATTERBERG			CLASIFICACIÓN DEL SUELO		COMPACTACIÓN		CBR DE LABORATORIO	PERMEABILIDAD
PROFUNDIDAD	LIMITE LIQUIDO (%)	LIMITE PLASTICO (%)	ÍNDICE PLÁSTICO	AASHTO	SUCS	HUMEDAD OPTIMA (%)	DENSIDAD MAXIMA (Kg/m ³)	CBR AL 95 %	MUY BAJA PERMEABILIDAD
Cota 1,50 m	32,75	25,74	7,01	A-4	ML	17,58	1627	212,10	2.55E-07 cm/s

4. Conclusiones

Se puede verificar que un suelo Limo-Arenoso estabilizado con cal y cemento aumenta notablemente en cuanto a su resistencia y permeabilidad, donde se mejora relativamente su portabilidad. En ésta investigación eficazmente se obtiene un aumento del C.B.R con respecto a la subrasante en estado natural al 95% de la densidad máxima seca cuyo resultado es de 18,41%. La densidad seca máxima y el contenido de humedad mejora notablemente un suelo natural al colocar la cal y cemento.

Con la investigación realizada se puede afirmar que la inclusión de Cal en los materiales de subrasante tipo Limo-Arenoso evidencia una considerable mejoría en las propiedades físicas, mecánicas y Químicas, cuyos trabajos de investigación se han realizado, tanto del ámbito nacional como internacional. Se evidencian que los suelos al incorporar cal mejoran sus características; los límites de

consistencia al aumentar las dosificaciones de 6% y 9% se vuelven N.P; por otra parte los resultados de los ensayos de proctor se evidencia que van en una escala ascendente al ir aumentando los porcentajes de cal, hasta llegar a su punto máximo donde la densidad máxima seca se mantiene en una línea continua, lo que nos da a entender que la cal tiene su punto límite de aumento en estabilizaciones de suelos. En el ensayo de C.B.R. de igual manera tiene un crecimiento notable, del 18,41% al 148,22%. En el estudio de permeabilidad un suelo estabilizado con cal se vuelve menos permeable, tomando el ejemplo de los resultados de la investigación, que pasó de 2.76E-05 cm/s a 5.12E-06 cm/s (en el rango de los valores de los resultados de permeabilidad, se considera un suelo de baja de permeabilidad).

La inclusión de Cemento en los materiales de subrasante tipo Limo-Arenoso comparando con los resultados de la cal poseen un mayor

rango de mejoramiento a la subrasante en sus propiedades físicas, mecánicas y Químicas; los límites de consistencia al aumentar las dosificaciones se vuelven menos plásticos; en el proctor de igual manera que en la cal, aumentando los porcentajes de dosificación, se eleva la densidad máxima seca tomando en cuenta la diferencia con la cal, que se pueden estabilizar suelos pasando el 9% de cemento y la densidad máxima crece, en diferencia con la cal que se estabiliza y no aumenta las densidades con porcentajes más allá de 6%. El C.B.R. obtiene mayor crecimiento con el cemento, el cual pasa de 18,41% a 212,10%. En el estudio de permeabilidad el suelo estabilizado con cemento se vuelve mucho menos permeable, tomando el ejemplo de los resultados de la investigación, que pasó de 2.76E-05 cm/s a 2.55E-07 cm/s (en el rango de los valores de los resultados de permeabilidad, se considera un suelo de muy baja permeabilidad).

Bibliografía

- Aiassa, G. M., & Arría, P. A. (2007). DISEÑO DE MEZCLAS DE SUELO COMPACTADO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE TERRAPLENES. *Revista EIA*, 7, 51-61.
- FAO. (2015). *Agricultura Sostenible. Organización de Las Naciones Unidas Para La alimentación y La Agricultura* FAO.
<http://www.fao.org/sustainable-development-goals/overview/fao-and-post-2015/sustainable-agriculture/es/>
- FAO. (2023). *El suelo, diferencias según su aspecto físico y químico.*
<https://www.fao.org/3/ah645s/AH645S04.htm>
- González, M., Moreno, C., & Egido, J. (2015). *Influencia del manejo sobre la calidad del suelo. ECUADOR ES CALIDAD - Revista Científica Ecuatoriana*, 2(1), 33–40.