



DOI: <https://doi.org/10.23857/dc.v10i1.3741>

Ciencias de la Educación  
Artículo de Investigación

*Estabilización de suelos arcillosos con el empleo de cal*

*Stabilization of clay soils with the use of lime*

*Estabilização de solos argilosos com uso de cal*

Juliana Pin Ponce <sup>I</sup>

[jpin9106@utm.edu.ec](mailto:jpin9106@utm.edu.ec)

<https://orcid.org/0009-0007-2229-1610>

Eduardo Ortiz Hernández <sup>II</sup>

[eduardo.ortiz@utm.edu.ec](mailto:eduardo.ortiz@utm.edu.ec)

<https://orcid.org/0000-0002-1885-6005>

**Correspondencia:** [jpin9106@utm.edu.ec](mailto:jpin9106@utm.edu.ec)

\***Recibido:** 29 de diciembre de 2023 \***Aceptado:** 10 de enero de 2024 \* **Publicado:** 19 de febrero de 2024

- I. Universidad Técnica de Manabí, Portoviejo, Ecuador.
- II. Universidad Técnica de Manabí, Portoviejo, Ecuador.

## Resumen

En la provincia de Manabí por tener presencia de suelos arcillosos, por lo que las vías suelen presentar múltiples problemáticas; relacionado con lo descrito, en este estudio se plantea el objetivo general de estabilizar un suelo arcilloso del cantón El Carmen, provincia de Manabí por medio de la aplicación de cal. Se utilizó una metodología bajo un diseño cuantitativo, experimental, prospectivo; de muestras de suelo de 3 calicatas a profundidades (0,50. 1,00 y 1,50 m) se realizó pruebas de laboratorio para conocer las características iniciales del suelo y los efectos después del tratamiento con cal. Entre los principales resultados se obtuvo que el material de subrasante tiene insuficiente resistencia, escaso soporte de cargas e inestabilidad, al mismo tiempo, en la prueba se le adiciona cal al 2 %, 4 % y 6 %, observando un mejoramiento considerable en las muestras, no obstante, se procedió a diseñar un pavimento sin adición de la cal y posteriormente modificando sus propiedades físicas y mecánicas desde su capacidad portante con la adición de la cal al 4 %, cambiando con propiedades adecuadas y un excelente comportamiento. Se concluyó que la vía Pambilar de Arriba y San Pablo del cantón El Carmen, presentó un suelo arcilloso con escasa capacidad de resistencia, soporte de cargas y baja estabilidad del suelo, lo que llevó a plantear la estabilización con el 4 % de cal, para mejorar la capacidad física mecánica de la vía, conseguir mayor resistencia y estabilidad que soporte el volumen de tránsito vehicular.

**Palabras Claves:** Suelo arcilloso; Cal; Vía; Resistencia; Cargas; Estabilidad.

## Abstract

In the province of Manabí, due to the presence of clay soils, the roads usually present multiple problems; Related to what has been described, in this study the general objective of stabilizing a clay soil in the canton of El Carmen, province of Manabí through the application of lime is proposed. A methodology was used under a quantitative, experimental, prospective design; of soil samples from 3 pits at depths (0.50, 1.00 and 1.50 m), laboratory tests were carried out to know the initial characteristics of the soil and the effects after treatment with lime. Among the main results, it was obtained that the subgrade material has insufficient resistance, poor load support and instability, at the same time, in the test, lime was added at 2%, 4% and 6%, observing a considerable improvement in the samples. However, a pavement was designed without adding lime and subsequently modifying its physical and mechanical properties from its bearing capacity with the addition of 4% lime, changing with adequate properties and excellent behavior. It was concluded that the Pambilar de

## Estabilización de suelos arcillosos con el empleo de cal

---

Arriba and San Pablo roads in the El Carmen canton had clay soil with little capacity for resistance, load support and low soil stability, which led to considering stabilization with 4% lime, to improve the mechanical physical capacity of the road, achieve greater resistance and stability to support the volume of vehicular traffic.

**Keywords:** Clay floor; Lime; Via; Endurance; Loads; Stability.

### Resumo

Na província de Manabí, devido à presença de solos argilosos, as estradas costumam apresentar múltiplos problemas; Relacionado ao descrito, neste estudo propõe-se o objetivo geral de estabilizar um solo argiloso no cantão de El Carmen, província de Manabí através da aplicação de cal. Foi utilizada uma metodologia com desenho quantitativo, experimental e prospectivo; de amostras de solo de 3 covas nas profundidades (0,50, 1,00 e 1,50 m), foram realizados testes laboratoriais para conhecer as características iniciais do solo e os efeitos após o tratamento com cal. Dentre os principais resultados obteve-se que o material do subleito apresenta resistência insuficiente, má sustentação de carga e instabilidade, ao mesmo tempo, no ensaio foi adicionado cal em 2%, 4% e 6%, observando-se uma melhoria considerável no Entretanto, foi projetado um pavimento sem adição de cal e posteriormente modificando suas propriedades físicas e mecânicas a partir de sua capacidade de suporte com a adição de 4% de cal, mudando com propriedades adequadas e excelente comportamento. Concluiu-se que as estradas Pambilar de Arriba e San Pablo, no cantão El Carmen, apresentavam solos argilosos, com pouca capacidade de resistência, suporte de carga e baixa estabilidade do solo, o que levou a considerar a estabilização com 4% de cal, para melhorar a capacidade física mecânica dos a estrada, alcançam maior resistência e estabilidade para suportar o volume de tráfego de veículos.

**Palavras-chave:** Piso de barro; Lima; Através da; Resistência; Cargas; Estabilidade.

### Introducción

En la actualidad, las fallas constructivas y deficiente calidad de los suelos de las vías pueden representar serios problemas para el Estado; según la Organización Panamericana de la Salud (OPS, 2018) deslizamientos, humedad, fisuras, socavamientos, derrumbes, inconvenientes en las calzadas, entre otras problemáticas que se presentan, complican la estabilidad de la red vial, ya que

## Estabilización de suelos arcillosos con el empleo de cal

---

constantemente se deben realizar actividades de mantenimiento y rehabilitación, absorbiendo gran cantidad de recursos, humanos, equipos y económicos.

Gran cantidad de países del mundo presentan varias problemáticas durante y después de ser construidas las vías; en México Mendoza, et. al., (2022), indican que es frecuente encontrar suelos arcillosos en varias regiones del país, por lo que se utiliza la cal como medio para estabilizar el suelo; en tal sentido en este estudio, se realizó la prueba Eades y Grimm para conocer la cantidad de cal necesaria para estabilizar el suelo, se determinó el límite líquido, plástico y contracción lineal. Por su parte, describe Restrepo (2022), que en Colombia son muchos los beneficios de estabilizar in situ con cal, sobre todo en vías terciarias y caminos rurales, debido a que permite el aprovechamiento de la subrasante, lo cual avala conseguir una estructura que tenga condiciones apropiadas de transitabilidad y vida útil estimada.

Por lo señalado, las bases y sub bases, así como el material utilizado en la construcción de las obras viales, deben cumplir con ciertas propiedades físico/mecánicas que permitan la estabilidad y resistencia (Landeta y León, 2018). En tal sentido, se ha detectado al momento de construir, que en algunas provincias de la costa de Ecuador se presentan problemáticas e inestabilidad en los suelos; especialmente en la provincia de Manabí, pueden encontrarse algunos tipos de suelos, no obstante, prevalece el tipo de arcillas. Precisamente, el predominio de suelos arcillosos en la provincia de Manabí trae añadido una serie de desafíos a los constructores de las vías.

Cabe mencionar que en la Provincia de Manabí, la ciudad de Portoviejo se han realizado diversas investigaciones (Ortiz-Hernández, E., Chunga, K., Toulkeridis, T., & Pastor, J. L., 2022), donde se emplea la cal con suelo natural, donde los porcentajes a emplear fueron el 3 y 6%, obteniendo así una reducción por contracción al cambio volumétrico del suelo, permitiendo mejorar sus propiedades físicas y mecánicas; así como su aumento de la capacidad portante mediante el método de prueba California Bearing Ratio (CBR) de 9 a 16%, mejorando además su plasticidad del suelo (Hernández, E. H. O., Moncayo, E. H. O., Sánchez, L. K. M., & de Calderero, R. P., 2017).

Ahora bien, se debe distinguir lo expresado por Leones y Hernández (2023), que, a los problemas relacionados con la inestabilidad de los suelos como, expansión y contracción, erosión y deslizamientos, dificultad en la compactación, problemas en el drenaje, límite de cargas, etc., escenarios que elevan los costos de construcción y mantenimiento. Por lo descrito es importante que se trabaje con alternativas de estabilización de los suelos. Concuera en este punto Albán (2014), para mitigar los problemas asociados a los suelos arcillosos, es necesario examinar su composición y

## Estabilización de suelos arcillosos con el empleo de cal

---

características para tomar la decisión más apropiada. Es por eso, que para Chirinos, Rodríguez y Muñoz (2021) la estabilización de los suelos es un procedimiento que busca mejorar sus propiedades, estos procesos físicos químicos o mecánicos permite transformar las propiedades de los suelos, convirtiéndolo en apto para utilizarlo, siendo varios los materiales que pueden emplearse para su estabilización, uno de estos es la cal, que se presenta como una buena opción desde el punto de vista técnico, económico y ambiental.

Sostienen Ospina, Chaves y Jiménez (2020) que la estabilización de suelos arcillosos con cal, implica realizar y tener en cuenta una serie de pruebas pertinentes, para conocer los porcentajes y tipo de cal (cal viva, cal apagada o hidratada), Por su parte, exponen Pineda y Ramírez (2021), que recurrir a la estabilización de suelos arcillosos con cal, implica realizar un procedimiento permanente, ya que son transformadas químicamente las partículas del suelo arcilloso, surgiendo de este proceso un suelo base mejorado, impermeable y con mayor capacidad de carga.

En lo expuesto, radica la importancia para efectuar el presente estudio, se suma a esta realidad, que alrededor del mundo y Latinoamérica se han desarrollado múltiples estudios sobre los suelos arcillosos y su estabilización con cal (Rivera 2020; Troncoso, et al., 2022; Armas, et al., 2022), obteniendo en los suelos intervenidos un mejoramiento de sus propiedades. En la provincia de Manabí son escasos los estudios relacionados con las variables planteadas, en tal dirección Leones y Hernández, (2023), abordaron la estabilización de subrasantes mediante la incorporación de agentes cementantes y la cal; Macías y Ortiz, (2022), propusieron el carbonato de calcio como agente estabilizador; mientras que Parra y Chicaiza (2019) investigaron la estabilización de suelos arcillosos utilizando diversos materiales, por lo cual, son escasos los trabajos orientados a estabilizar suelos arcillosos con cal.

En función de lo indicado, se buscó desarrollar el actual estudio, siguiendo varios pasos; como caracterizar el suelo arcilloso mediante el ensayo de laboratorio, establecer el porcentaje mínimo de la cal para alcanzar la resistencia adecuada como cimiento del pavimento, comprobar el efecto del mejoramiento del suelo en la reducción del espesor del pavimento para determinadas condiciones de tránsito.

Se debe señalar, que, en la actualidad, la vía Pambilar de Arriba y San Pablo del cantón El Carmen, provincia de Manabí, Ecuador, presenta un estado vial desfavorables; por lo cual esta investigación tiene como objetivo principal estabilizar un suelo arcilloso del cantón El Carmen, provincia de Manabí por medio de la aplicación de cal.

## Estabilización de suelos arcillosos con el empleo de cal

### Material y métodos

Durante la fase de investigación se realizan pruebas de laboratorio para conocer características iniciales del suelo y efectos derivados después del tratamiento con cal, en la vía Pambilar de Arriba y de San Pablo en el cantón El Carmen. La estabilización de suelos con cal, de acuerdo a lo que mencionan Cardona, Jiménez y Ospina (2023), es conveniente por la disminución en los costos de construcción y la calidad de mejoramiento, ya que aumenta la capacidad de soporte, compresión, resistencia al corte, ablandamiento por agua, provee estabilidad volumétrica, disminuye la permeabilidad de agua, la plasticidad, aumentando la masa de los suelos.

Así mismo es relevante destacar la existencia de algunas características generales que ayudan en la elección de la cal como estabilizador adecuado para un tipo particular de suelo, entre otras la granulometría y textura del suelo, especialmente por cuanto la cal tiende a reacciones favorables en suelos con plasticidad moderada o alta, disminuyendo índice de plasticidad, así como expansión y aumento de la resistencia (Fabián et.al., 2020).

La investigación fue desarrollada bajo un diseño de investigación cuantitativo, experimental, prospectivo. Porque de acuerdo a Sampieri et al. (2018); el estudio experimental manipula la variable independiente, con el fin de obtener resultados producto de los análisis de laboratorio de suelos. El estudio también fue prospectivo porque los resultados obtenidos aportarán a futuro con mejoras en la utilización de cal para estabilizar suelos arcillosos.

Se realizó un diseño de pavimento método AASHTO 1983 (American Association of State Highway and Transportation Oficial), para lo que inicialmente se tomó muestras *in situ* los primeros 10 kilómetros de un total de 3 calicatas a profundidades de 0,50m, 1,00 y 1,50 m como se ilustra en la figura 1.



**Figura 1. Calicata realizada en la vía Pambilar de Arriba y San Pablo del cantón El Carmen.**

## Estabilización de suelos arcillosos con el empleo de cal

Una vez obtenidas las muestras se procedió a realizar los ensayos en el laboratorio de suelos, con el propósito de conocer las propiedades físicas mecánicas del suelo y los efectos derivados una vez que se realizó el tratamiento con cal, tanto en el suelo natural, como en la mezcla de suelo estabilizante en distintos porcentajes.

Se realizaron los siguientes ensayos:

- 1.- Humedad natural (Norma ASTM D2216-10)
- 2.- Granulometría fina ( (ASTM D 421-85) (ASTM D 422-63)
- 3.- Límites de Atterberg ( (Norma ASTM D4318-10))
- 4.- Limite plástico ( (Norma ASTM D698-12))
- 5.- Próctor Estándar por medio (ASTM D698-12)
- 6.-Relacion de soporte california (CBR) (ASTM D 6951-03)

La Granulometría fina, según lo especificado en la norma ASTM D421-85 y D422-63, aportó con el conocimiento de la distribución de los tamaños de las partículas del suelo. Posteriormente se determinó el límite líquido y el límite plástico el cual se pudo definir el Índice de plasticidad

$$IP = LL - LP \quad (1)$$

LL: Límite líquido

LP: Límite plástico

IP: Índice de plasticidad

Según lo establecido por el Ing. Albert Mauritz Atterberg (1846 - 1932), los  $LL > 50$  pertenecen al grupo de suelo de “alta plasticidad” mientras que valores inferiores a estos son de “baja plasticidad”, según lo determinado por la norma (ASTM D4318), como se indica en la figura 2.

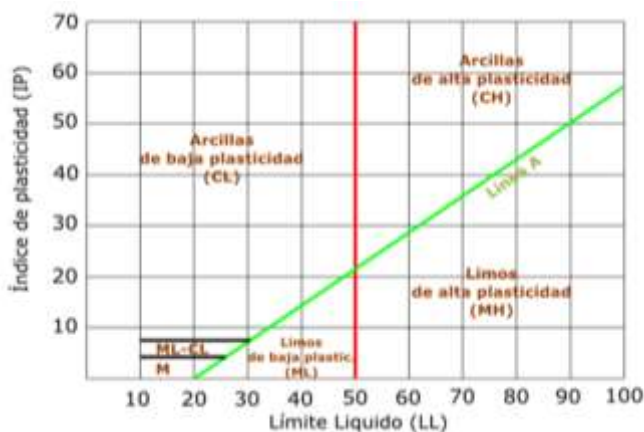


Figura 2. Índice de plasticidad de suelos (ASTM D4318).

Estabilización de suelos arcillosos con el empleo de cal

Además, se efectuó el ensayo de Proctor Estándar por medio de la Norma ASTM D698-12, como se ilustra en la tabla 1, el cual se buscó alcanzar un mejoramiento de las propiedades mecánicas del suelo, para aumentar la densidad máxima seca.

AASHTO T99, peso del martillo 5.5. Bos., altura de caída 12 y N° de capas 3					
Tipo de ensayo	A	B	C	D	Observaciones
Molde usado	4''	6''	4''	6''	Se utiliza 56
Material pasa	Tamiz N° 4	Tamiz N° 4	Tamiz N° 1/4	Tamiz N° 1/4	golpes en B y C. Cuando las dim
N° de golpes	25	56	25	56	de los moldes
Volumen molde	1/30 n <sup>3</sup>	1/13.33 n <sup>3</sup>	1/30 n <sup>3</sup>	1/13.33 n <sup>3</sup>	está en plg y 55 e M.K.S.
E(n/n <sup>3</sup> )	12375	12317	12375	12317	
Tipo de ensayo Proctor Normal					
AASHTO T99, peso del martillo 5.5. Bos., altura de caída 12 y N° de capas 3					
Tipo de ensayo	A	B	C	6''	Observaciones
Molde usado	4''	6''	4''	Tamiz N° 1/4	
Material pasa	Tamiz N° 4	Tamiz N° 4	Tamiz N° 1/4	56	
N° de golpes	25	56	25	1/13.33 n <sup>3</sup>	
Volumen molde	1/30 n <sup>3</sup>	1/13.33 n <sup>3</sup>	1/30 n <sup>3</sup>	12317	
E(n/n <sup>3</sup> )	12375	12317	12375	6''	

**Tabla 1. Normas del ensayo Proctor (ASTM D698-12)**

De acuerdo a la metodología AASHTO-93, se plantea en esta investigación un método para diseñar pavimento flexible, por lo que éste aporta con parámetros de serviciabilidad como una medida de su



Estabilización de suelos arcillosos con el empleo de cal

capacidad para brindar una superficie lisa y suave al usuario. Con los resultados obtenido como tráfico, capacidad portante, índice de Servicialidad, módulo de resiliencia, numero de eje equivalentes, entre otros, se podrá conocer los espesores que será necesario para el pavimento. Para conseguir el numero estructural SN del pavimento, se utiliza una gráfica que integra la confiabilidad, el tránsito, desviación estándar e índice de servicio. Es determinante conocer el espesor final de las capas del pavimento como se especifica en la figura 3, donde se ilustra las fórmulas que se utilizara para el diseño a emplear.

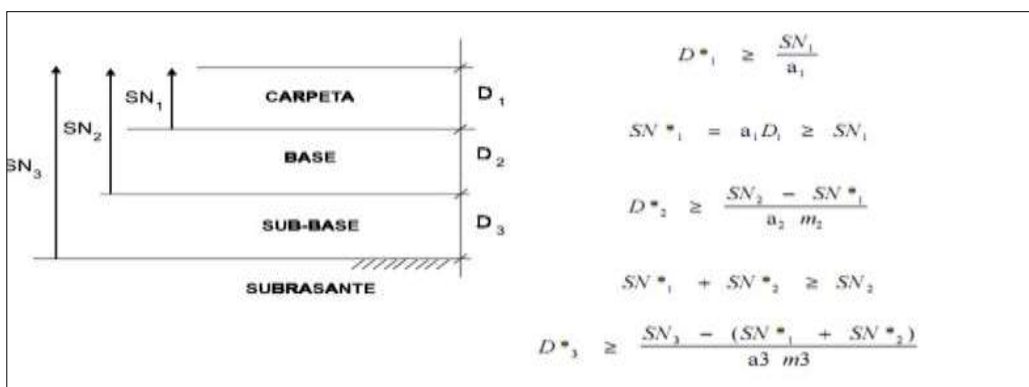


Figura 3. Fórmula para determinar los números estructural del pavimento según la AASHTO.

**Análisis de los Resultados**

En el actual apartado se presenta los resultados de cada uno de ensayos y pruebas aplicadas a las muestras recabadas en las 3 calicatas. La caracterización se la efectuó con el propósito de conocer las propiedades de las muestras analizadas, el suelo de esta vía está integrada por un material granular existente, en tal sentido se tomó muestras en los primeros 10 km de la vía, realizando ensayos de laboratorio antes y después del uso de la cal, información que se muestra en la tabla N°2. Donde se evidencia los resultados del porcentaje de material que pasó a través del tamiz (N°4, N°10, N°40, N°200) en las 3 muestras a profundidades de (0.50m, 1.00m y 1.50m).

Tamiz	Muestra N°1 (0.50m) % Pasante	Muestra N°2 (1.00m) % Pasante	Muestra N°3 (1.50m) % Pasante
N°4	100	100	100
N°10	94.68	97.05	96.51

Estabilización de suelos arcillosos con el empleo de cal

N°40	83.37	95.62	95.98
N°200	53.71	73.28	88.10

**Tabla N° 2. Porcentaje que pasa el tamiz N°200 perteneciente a las 3 muestras a diferentes profundidades.**

En la muestra N° 1, el 100% del material pasó a través del tamiz N° 4, en el tamiz N°10 su porcentaje fue de 94.68%, el tamiz N° 40 pasó el 83,37 y en el tamiz N°200 un contenido de fino del 53.7%. Para la muestra N° 2, esta fue tomada a la profundidad de 1.00 metro, donde el tamiz N°10 posee un pasante del 97.05%, para el tamiz N°40 un 95.62 y para el tamiz N°200 un contenido de fino del 73.28%. Para la muestra N°3, se procedió a tomarla a la profundidad de 1.50 metro, teniendo como resultado en el tamiz N° 4 que pasó la totalidad de la muestra, es decir el 100 %, en el N° 10 un 96,51, en el tamiz N°40 pasó un 95.98% y para el tamiz N°200 un porcentaje del 88.10%. La información recabada permitió una mejor comprensión del contenido fino de cada estrato a diversas profundidades, lo cual permitió conocer la composición y calidad del material.

Los valores obtenidos a la profundidad de 0,50 metros, expuestos en la tabla 3, indican que estos suelos presentan limos de bajas plasticidad que según la clasificación SUCS son de tipo “ML” y la clasificación AASTHO son de tipo A-7-6. Para la profundidad de 1.00 y 1.50 metros estos presentan arcillas de baja plasticidad según la clasificación SUCS y según la AASTHO son de tipo A-6, además estos presentan límites líquido entre 29 a 41% y con un índice de plasticidad de 13 a 18%.

		P inicial humedo=	300	grms
		P inicial seco=	235,63	grms
<b>CLASIFICACION:</b>		HUMEDAD NATURAL:	27,32 %	
		LIMITE LIQUIDO:	41,19 %	
SUCS	ML	INDICE PLASTICO:	12,73	
AASTHO	A-7-6	INDICE DE GRUPO:		

**Tabla 3. Granulometría a 0,50 metro (Norma ASTM D4318-10)**

		P inicial humedo=	300	grms
		P inicial seco=	239,53	grms
<b>CLASIFICACION:</b>		HUMEDAD NATURAL:	25,24 %	
		LIMITE LIQUIDO:	28,93 %	
SUCS	CL	INDICE PLASTICO:	17,55	
AASTHO	A-6	INDICE DE GRUPO:		

**Tabla 4. Granulometría a 1,00 metro (Norma ASTM D4318-10)**

Estabilización de suelos arcillosos con el empleo de cal

		P inicial humedo=	<b>300</b>	grms
		P inicial seco=	<b>212,39</b>	grms
<b>CLASIFICACION:</b>		HUMEDAD NATURAL:	<b>41,25 %</b>	
		LIMITE LIQUIDO:	<b>32,92 %</b>	
<b>SUCS</b>	<b>CL</b>	INDICE PLASTICO:	<b>14,76</b>	
<b>AASTHO</b>	<b>A-6</b>	INDICE DE GRUPO:		

**Tabla 5. Granulometría a 1,50 metro (Norma ASTM D4318-10)**

Los resultados derivados del análisis de las calicatas 1,2,3 y 5 a diferentes profundidades de suelo (0,50, 1,00 y 1,50 m) demostraron resultados acordes a una subrasante con un alto contenido de fino, cambios volumétricos y con una plasticidad significativa, lo que representa grandes desafíos a la hora de mejorar la resistencia y estabilidad del suelo como se ilustra.

Calicata	Profundidad (m)	Muestra	LL (%)	LP (%)	IP (%)	AASTHO	Proctor (Kg/m3)	Wopt	CBR (%)	% Esponjamiento
1	0,50	89,69	38,81	21,20	17,61	A-6	1534,00	7,00	5,60	5,68
	1,00	93,57	50,54	30,11	20,43	A-7-5	-	-	-	-
	1,50	98,94	51,03	29,06	21,97	A-7-6	-	-	-	-
2	0,50	94,91	42,68	27,31	15,37	A-7-6	1622,00	13,00	3,40	8,36
	1,00	99,65	47,56	24,82	22,74	A-7-6	-	-	-	-
	1,50	98,41	40,68	22,89	17,79	A-7-6	-	-	-	-
3	0,50	94,68	41,19	28,45	12,73	A-7-6	1600,00	20,00	4,70	3,00
	1,00	97,05	28,93	11,37	17,55	A-6	-	-	-	-
	1,50	96,51	32,92	18,16	14,76	A-6	-	-	-	-
5	0,50	96,58	38,23	26,42	11,82	A-6	1648,00	24,10	5,20	0,04
	1,00	84,53	36,01	31,18	4,83	A-4				
	1,50	96,69	27,87	18,23	9,63	A-4				

**Tabla 6. Resultados de laboratorio de suelos de las calicatas 1, 2, 3 y 5**

En conjunto los análisis realizados a diferentes profundidades, como se expone en la tabla 6, en la muestra 1 posee un CBR de 5,60 % (capacidad portante moderado); la muestra 2 con un CBR 3,40% (limitada capacidad de soporte); en la muestra 3 con un CBR de 4,70% (capacidad portante de moderado soporte) y la muestra 5 con un CBR de 5.20% (capacidad portante extremadamente limitada en el soporte de cargas) Estos datos comprobaron la existencia de una muy limitada resistencia a cargas, no obstante fue la muestra 2 la que presenta mínima capacidad de resistencia, los otros resultados indicaron un suelo arcilloso con escasa estabilidad, debiéndose encontrar la

Estabilización de suelos arcillosos con el empleo de cal

alternativa más idónea para seleccionar materiales apropiados que permitan estabilizarlo y proceder a diseñar una estructura de pavimento en la que la subrasante, base y subbase tengan la capacidad de carga adecuada, garantizando un pavimento perdurable en el tiempo. Los resultados de la calicata 4 comprobaron un esponjamiento de 9,90 y un CBR 7.60%, estos porcentajes denotan un material subrasante de moderada capacidad de resistencia, siendo importante encontrar una alternativa viable para el mejoramiento del material como se muestra en la tabla 7.

Muestra	N°1	N°4	N°20	LL	LP	IP %	AASTH	Proctor	Wop	CBR	%
a	0	0	0	%	%		O	Kg/m <sup>3</sup>	t	%	expón ja mient o
0,50	99,2	98,0	90,17	78,3	40,0	38,3	A-7-5	1700	31	7,60	9,90%
	3	0		3	0	3				%	
1,00	99,6	99,2	95,49	84,4	30,6	53,7	A-7-5				
	1	1		1	9	2					
1,50	98,7	98,1	92,84	77,2	31,0	46,1	A-7-5				
	4	6		1	4	7					

**Tabla 7. Resultados de laboratorio de suelos de la calicata N°4.**

Una vez estabilizada la muestra de la calicata 4 al 2 %, 4 % y 6 % de cal, en todos los porcentajes adicionados se observa un mejoramiento en la capacidad de resistencia y estabilidad de la subrasante, no obstante, es con la adición del 4 % de cal donde se reflejan mejores resultados, con propiedades adecuadas y un excelente comportamiento para ser utilizada como soporte en la construcción de carreteras. Comprobando el efecto del mejoramiento del suelo en la reducción de los espesores del pavimento con la condición del 4% de cal como se ilustra en la tabla 8.

Calicata	Muestra	N°1	N°4	N°20	LL	LP	IP	AASTH	Proctor	Wo	CBR	%
		0	0	00	%	%	%	HO	Kg/m <sup>3</sup>	pt	R %	Esponjamiento

Estabilización de suelos arcillosos con el empleo de cal

2%	m	98,	97,	75,9	37,	25,	12,	A-6	1766	25,	11	5,70%
		94	7	6	90	24	67			80		
4%	m	98,	96,	56,8	22,	17,	4,5	A-4	1882	15	15,	1,50%
		22	84	3	15	61	4,				1	
6%	m	97,	95,	24,9	0	40	NP	A-6	1865	11,	13,	0,00%
		92	42	8						2	4	

**Tabla 8. Resultados de laboratorio de suelos de la Calicata N°4, estabilizada al 2%, 4% y 6% de cal.**

En el diseño de tráfico realizado con el fin de garantizar la funcionalidad, el flujo seguro y eficiente del tránsito, se consideraron aspectos claves como la frecuencia y volumen diario del tráfico, tomando en consideración el tipo de vehículo (liviano, bus, pesado de 2 ejes), desde el día lunes a domingo, se obtuvo un tráfico promedio diario o TPD de 322, considerando el 10 % de tránsito atraído y la generación de tránsito del 5 %. Como resultados del Tránsito Promedio Diario (TPD) de diseño se obtuvo una cantidad de vehículos de 370 y el y para cálculo del Tráfico Promedio Diario Anual se obtuvo un TPDA de 385 vehículos como se ilustra en la figura 4.

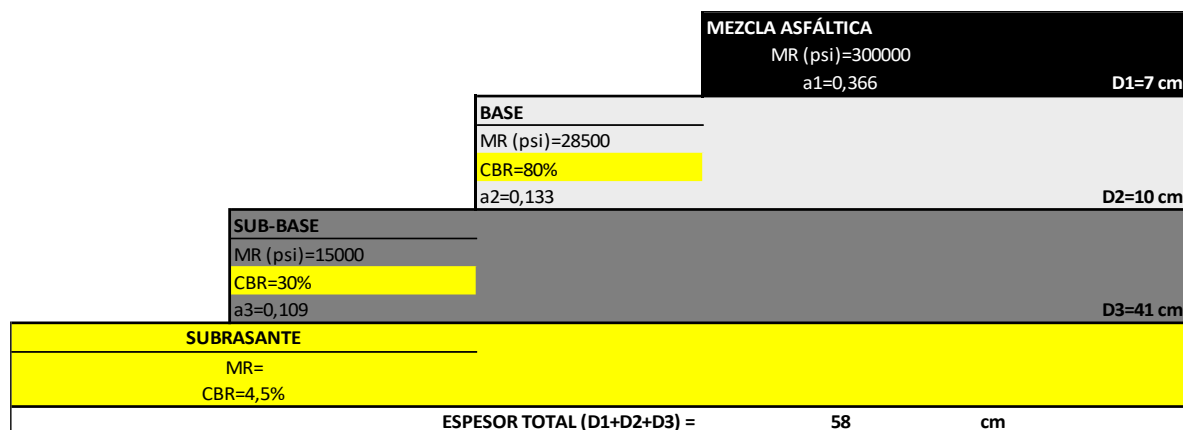
<i>Tasa de crecimiento del tránsito.</i>	
<b>TPD=</b>	<b>322</b>
<i>Es el volumen de tránsito durante un período de tiempo, dividido por el número de días del período.</i>	
<b>TRÁNSITO ATRAIDO =</b>	<b>10%</b>
<i>Es el volumen de tránsito que, sin cambiar ni su origen ni su destino, puede ocupar la futura vía pavimentada como ruta alterna, afluyendo a ella a través de otras vías ya existentes.</i>	
<b>TRÁNSITO GENERADO =</b>	<b>5%</b>
<i>Es el volumen de tránsito que resulta como consecuencia del desarrollo económico y social de la nueva zona de influencia.</i>	
<b>TPD diseño =</b>	<b>370</b>
<b>TPDA=</b>	<b>385</b>

**Figura 4. Tráfico de diseño de la vía.**

Como se muestra en la figura 5, se ubica la conformación de la estructura de pavimento donde se obtuvo un espesor de 7 cm de carpeta asfáltica; mientras que en la base granular Clase 1A se obtuvo un espesor de 10 cm; en referencia a la subbase granular clase 3 se obtuvo un espesor de 41 cm;

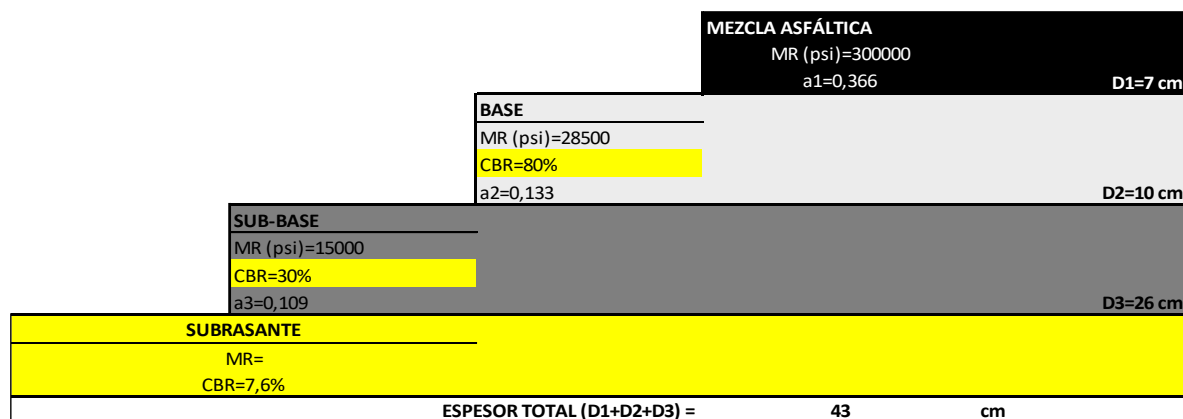
Estabilización de suelos arcillosos con el empleo de cal

presentando una subrasante con una capacidad portante de CBR de diseño de 4,5% sin estabilizar. La sumatoria total de la estructura de pavimento es equivalente a los 58 cm de espesor.



**Figura 5. Diseño de pavimento sin estabilizar la subrasante natural.**

Los parámetros obtenidos en el diseño de pavimento, con una subrasante sin estabilizar y diseñada con un CBR de una muestra del sitio N°4 como se muestra en la tabla 7, alcanzaron espesores con carpeta asfáltica de 7 cm, una capa de material de base granular clase 1 A de espesor 10 cm; una capa de subbase granular clase 3 con un espesor de 26 cm y diseñada con una capacidad portante de una subrasante de CBR de diseño del 7.6%. La sumatoria total de la estructura de pavimento es equivalente a los 43 cm de espesor, como está indicado en la figura 6.

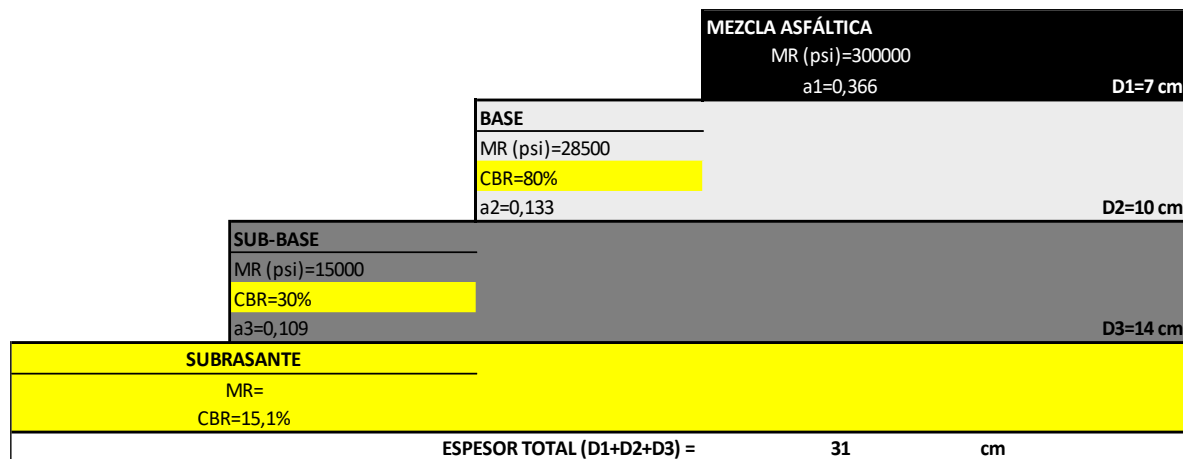


**Figura 6. Pavimento sin estabilización de la subrasante natural.**

El pavimento estabilizado con cal de una subrasante, apporto un CBR de 15.10%, la cual se diseñó su pavimento con esta capacidad portante obteniendo los siguientes espesores: Una carpeta asfáltica de un espesor de 7 cm, una capa de base granular clase 1 A de 10 cm, una capa de subbase clase 3 de

Estabilización de suelos arcillosos con el empleo de cal

espesor 14 cm. La reducción de espesores se da por el aumento de la capacidad portante de su subrasante al ser mejorada sus propiedades físicas y mecánicas como se ilustra en la figura 7



**Figura 7. Diseño de pavimento estabilizado con un 4% de cal en la subrasante.**

Al estabilizar la subrasante con cal al 4 %, se corrigió las propiedades físicas y mecánicas del suelo, con lo que aportaran mayor resistencia a la subrasante, el cual se ven disminuidos los espesores en el diseño de pavimento como se muestra en la figura 7. Teniendo como carpeta asfáltica un espesor de 10 cm, una capa de material de Base granular clase 1A con un espesor de 14 cm, una capa de Sub base granular clase 3 de 14 cm de espesor y un espesor de pavimento de 31 cm.

**Discusión de resultados**

Derivado de los análisis efectuados a las calicatas a diferentes profundidades, se pudo obtener información precisa de las características del suelo de la vía Pambilar de Arriba y San Pablo del cantón El Carmen; en la primera muestra obtenida a 0,50 metros, el suelo presentó baja plasticidad al comprarla con lo establecido en la clasificación de suelo SUCS que son de tipo “ML” y la clasificación AASTHO de tipo A-7-6. En las muestras a profundidad de 1,00 y 1,50 metros se localizó un suelo arcilloso de baja plasticidad de tipo “CL” que según lo cataloga la clasificación de suelo SUCS y AASTHO se ubican en el tipo A-6, así mismo el LL se encuentra entre 29 a 41% y con un índice de plasticidad de 13 a 18%.

Bajo la misma línea de investigación los autores Ñañez, Lafitte y Pérez (2021) indicaron que el suelo analizado en muestras a diversas profundidades, obtuvieron resultados de suelo con baja plasticidad contrastándola con las clasificaciones SUCS y AASTHO, siendo las muestras analizadas y los

## Estabilización de suelos arcillosos con el empleo de cal

---

resultados, similares a los del presente estudio, por lo cual los autores del estudio recomendaron estabilizar los suelos y mejorar la capacidad portante CBR, adicionado cal en porcentajes que se considere apropiado..

Por otra parte, durante la indagación, se consiguió información procedente de los estudios aplicados a las calicatas de suelo identificadas con el número 1,2,3; que evidenciaron alto contenido de arcillas y plasticidad, planteando dificultades para mejorar la resistencia y estabilidad del suelo. En estos resultados se coincide con la investigación hecha por Roldán (2020) quien, en los estudios de campo aplicado a calicatas con ensayos como límite de Atterberg, Proctor Modificado y CBR. se encontró presencia de suelos arcillosos, por lo que se agregó cal al 2%, 4% y 6%, concluyendo que la cal puede reportar grandes beneficios al suelo como modificación, aumento de la capacidad de soporte y disminución de la expansión.

En lo relacionado con el estudio aplicado a la calicata asignada con el número 4, se comprobó esponjamiento de 9,90 y un CBR 7.60%, indicando estos porcentajes que es un material subrasante con regular capacidad de resistencia, bajo soporte de cargas e inestabilidad. En vista de los resultados aportados por los análisis de suelo, se buscó estabilizar la muestra de la calicata 4 al 2 %, 4 % y 6 % de cal, logrando establecer que con todos los porcentajes de cal se obtuvo mejoras considerables, sobre todo en su resistencia y estabilidad, si bien, se pudo determinar que con la adición de cal al 4 %, se obtuvo cambios físicos significativos en referencia a la plasticidad, compactación, humedad requerida y un excelente comportamiento en la capacidad de soporte del suelo, resultando una base de suelo apta para el diseño del pavimento. Estos resultados se validan en base al estudio de Navarro y Sandino (2015) quienes parten de la investigación de un suelo donde predomina un A-7-6 que según la normativa AASHTO son de baja capacidad de carga, alto índice de plasticidad y alta proporción de expansión por cambios en la humedad, en otras palabras, estas características engloban un suelo no deseable en un proyecto vial, por lo cual se obtuvo mejoras significativas, sobre todo en el soporte del suelo adicionado cal al 4 %, al igual que en el presente estudio.

### Conclusiones

La caracterización del suelo de los primeros 10 km de la vía Pambilar de Arriba y San Pablo del cantón El Carmen, provincia de Manabí, Ecuador, de la que se recabó muestras de suelos a profundidades de 0,50, 1,00 y 1,50 metros, los resultados derivaron en un suelo arcilloso, con altos valores en el límite líquido e índice plástico significativo, en conjunto la pruebas presentaron un



## Estabilización de suelos arcillosos con el empleo de cal

---

material subrasante con escasa capacidad de resistencia, soporte de cargas y baja estabilidad del suelo, lo que implica grandes desafíos para el diseño de la vía.

Se estabilizó la calicata N° 4, adicionando cal en diferentes porcentajes; (2 %, 4 % y 6 %), en la información recogida para mejorar las características del suelo, en cada uno de los porcentajes de cal se obtuvo mejoramientos en la resistencia y estabilidad de la subrasante, aunque con la adición del 4 % de cal se logró mejorar la graduación, las propiedades, comportamiento, capacidad de resistencia y estabilidad del suelo.

Para conseguir la construcción segura y estable en la clase de suelo analizado, se sugiere la utilización de cal al 4 % para mejorar las propiedades físicas y mecánicas del suelo original, por lo expuesto y con apoyo en la capacidad de carga conseguido en los análisis del suelo a diferentes profundidades, se efectuó un diseño del pavimento, consiguiendo de esta forma una estructura de pavimento con mayor resistencia y estabilidad para soportar el volumen de tránsito vehicular.

### Referencias

- Armas, Y. V., Arroyo, J. A., & Pedro, M. P. (2022). Uso de estabilizadores de suelo: una revisión. *Avances Investigación En Ingeniería*, 19(1). 1-16. doi:<https://doi.org/10.18041/1794-4953/avances.1.6856>.
- ASTM D 421-85. (s.f.). “Standard Practice for Dry Preparation of Soil Samples for Particle Size Analysis and Determination of Soil Constants”. American Society for testing and Materials. Annual Book of ASTM Standards. 2 p.
- ASTM D 422-63. (s.f.). “Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils”. American Society for testing and Materials. Annual Book of ASTM Standards. 8 p.
- ASTM D 6951-03. (s.f.). Método de prueba estándar para California Bearing Ratio(CBR) de suelos compactados en laboratorio .
- ASTM D4318. (s.f.). Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils. American Society for Testing and Materials.
- Cardona, E., Jimenez, J., & Ospina, S. (2023). Estado del arte, técnicas de mejoramiento y estabilización para rellenos antrópicos. *Revista espacios*, 4 4(4) 1-17. doi:DOI: 10.48082/espacios-a23v44n04p04

Estabilización de suelos arcillosos con el empleo de cal

---

- Chirinos, E., Rodriguez, E., & Muñoz, S. (2021). Métodos de estabilización de suelo arcillosos para mejorar el CBR con fines de pavimentación. *Suelo Ecuatoriales*, 51 (1 y 2): 77-92. doi:DOI: 10.47864/SE(51)2021p77-92\_129
- Fabián Elizondo Arrieta, A. N., & Obando, D. S. (2020). Efecto de la cal en la estabilización de subrasantes. *Ingeniería*, 20 (1-2),93-108. Obtenido de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=44170524007>
- Hernández, E. H. O., Moncayo, E. H. O., Sánchez, L. K. M., & de Calderero, R. P. (2017). Behavior of clayey soil existing in the portoviejo canton and its neutralization characteristics (Vol. 2454). *Journal of College and University*.
- Lara, J. A. (2021). Propuesta de estabilización de suelos arcillosos para su aplicación en pavimentos rígidos. *Universidad del salvador*, 1-380. Obtenido de <https://ri.ues.edu.sv/id/eprint/14342/1/50108285.pdf>
- Leones, D. M., & Hernández, E. O. (2023). Propuesta de estabilización con cal y cemento para subrasante con presencia de suelos arcillosos ubicada en la vía tosagua-chone sector bachillero. *Dominio de las ciencias*, 9 (3)1918-1935. doi:<https://doi.org/10.23857/dc.v9i3.3534>
- Leones, D. M., & Hernández, E. O. (2023). Propuesta de estabilización con cal y cemento para subrasante con presencia de suelos arcillosos ubicada en la vía tosagua-chone sector bachillero. *Dominio de las ciencias*, 9 (3) 1918-1935. doi:<https://doi.org/10.23857/dc.v9i3.3534>
- Macías, D. A., & Ortiz, E. H. (2022). Estudio del carbonato de calcio como agente estabilizador de subrasante. *Polo de conocimiento*, 70 (7)302-2315. doi:DOI: 10.23857/pc.v7i6
- Marisvela Angulo Roldan, C. N. (2020). Estabilización de suelos arcillosos con cal para el mejoramiento de las propiedades físicas-mecánicas como capa de rodadura. *UCP U*, (1)1-166. Recuperado el 21 de 11 de 2023, de <http://repositorio.ucp.edu>.
- Mendoza, E. G., Guzmán, E. M., Ortega, L. A., & Calvillo, A. S. (2022). Cal química para la estabilización de suelos arcillosos. *Siacot*, (1)2-57. Obtenido de [https://www.researchgate.net/publication/359707159\\_Cal\\_quimica\\_para\\_la\\_estabilizacion\\_de\\_suelos\\_arcillosos\\_20\\_SIACOT\\_2022](https://www.researchgate.net/publication/359707159_Cal_quimica_para_la_estabilizacion_de_suelos_arcillosos_20_SIACOT_2022)
- Montesinos, S. F., & Alarcon, J. Y. (2019). Mejoramiento de suelos arcillosos en subrasante mediante el uso de cenizas volantes de cal en el tramo de la carretera TingoMaría - Monzón en la

Estabilización de suelos arcillosos con el empleo de cal

---

provincia de Leoncio Prado. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC, 8(2)1-67.  
doi:DOI. <http://dx.doi.org/http://doi.org/10.19083/tesis/653977>

Navarro, G. J., & Sandino, A. E. (2015). Estabilización de suelos cohesivos por medio de Cal en las Vías de la comunidad de San Isidro del Pegón, municipio Potosí- Rivas. Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua UNAN, 1-113. Recuperado el 21 de 01 de 2024, de <https://repositorio.unan.edu.ni/6456/1/51667.pdf>

Norma ASTM D2216-10. (s.f.). Determinación en laboratorio del contenido de agua (humedad) de suelos y rocas . <https://dokumen.tips/documents/astm-d2216-en-espanol.html>

Norma ASTM D4318-10. (s.f.). Los métodos estándar de ensayo para Límite Líquido, Límite de plástico, y el índice de plasticidad de los suelos1. <https://dokumen.tips/documents/astm-d2216-en-espanol.html>

Norma ASTM D698-12. (s.f.). Determinación del. límite líquido, límite plástico, y el índice de plasticidad. <https://dokumen.tips/documents/astm-d2216-en-espanol.html>

Ñañez, E. C., Lafitte, E. R., & Perez, S. M. (2021). Métodos de estabilización de suelos arcillosos para mejorar el CBR con fines de pavimentación: una revisión literaria. Sociedad Colombiana de la ciencia del suelo, 51 (1 y 2): 77-92. doi:DOI: 10.47864/SE(51)2021p77-92\_129

Ortiz-Hernández, E., Chunga, K., Toulkeridis, T., & Pastor, J. L. (2022). Soil liquefaction and other seismic-associated phenomena in the city of Chone during the 2016 Earthquake of Coastal Ecuador. *Applied Sciences*, 12(15), p. 7867.

Osorio, S. (2020). Consistencia del Suelo - Límites de Atterberg - Albert Mauritz Atterberg. Sitio web de geotecnia. Obtenido de <https://geotecnia-sor2.blogspot.com/p/blog-page.html>

Restrepo, A. L. (2022). Estabilización de suelos con cal como una alternativa viable para la construcción y rehabilitación de caminos rurales en Colombia. Universidad Nacional Habierte y a distancia UNAD, 1-136. Recuperado el 20 de 11 de 2023, de <https://repository.unad.edu.com>