

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
Escuela Profesional de Ingeniería Civil



**Evaluación de las condiciones geotécnicas de la subrasante
con cal y cemento del distrito de Paucarpata – Arequipa**

Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Civil

Autor:

Gustavo Romulo Calla Huampa

Asesor:

Mg. Edwin Parillo Escarsena

Juliaca, setiembre de 2024

DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD DE TESIS

Yo Mg. Edwin Parillo Escarsena, docente de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Civil, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que la presente investigación titulada: “**EVALUACIÓN DE LAS CONDICIONES GEOTÉCNICAS DE LA SUBRASANTE CON CAL Y CEMENTO DEL DISTRITO DE PAUCARPATA – AREQUIPA**” del autor Gustavo Romulo Calla Huampa, tiene un índice de similitud de 20% verificable en el informe del programa Turnitin, y fue realizada en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponde ante cualquier falsedad u omisión de los documentos como de la información aportada, firmo la presente declaración en la ciudad de Juliaca, a los 15 días del mes de octubre del año 2024.



Mg. Edwin Parillo Escarsena
Asesor

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS



En Puno, Juliaca, Villa Chullunquiani, a 18 día(s) del mes de septiembre del año 2024, siendo las 14:00 horas, se reunieron los miembros del jurado en la Universidad Peruana Unión Campus Juliaca, bajo la dirección del (de la) presidente(a):

Mtro. Leonel Chahueros Paucor el (la) secretario(a): Mg. Gerardo William

Pari Quipe y los demás miembros: Ing. Rina Luzmei

Yampora Eicono y el (la) asesor(a) Mg. Edwin

Parillo Escarsena con el propósito de administrar el acto académico de sustentación de la tesis titulado:

Evaluación de las condiciones geotécnicas de la subrasante con cal y cemento del distrito de Paucarpata - Arequipa.

del(los) bachiller(es): a) Gustavo Romulo Galla Huampana

b)

c)

conducente a la obtención del título profesional de:

Ingeniero Civil
(Deformación del Título Profesional)

El Presidente inició el acto académico de sustentación invitando al (a la) / a (los) (las) candidato(a)/s hacer uso del tiempo determinado para su exposición. Concluida la exposición, el Presidente invitó a los demás miembros del jurado a efectuar las preguntas, y aclaraciones pertinentes, las cuales fueron absueltas por al (a la) / a (los) (las) candidato(a)/s. Luego, se produjo un receso para las deliberaciones y la emisión del dictamen del jurado.

Posteriormente, el jurado procedió a dejar constancia escrita sobre la evaluación en la presente acta, con el dictamen siguiente:

Bachiller (a): Gustavo Romulo Galla Huampana

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
<u>Aprobado</u>	<u>16</u>	<u>B</u>	<u>Bueno</u>	<u>Muy Bueno</u>

Bachiller (b):

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	

Bachiller (c):

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	

(*) Ver parte posterior

Finalmente, el Presidente del jurado invitó al (a la) / a (los) (las) candidato(a)/s a ponerse de pie, para recibir la evaluación final y concluir el acto académico de sustentación procediéndose a registrar las firmas respectivas.

[Signature] Presidente/a
[Signature] Asesor/a
[Signature] Bachiller (a)
[Signature] Miembro
[Signature] Secretario/a
[Signature] Miembro
[Signature] Bachiller (b)

ÍNDICE

Resumen	5
Introducción.....	7
1. Materiales y métodos	11
1.1. Tipo y diseño de la investigación	11
1.2. Población y muestra.....	11
1.3. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	12
1.4. Técnicas e instrumentos para el análisis de datos.....	13
1.5. Procedimientos.....	14
2. Resultados y discusión	15
3.1. Presentación de datos de laboratorio obtenidos	15
Conclusiones.....	27
Referencias	29
Anexos.....	24

Evaluación de las condiciones geotécnicas de la subrasante con cal y cemento del distrito de Paucarpata - Arequipa

Gustavo Rómulo CALLA HUAMPA ORCID iD (0000-0002-7923-4963)¹

¹Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Peruana Unión, Juliaca, Perú

Gustavo Rómulo, Calla Huampa, gustavo.calla@upeu.edu.pe

Resumen

Una de las problemáticas que afectan a los suelos a nivel global es la existencia de deficiencias y baja calidad de sus propiedades, lo que motiva la búsqueda de materiales que actúen como aditivos que puedan mejorar sus propiedades. El objetivo de la presente investigación fue el de evaluar las condiciones geotécnicas de la adición de cal en proporciones de 2, 4 y 6% y la adición de cemento Portland Tipo I como estabilizador en proporciones de 2, 4 y 6% en la estabilización del terreno natural para su uso como subrasante en carreteras y definir cual ofrecerá las mejores condiciones geotécnicas para la aplicación en la subrasante en el Distrito de Paucarpata en Arequipa. Este estudio se enmarca en una investigación aplicada y con un diseño cuasiexperimental. El material estudiado se obtuvo de las muestras obtenidas de las calicatas realizadas en la vía interconectora en el distrito de Paucarpata - Arequipa, y se les sometió a ensayos de laboratorio siguiendo las normas ASTM. Los resultados mostraron que el cemento al añadirse en una proporción de cemento Portland Tipo I del 6%, mejora las propiedades físicas y elevando el valor de su CBR hasta un 112.6% superando a los resultados que ofrece la cal como agente estabilizante. Mostrando que con el cemento se obtiene una mayor resistencia que con la cal como estabilizador.

Palabras clave: Cal, cemento, Californian Bearing Ratio (CBR), subrasante, condiciones geotécnicas.

Evaluación de las condiciones geotécnicas de la subrasante con cal y cemento del distrito de Paucarpata – Arequipa

Abstract

One of the major issues affecting soils globally is the presence of deficiencies and low-quality properties, which drives the search for materials that can act as additives to improve their characteristics. The objective of this research was to evaluate the geotechnical conditions of lime addition in proportions of 2%, 4%, and 6%, and the addition of Type I Portland cement as a stabilizer in proportions of 2%, 4%, and 6% in the stabilization of natural soil for its use as subgrade in road construction. The goal was to determine which additive provides the best geotechnical conditions for subgrade application in the Paucarpata District in Arequipa. This study falls under applied research with a quasi-experimental design.

The material studied was obtained from samples collected through test pits performed on the interconnector road in the Paucarpata District - Arequipa, and subjected to laboratory tests following ASTM standards. The results showed that adding Type I Portland cement in a proportion of 6% significantly improves the physical properties, increasing the California Bearing Ratio (CBR) value by up to 112.6%, surpassing the results offered by lime as a stabilizing agent. This demonstrates that cement provides greater strength than lime when used as a stabilizer.

Keywords: Lime, cement, California Bearing Ratio (CBR), subgrade, geotechnical conditions

Introducción

El presente artículo estudio las condiciones geotécnicas de la subrasante en el distrito de Paucarpata - Arequipa, mediante el uso de cal y cemento, es crucial debido a la necesidad de optimizar los recursos locales y mejorar los suelos existentes. La vía interconectora del distrito de Paucarpata presenta suelos arcillosos que, sin tratamiento, no serían adecuados para la construcción de infraestructuras duraderas. Este estudio se justifica por la oportunidad de transformar estos suelos problemáticos en materiales de construcción viables, contribuyendo así a la sostenibilidad ambiental y a la reducción de costos en proyectos de infraestructura.

El presente estudio tiene como objetivo el de evaluar las condiciones geotécnicas en el distrito de Paucarpata - Arequipa, utilizando cal y cemento como estabilizadores. Para ello, se busca clasificar el tipo y las características del suelo usando los sistemas SUCS y AASHTO; medir los límites de Atterberg, la resistencia y otras propiedades geotécnicas antes y después del tratamiento con cal y cemento; comparar la efectividad de ambos estabilizadores en la mejora del suelo; y establecer las proporciones óptimas de cal y cemento necesarias para cumplir con los requisitos geotécnicos para su uso en la construcción de subrasantes

Una de las variadas soluciones a los problemas de la falta de suelo natural adecuado para la construcción y la sostenibilidad ambiental es mejorar y aprovechar los suelos existentes. Esta es una de las áreas de interés de la ingeniería geotécnica, que busca desarrollar y aplicar técnicas para reutilizar los suelos disponibles.(Aamir et al., 2019; Rosario Del Pilar Bustamante Sánchez et al., 2022; Wang et al., 2023)

Los suelos problemáticos han sido tradicionalmente descartados por las obras de construcción, que optaban por suelos de mejor calidad con menos dificultades técnicas

y, en consecuencia, menores costos de construcción.(Aholoukpè et al., 2023; Etim et al., 2022; Kumar et al., 2023)

Una forma de mejorar los parámetros de los suelos arcillosos es el tratamiento con cal. Este proceso varío las propiedades que poseen los suelos cohesivos de forma significativa. La estabilización con cal del suelo tiene como objetivo principal aumentar su resistencia, estabilidad y durabilidad, lo que lo hace la mejor opción para diversas aplicaciones de construcción. Los suelos arcillosos se pueden fortalecer y estabilizar principalmente utilizando una variedad de materiales aglutinantes, como cal, cemento, cenizas volantes, etc., que han sido ampliamente investigados.(Sendilvadivelu et al., 2023)

Una forma de remediar o mejorar el suelo inestable es mediante solidificación-estabilización a base de cemento, que se ha vuelto cada vez más relevante. Esta técnica se aplica principalmente a desechos inorgánicos, pero también se podría usar para contaminantes orgánicos si se conocen mejor los mecanismos que intervienen en el proceso. Por eso, es importante profundizar en el estudio de solidificación-estabilización a base de cemento y sus aplicaciones para la remediación de sitios.(Paria & Yuet, 2011)

El uso del Cemento como mejorador de suelos ha sido ampliamente investigado y validado por diversos especialistas, logrando incrementar la capacidad de carga y la resistencia al desgaste. Normalmente los suelos que son tratados con cemento adquieren propiedades que los mejoran para hacerlos aptos para la construcción.(Cáceres Basauri et al., 2023; Midely Peña Lopez et al., 2021; Syed et al., 2022)

Una forma de modificar las condiciones geotécnicas de los suelos que poseen mucha plasticidad y variación en su volumen, como los suelos que son arcillosos o

limosos, es aplicar cal sobre ellos. Estos suelos se estabilizan con la cal, que se une a sus partículas y modifica su estructura química. La cantidad de cal necesaria para lograr este efecto depende de cada suelo y se llama punto de retención o fijación de cal. Este punto nos demuestra que la estabilización del suelo con cal tiene una reacción positiva para el mismo. El uso de cal mejora el suelo para su uso como capa de subrasante al disminuir el espesor de las capas del pavimento. (Odar et al., 2019; Perri et al., 2023)

(Sundary et al., 2022) Presento un estudio sobre un suelo sedimentario dragado con cal y su posterior uso como material de construcción alternativo. El estudio empleó una metodología cuantitativa y experimental, aplicando ensayos de corte directo, propiedades físicas y mecánicas, y valor CBR. Los resultados mostraron que la cal mejoró la resistencia al corte, la compactación y la penetración del suelo, lo que indica que el suelo estabilizado con cal puede ser una opción sostenible para la construcción de carreteras y otras obras de ingeniería civil.

(Etim et al., 2022) mostro la efectividad del cemento, la cal y la ceniza de concha de ostra (OSA) como aditivos para estabilizar el suelo expansivo negro (EBC) y mejorar sus propiedades geotécnicas. El suelo y los aditivos se sometieron a ensayos de laboratorio para conocer sus características físicas y químicas, así como la capacidad de resistir del suelo mejorado. Los resultados mostraron que la incorporación de OSA, cal y cemento redujo el índice de plasticidad y mejoró la trabajabilidad del suelo, que la adición de OSA aumentó el IP y redujo la capacidad de absorción de agua del suelo, que la adición de cal y cemento mejoró significativamente el CBR y UCS del suelo, siendo el cemento más efectivo que la cal, y que la combinación de OSA y cal o cemento

puede estabilizar eficazmente el suelo expansivo negro para su uso en la construcción de pavimentos.

Y la investigación de (Hara & Shirabe, 2023) nos presentó los resultados de una investigación experimental sobre el comportamiento mecánico y la cinética de hidratación del suelo tratado con cemento sometido a diferentes condiciones de curado. El método que propuso se basa en el curado a alta temperatura para estimar la resistencia a largo plazo del suelo estabilizado con cemento en un breve lapso. Se hicieron pruebas de resistencia a la compresión simple en muestras de suelo cementado curadas a 20, 40 y 60 °C durante distintos intervalos de tiempo. Se aplicó la ley de Arrhenius para calcular el factor de aceleración inducido por la temperatura y estimar la resistencia equivalente a 28 días. Este método puede ser útil para optimizar el diseño de mezclas y acortar el tiempo de construcción en proyectos de mejora del suelo tratado con cemento. Además, se analizó el grado de hidratación del suelo tratado con cemento mediante termogravimetría y calorimetría isotérmica, y se evaluó la influencia de la temperatura y el tiempo en la reacción de hidratación. Los resultados pueden contribuir al conocimiento de los mecanismos que rigen el comportamiento del suelo tratado con cemento y a la selección adecuada de los materiales y los métodos constructivos.

La finalidad de esta investigación es evaluar qué material presenta un mejor comportamiento para la estabilización de los suelos mediante la incorporación de cemento y cal, y contrastar sus efectos. El objetivo de este trabajo es estudiar el comportamiento del suelo natural donde se extraerán el material y se realizara el ensayo de CBR para determinar las características del terreno, así como medir el efecto de la adición de 2, 4 y 6% de Cemento y Cal en el ensayo CBR para el material de la vía interconectora en el Distrito de Paucarpata-Arequipa.

Basándose en los datos analizados anteriormente, se formula la siguiente conjetura: Al agregar los porcentajes señalados de Cemento al suelo de ensayo, se optimizará su desempeño, aumentando las características físico-mecánicas en relación con las muestras con Cal.

El presente artículo servirá de base para futuras investigaciones de mejoramiento con estos materiales; así como para el desarrollo de algún estándar que describa las normas y los métodos que se aplican para integrar cemento y cal correctamente. en subrasante para suelos arcillosos, aportando al conocimiento sobre suelos.

2. Materiales y métodos

2.1. Tipo y diseño de la investigación

(José Luis Arias Gonzáles & Mitsuo Covinos Gallardo, 2021) Realizo un artículo de tipo aplicado está enfocado en resolver problemas prácticos que se basan en las conclusiones que se plantea en el objetivo, Considerando el objetivo y los problemas planteados el presente artículo se considera un tipo de investigación aplicada

El articulo tendrá un diseño cuasiexperimental, ya que se compararán las condiciones del material estabilizado con cal y estabilizado con cemento para la capa subrasante en el distrito de Paucarpata – Arequipa. Según (José Luis Arias Gonzáles & Mitsuo Covinos Gallardo, 2021) El diseño cuasiexperimental implica tener un elemento de control y comparación, permitiendo la manipulación y control de la variable independiente con el objetivo de encontrar el resultado óptimo.

2.2. Población y muestra

El estudio se centró en el material del terreno natural de la vía interconectora en el Distrito de Paucarpata que vendría a representar la población del estudio. Las

muestras analizadas fueron recolectadas de dos calicatas ubicadas en la vía interconectora del distrito de Paucarpata en Arequipa. Para el análisis de los suelos, se realizaron ensayos de CBR y se determinó la textura del suelo a partir de las muestras extraídas. Los resultados indicaron que el suelo presentaba una composición predominantemente arcillosa.

2.3. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Los métodos para la obtención de datos utilizados para el estudio son los procedimientos que se realizan en el lugar (In-Situ) y ensayos realizados en el laboratorio, donde se realizaron las actividades de investigación, lo que nos permitió observar la estructura y caracterizar el tipo de suelo, se obtuvieron las muestras alteradas y representativas para su posterior análisis en el laboratorio, para poder analizar y establecer sus condiciones geotécnicas y su capacidad de soporte en el laboratorio, se ha accedido al obtener la información requerida y cumplir con los objetivos propuestos. Para realizar el trabajo de campo se utilizaron bolsas, pala, pico y wincha como herramientas. Estos instrumentos permitieron recoger muestras y realizar mediciones en el terreno. En laboratorio, se empleó equipos para el análisis del material conforme a las normas técnicas peruanas, las normas ASTM y las especificaciones del (MTC, 2016a). Los ensayos se realizaron siguiendo las normas detalladas a continuación.

Tabla 1*Ensayos y normativas necesarias*

Ensayos	Normativa
Análisis Granulométrico	MTC E 107, ASTM D 422, NTP 339.128, 1999
Contenido de humedad	MTC E 108, ASTM D2216, NTP 339.127, 1998
Clasificación SUCS	ASTM 2487, NTP 339.134, MTC, 2016b
Límites de consistencia	MTC E 110., 2016; MTC E 111., 2016 , NTP 339.129
Ensayo Proctor Modificado	MTC E 115., 2016 , ASTM D 1557
CBR de suelos en Laboratorio	MTC E 132., 2016 , ASTM D 1883
Resistencia a la compresión de probetas de suelo-cemento	MTC E 1103, ASTM D 1633

2.4. Técnicas e instrumentos para el análisis de datos

En el proceso de recolección de datos, se utilizaron diversos programas para el procesamiento y se siguió un protocolo de seguridad tanto en la recolección de muestras como en los análisis realizados. Los datos fueron obtenidos mediante métodos y mediciones realizadas en el laboratorio, siguiendo el manual del MTC para el ensayo de materiales. Se adoptó un enfoque comparativo, analizando muestras de suelo mejorado con cal y su mejora con cemento Portland Tipo I, con el objetivo de mejorar el suelo arcilloso de la vía interconectora en el distrito de Paucarpata - Arequipa. Los

ensayos de laboratorio se analizaron utilizando formatos de datos específicos, incluyendo contenido de humedad, análisis granulométrico, límites de Atterberg, Proctor modificado, CBR y resistencia a la compresión de probetas de suelo-cemento, para determinar su viabilidad.

2.5. Procedimientos

El primer paso en el método de recolección de datos fue identificar y ubicar la muestra de material a usarse para el estudio, la cual se extrajo de las calicatas y se almacenó en bolsas de polietileno para preservar su humedad natural. Posteriormente, la muestra se transportó al laboratorio de mecánica de suelos ROCA Geoconst S.R.L., donde se realizaron las pruebas necesarias para el estudio.

El segundo paso fue el análisis de datos, que consistió en procesar la información obtenida de cada ensayo, determinando el contenido de humedad, límites de Atterberg y la granulometría, y clasificando el tipo de material según los procedimientos necesarios en laboratorio. También se procesaron los datos del ensayo Proctor modificado y del CBR para la muestra natural y para las muestras con adición de cemento Portland Tipo I y cal con proporciones de 2%, 4% y 6% respectivamente, y se almacenaron en una carpeta. Se realizó una comparación de los resultados, evaluando la categorización de suelos, los límites de consistencia, la máxima densidad seca y el CBR del material original y de las muestras tratadas con cal y cemento.

3. Resultados y discusión

3.1. Presentación de datos de laboratorio obtenidos

Análisis granulométrico

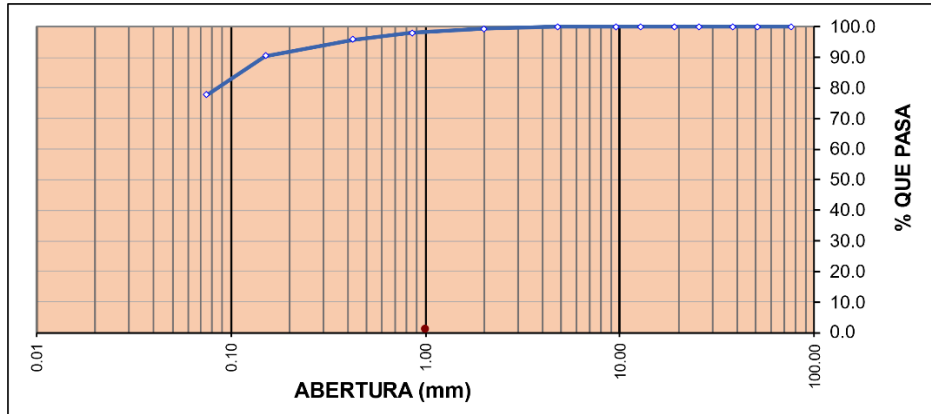
Tabla 2

Análisis granulométrico

N° Tamiz	Abertura (mm)	% que pasa
2"	50.00	100.00
1/4"	6.35	100.00
N 4	4.76	100.00
N 8	2.36	99.87
N 10	2.00	99.42
N 16	1.18	98.70
N 20	0.85	97.95
N 30	0.60	97.12
N 40	0.42	95.90
N 50	0.30	94.23
N 100	0.15	90.40
N 200	0.07	77.74

Figura 1.

Curva granulométrica de la muestra



La muestra fue analizada mediante el método de separación por tamices, cuyos resultados se presentan en la tabla 2 y la figura 1. Estos resultados ilustran la relación entre el porcentaje de material que pasa por cada tamiz y el tamaño de las partículas. El análisis granulométrico se realizó utilizando tamices con aberturas desde 2” hasta la malla N°200. El 77.74% de la muestra pasó a través de la malla N°200, lo que indica un suelo predominantemente compuesto de partículas finas.

Límites de consistencia o de Atterberg

Tabla 3

Límites de consistencia de la muestra natural

Límites de consistencia	
LL (Limite liquido)	36.32%
LP (Limite plástico)	23.10%
IP (Índice de plasticidad)	13.22%

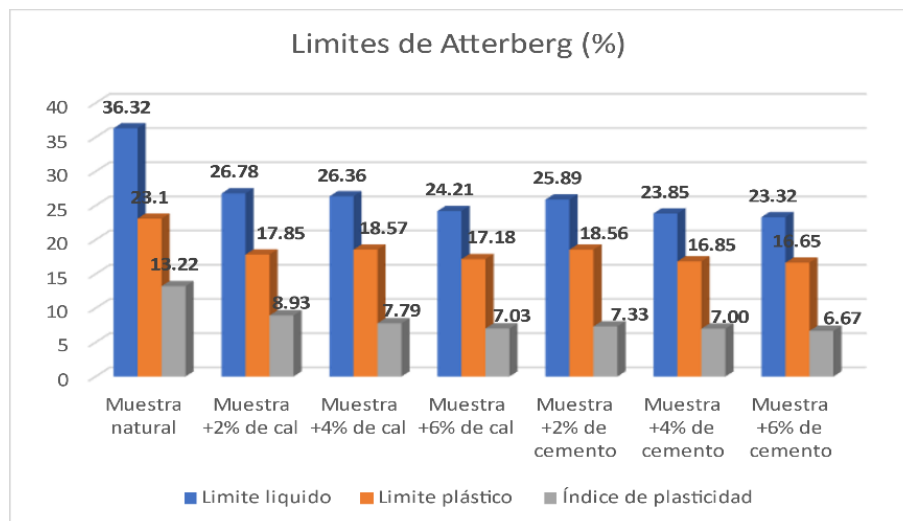
Tabla 4

Límites de consistencia de la muestra estabilizada con cal y cemento

Muestra	LL	LP	IP
Muestra +2% de cal	26.78	17.85	8.93
Muestra +4% de cal	26.36	18.57	7.79
Muestra +6% de cal	24.21	17.18	7.03
Muestra +2% de cemento	25.89	18.56	7.33
Muestra +4% de cemento	23.85	16.85	7.00
Muestra +6% de cemento	23.32	16.65	6.67

Figura 2

Representación gráfica de los límites de consistencia de la muestra estabilizada con cal y cemento



De acuerdo con la tabla 3, se realizaron ensayos de límites de Atterberg del material estudiado, obteniendo un límite líquido de 36.32%, un límite plástico de

23.10% y un índice de plasticidad de 13.22%. Estos resultados indican que el material posee una plasticidad que varía de baja a media y una textura arcillosa.

En la tabla 4 y la figura 2 nos muestran los resultados de los límites de Atterberg y podemos apreciar que el límite líquido disminuye al adicionarse la cal en más porcentaje y siendo el mismo caso con la adición de cemento a la muestra natural siendo este una disminución un poco mayor, en el caso del límite plástico tiene las mismas reacciones exceptuando el hecho de que las variaciones son menores al del límite líquido.

La incorporación de cal como agente estabilizante reduce significativamente el índice de plasticidad (IP), como se muestra en la figura 2 y la tabla 3, pasando de 13.22 del suelo natural a 8.93, 7.79 y 7.03 con el 2%, 4% y 6% de cal respectivamente. Al añadir cemento a las muestras de suelo natural también se reduce el IP, siendo la menor reducción con el 6% de cemento (6.67 de IP), seguida por el 4% de cemento (7.00 de IP) y el 2% de cemento (7.33 de IP).

Sistema de clasificación de suelos AASHTO

Tabla 5

Sistema de clasificación de suelos AASHTO

Clasificación	Suelos Granulares ($\leq 35\%$ pasa 0,08mm)						Suelos Finos ($> 35\%$ Bajo 0,08 mm)			
General	A-1		A-3	A-2			A-4	A-5	A-6	A-7
Sub-Grupo	A-1a	A-1b	A-2-4	A-2-5	A-2-6*	A-2-7*				A-7-5** A-7-6**

2 mm	≤ 50								
0.5 mm	≤ 30	≤ 50	≥ 51						
0.08 mm	≤ 15	≤ 25	≤ 10	≤ 35		≥ 36			
W _L			≤ 40	≥ 41	≤ 40	≥ 41	≤ 40	≥ 41	
IP			≤ 10	≤ 10	≥ 11	≥ 11	≥ 11	≤ 10	≥ 11
Descripción	Gravas y Arenas	Arena Fina	Gravas y Arenas Limosas Arcillas		Suelos Limosos		Suelos Arcillosos		
** A-7-5: IP ≤ (W _L - 30)					** A-7-6: IP > (W _L - 30)				
Si el suelo es NP IG = 0; Si IG < 0 IG = 0									

Fuente: (MTC, 2016a)

De acuerdo con el estudio de la distribución de tamaños de las partículas, el 77.74% de la muestra corresponde a partículas que atraviesan el tamiz N°200, con un valor de 36.32% para el límite líquido y de 13.22% para el índice de plasticidad. Así, según la tabla 5, la muestra posee una clasificación como material arcilloso del grupo A-6.

Sistema unificado de clasificación (SUCS)

Tabla 6

Sistema unificado de clasificación (SUCS)

División mayor		Grupos		Descripción
		Símbolos		
GRAVA	S	Mas de GRAVA	GRAVA	Gravas bien graduadas, mezclas de arena y grava poco o nada de finos.
		S	S	
		Mas de GRAVA	GRAVA	
		S	S	
		TIPIA	GW	

SUELOS DE PARTÍCULAS FINAS Más de la mitad del material es menor que el tamiz N° 200	ARENAS (Más de la mitad de la fracción gruesa es menor que el tamiz N°04)	GRAVA CON FINO	GP	Gravas mal graduadas o mezclas de gravas y arena. Poco o nada de finos.
			GM	Grava con finos, grava mal graduado muy limosas, mezclas de grava, arena y arcilla.
			GC	Gravas arcillosas, mezclas bien graduadas de grava, arena y arcilla. Excelente aglutinante
		ARENA LIMPIA (Poco o ningún fino)	SW	Arenas bien graduadas, arenas gravilosa, con poco o nada de finos.
			SP	Arenas mal graduadas, arenas gravilosa, con poco o nada de finos.
			ARENA CON FINOS (Cantidad apreciable de partículas finas)	SM
	SC	Mezcla bien graduada de arena y arcilla. Excelente aglutinante		
	LIMOS Y ARCILLAS Límite líquido menor de 50	LIMOS Y ARCILLAS Límite líquido mayor de 50	ML	Limos inorgánicos y arena muy fina, polvo de roca, arena fina ligeramente plásticos.
			CL	Arcillas inorgánicas de baja o media plasticidad, arcillas gravilosa, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas flojas.
			OL	Limos orgánicos y arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad.
MH			Limos inorgánicos, arena fina micáceo o diatomáceo o suelo limoso, suelo elástico.	
LIMOS Y ARCILLAS Límite líquido mayor de 50	LIMOS Y ARCILLAS Límite líquido mayor de 50	CH	Arcillas inorgánicas de alta plasticidad. Arcillas francas.	

		OH	Arcillas orgánicas de media o alta plasticidad.
SUELOS ALTAMENTE ORGÁNICOS		Pt	Turba (pect) y otros suelos altamente orgánicos.

Fuente: (MTC, 2016a)

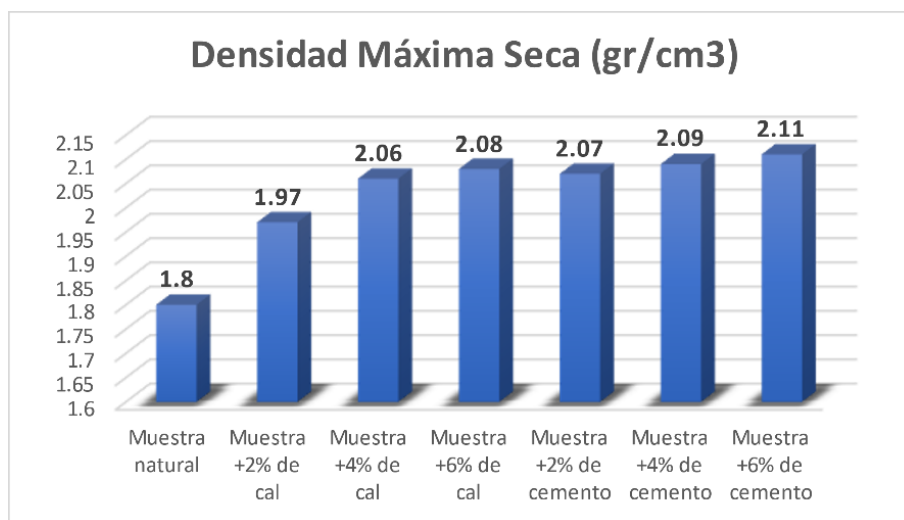
De acuerdo con la tabla 6 de SUCS para clasificar suelos, la muestra se clasifica como un suelo CL, que significa una arcilla con poca plasticidad. Esto se explica ya que un porcentaje mayor al 50% es de un material más fino que la malla N° 200 y su límite líquido es menor a 50%.

Proctor Modificado

Tabla 7

Datos de ensayo compactación de suelos utilizando una energía modificada (Proctor Modificado)

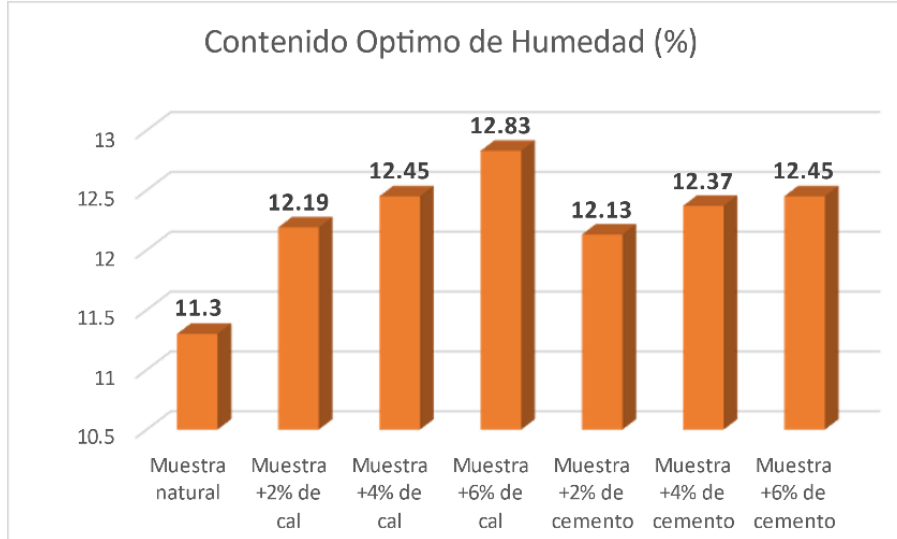
Muestra	Densidad Máxima Seca (DMS)(gr/cm ³)	Contenido Optimo de Humedad (OCH)(%)
Muestra natural	1.80	11.30
Muestra +2% de cal	1.97	12.19
Muestra +4% de cal	2.06	12.45
Muestra +6% de cal	2.08	12.83
Muestra +2% de cemento	2.07	12.13
Muestra +4% de cemento	2.09	12.37

Figura 3*Representación gráfica de la DMS*

La máxima densidad seca de la muestra natural, al agregar cal o cemento, se detalla en la tabla 7 y la figura 3. Estos registros reflejan el aumento de la máxima densidad seca, obtenido a partir del ensayo de Proctor Modificado, expresado en gramos por centímetro cúbico, lo cual es un indicador de la compactación del suelo. La muestra natural tiene una DMS de 1.80 g/cm³, que se eleva a 1.97 g/cm³ con el 2% de cal, a 2.06 g/cm³ con el 4% de cal y a 2.08 g/cm³ con el 6% de cal. Con el cemento se obtienen valores similares siendo de 2.07 g/cm³ con el 2% de cemento, 2.09 g/cm³ con el 4% de cemento y 2.11 g/cm³ con el 6% de cemento.

Figura 4

Representación gráfica OCH



La tabla 7 y la figura 4 muestran el Optimo Contenido de Humedad (OCH)(%), que especifica la cantidad de humedad que será necesario para compactar el suelo de forma óptima. Se observa que la muestra natural tiene un OCH de 11.30%, que aumenta al agregar cal o cemento en proporciones de 2%, 4% y 6% del peso seco del suelo. El OCH alcanza los valores de 12.19%, 12.45% y 12.83% al adicionar 2%, 4% y 6% de cal, respectivamente. Por otro lado, el OCH varía menos al usar cemento como estabilizante, con valores de 12.13%, 12.37% y 12.45% al agregar 2%, 4% y 6% de cemento, respectivamente. Estos resultados sugieren que la cal tiene un mayor efecto que el cemento en la modificación del Contenido Optimo de Humedad del suelo estudiado

CBR (California Bearing Ratio)

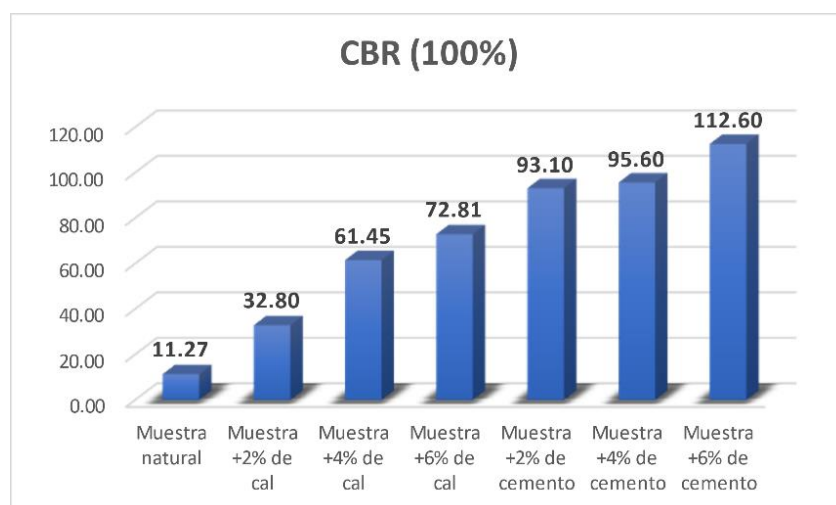
Tabla 8

Resultado de ensayo CBR al 100% de DMS

Muestra	CBR (100%)
Muestra natural	11.27
Muestra +2% de cal	32.80
Muestra +4% de cal	61.45
Muestra +6% de cal	72.81
Muestra +2% de cemento	93.10
Muestra +4% de cemento	95.60
Muestra +6% de cemento	112.60

Figura 5

Representación gráfica del ensayo de CBR al 100% de DMS



El ensayo de California Bearing Ratio (CBR) se utilizó para determinar el valor de soporte del suelo a partir de las muestras analizadas. Los resultados se presentan en la tabla 8 y la figura 5, donde se observa que el CBR de la muestra natural posee un 11.27%. Al añadir cal al material natural, el valor de CBR aumenta conforme a la proporción de cal: con 2% de cal, el CBR alcanza 32.80%; con 4% de cal, llega a 61.45%; y con 6% de cal, alcanza 73.81%. Por otro lado, al incorporar cemento a la muestra natural, el CBR se incrementa significativamente más: con 2% de cemento, el CBR es de 93.10%; con 4% de cemento, alcanza 95.60%; y con 6% de cemento, llega a 112.60%.

El presente artículo nos ha permitido conocer los siguientes puntos: La investigación nos ha permitido identificar el tipo de suelos y sus características geotécnicas de la muestra obtenida del distrito de Paucarpata-Arequipa. Evaluar cómo cambian las características físico - mecánicas del suelo al usarlo como material para subrasante con diferentes porcentajes de cal (2%,4% y 6%) y de cemento (2%,4% y 6%). Y finalmente comparar las propiedades del material con cal y cemento para su uso como capa de subrasante y así establecer cuál es el material óptimo para la estabilización del suelo y la mejora de la infraestructura vial.

Resistencia a compresión simple para suelo – cemento.

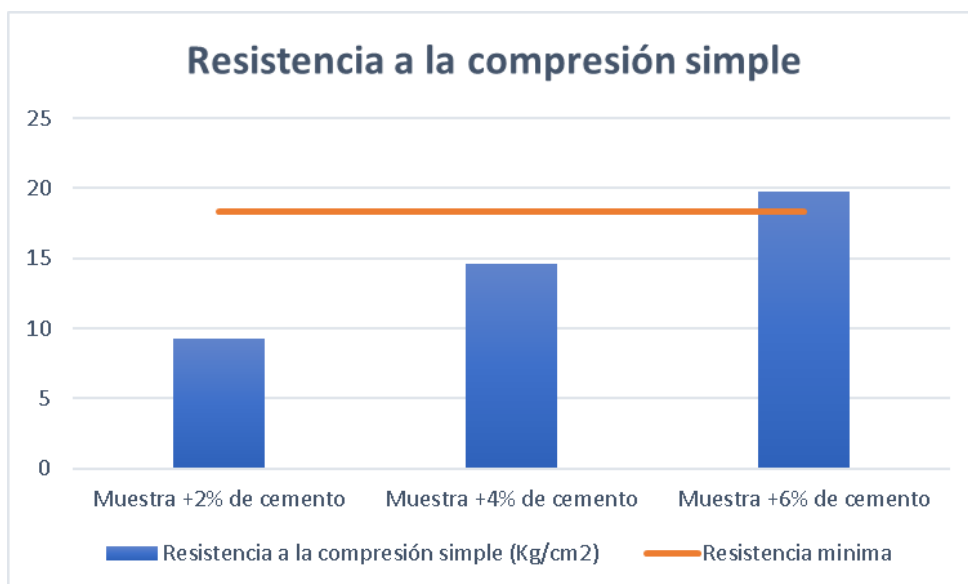
Tabla 9

Resultados obtenidos del ensayo resistencia a la compresión de muestras de suelo-cemento

Muestra	Resistencia a la compresión suelo - cemento (Kg/cm ²)	Resistencia a la compresión suelo - cemento (Mpa)
Muestra +2% de cemento	9.25	0.907
Muestra +4% de cemento	14.63	1.435
Muestra +6% de cemento	19.74	1.936

Figura 6

Resistencia a la compresión simple



A continuación, se observan los resultados obtenidos del ensayo de compresión simple suelo - cemento realizado a la muestra estabilizada con cemento. Los datos

indican que, con una dosificación del 2% y 4% de cemento, la resistencia obtenida no alcanza los 1.8 MPa (18.36 kg/cm²) luego de los 7 días de curado, que es la resistencia mínima requerida en la normativa EG 2012, y siguiendo un diseño de mezcla de acuerdo con el método de la Portland Cement Association (PCA) para el diseño de estabilización con cemento. Además, se observó que con una dosificación del 6% de cemento, la resistencia del material sí cumple con los requisitos establecidos en la EG-2013, logrando así los valores necesarios para asegurar la estabilidad y durabilidad del material estabilizado

Conclusiones

Este estudio categorizó y clasificó el terreno según el sistema SUCS y encontró un suelo tipo CL (arcilla con poca plasticidad) y, de acuerdo con el sistema de clasificación AASHTO, un suelo tipo A-6 (suelo arcilloso). Los resultados de los ensayos de límites de Atterberg mostraron que el suelo tiene un límite líquido de 36.32%, un límite plástico de 23.10% y un índice de plasticidad de 13.22%. Estas propiedades reflejan que el suelo es de plasticidad media-baja y se clasifica como arcilloso, siendo potencialmente vulnerable para una carretera.

El índice de soporte del suelo mejora significativamente al añadir cal a las muestras de terreno natural. Los resultados indican que el CBR alcanza 32.80% con el 2% de cal, 61.45% con el 4% de cal y 73.81% con el 6% de cal, demostrando que un suelo estabilizado con cal mejora significativamente el valor de soporte C.B.R. del suelo estudiado, lo que indica que el mismo puede ser utilizado como material para subrasante en el distrito de Paucarpata.

Asimismo, se observó un aumento del valor del CBR al añadir cemento a las muestras de suelo natural. Con un 2% de cemento, el CBR es de 93.10%, con un 4% es de 95.60% y con un 6% es de 112.6%. Estos resultados demuestran que el suelo natural experimenta una mejora exponencial de su resistencia con la adición de cemento, siendo más que suficiente con un 2% de cemento para tener una mejora superior a una estabilización con cal en el suelo estudiado, esto demuestra cuan superior es el cemento a comparación de la cal como estabilizador para suelos con muchos finos.

Según el estudio realizado en el suelo estabilizado con cal y cemento del distrito de Paucarpata - Arequipa, se concluye que el cemento es el aditivo que mejora más significativamente las cualidades físicas y de soporte del suelo natural. La adición del 2% de cemento a la muestra natural resulta en una mejora superior en comparación con la cal, pero este no cumple en la resistencia mínima requerida para su uso según la norma EG 2013 que establece un mínimo de 1.8 Mpa, por otro lado, la estabilización con 6 % de cemento cumple los requerimientos mínimos para su uso como material de subrasante, siendo esta proporción suficiente para asegurar que el suelo sea adecuado para su uso en la construcción de carreteras.

Referencias

- Aamir, M., Mahmood, Z., Nisar, A., Farid, A., Khan, T. A., Abbas, M., Ismaeel, M., Shah, S. A. R., & Waseem, M. (2019). Performance evaluation of sustainable soil stabilization process using waste materials. *Processes*, 7(6). <https://doi.org/10.3390/PR7060378>
- Aholoukpè, K. Y. D.-G., Kanali, C., Gariy, A., & Danso, H. (2023). Mechanical Performance of Laterite Soil Stabilized with Cement and Grewia Bicolour Bark Juice for Road Base Construction. *International Journal of Engineering Trends and Technology*, 71(2), 137–142. <https://doi.org/10.14445/22315381/IJETT-V71I2P217>
- Cáceres Basauri, C. E., Chávez Velásquez, V. A., Romero Cueva, Y. J., Martínez Zapana, C. A., Huaricallo, V. Y., & Sarabia Orihuela, C. A. (2023). Comparative analysis between the use of Sodium Chloride and Portland Cement in the stabilization of clay soils on the road linking the areas of the populated centers of Miraflores and Shultin, Baños del Inca district, city of Cajamarca. *Proceedings of the LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education and Technology, 2023-July*. <https://doi.org/10.18687/laccei2023.1.1.335>
- Etim, R. K., Attah, I. C., Ekpo, D. U., & Usanga, I. N. (2022). Evaluation on Stabilization Role of Lime and Cement in Expansive Black Clay–Oyster Shell Ash Composite. *Transportation Infrastructure Geotechnology*, 9(6), 729–763. <https://doi.org/10.1007/s40515-021-00196-1>

- Hara, H., & Shirabe, Y. (2023). Strength estimation method for arbitrary age of cement-treated soil based on high-temperature curing history. *Soils and Foundations*, 63(2). <https://doi.org/10.1016/j.sandf.2023.101295>
- José Luis Arias Gonzáles, & Mitsuo Covinos Gallardo. (2021). *DISEÑO Y METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN* (ENFOQUES CONSULTING EIRL, Ed.; Primera edición).
- Kumar, M. H., Christy, C. F., & Chauhan, M. S. (2023). Stabilization of Pavement Sub Grade with Stone Dust, Fly Ash and Tire Rubber to Withstand the Fatigue and Rutting. *Civil Engineering and Architecture*, 11(2), 903–911. <https://doi.org/10.13189/cea.2023.110227>
- Midely Peña Lopez, Naysha Sifuentes Alvare, & German Sagastegui Vásquez. (2021). Estabilización de la subrasante empleando cemento Viaforte y Residuos Calcáreos de Concha de Abanico del Sector Bella Mar – Huanchaquito Bajo, 2021. *20th LACCEI International Multi-Conference For Engineering, Education, And Technology: , 1*. <https://doi.org/10.18687/LACCEI2022.1.1.283>
- MTC. (2016a). *MANUAL DE ENSAYO DE MATERIALES* . https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/Manual%20Ensayo%20de%20Materiales.pdf
- MTC. (2016b). *Sistema de clasificación de los suelos - anexo N° 1*. (pp. 1159–1161).
- MTC E 110. (2016). *Determinación del limite liquido de los suelos (L.L.)* (pp. 67–71).

- MTC E 111. (2016). *Determinación del límite plástico (L.P.) de los suelos e índice de plasticidad (I.P.)* (pp. 72–74).
- MTC E 115. (2016). *Compactación de suelos en laboratorio utilizando una energía modificada (Proctor Modificado)*. (1 ed., pp. 105–118).
- MTC E 132. (2016). *CBR de suelos (laboratorio)* (1 ed., pp. 248–256).
- NTP 339.127. (1998). *SUELOS. Método de ensayo para determinar el contenido de humedad de un suelo* (1 Edición ed).
- NTP 339.128. (1999). *SUELOS. Método de ensayo para el análisis granulométrico* ((1 ed.)). www.udocz.com
- Odar, G., Chavez, D., & Silvera, M. (2019). Stabilization method with lime in subgrades for rigid pavements designed by AASHTO 93 in road projects with the presence of bofedales. *Proceedings of the LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education and Technology, 2019-July*.
<https://doi.org/10.18687/LACCEI2019.1.1.60>
- Paria, S., & Yuet, P. K. (2011). Solidification–stabilization of organic and inorganic contaminants using portland cement: a literature review.
https://doi.org/10.1139/A06-004, 14(4), 217–255.
<https://doi.org/10.1139/A06-004>
- Perri, G., De Rose, M., Domitrović, J., & Vaiana, R. (2023). CO2 Impact Analysis for Road Embankment Construction: Comparison of Lignin and Lime Soil Stabilization Treatments. *Sustainability (Switzerland)*, 15(3).
<https://doi.org/10.3390/su15031912>
- Rosario Del Pilar Bustamante Sánchez, izbeth, & Milagros Merma Gallardo. (2022). Estabilización de Suelos Arcillosos Aplicando PET al 2%, 4% y 6%

en Caminos No Asfaltados. *Education, Research and Leadership in Post-Pandemic Engineering: Resilient, Inclusive and Sustainable Action*.

<https://doi.org/10.18687/LACCEI2022.1.1.45>

Sendilvadelu, A., Dhandapani, B., & Vijayasimhan, S. (2023). Strength, mineralogical and microstructural studies on clayey soil stabilized by bio-stabilized waste ash with lime. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 25(6), 3625–3637. <https://doi.org/10.1007/S10163-023-01782-W/METRICS>

Sunday, D., Munirwan, R. P., Al-Huda, N., Munirwansyah, Sungkar, M., & Jaya, R. P. (2022). Shear strength performance of dredged sediment soil stabilized with lime. *Physics and Chemistry of the Earth*, 128. <https://doi.org/10.1016/J.PCE.2022.103299>

Syed, M., GuhaRay, A., & Garg, A. (2022). Performance Evaluation of Lime, Cement and Alkali-Activated Binder in Fiber-Reinforced Expansive Subgrade Soil: A Comparative Study. *Journal of Testing and Evaluation*, 50(6), 3054–3077. <https://doi.org/10.1520/JTE20210054>

Wang, S., Zhang, X., Zhang, P., & Chen, Z. (2023). Strength Performance and Stabilization Mechanism of Fine Sandy Soils Stabilized with Cement and Metakaolin. *Sustainability (Switzerland)*, 15(4). <https://doi.org/10.3390/su15043431>

ANEXOS

ANEXO 1: Evidencia de sumisión en una revista “The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering”

Submission Acknowledgement

noreply-journals@rtu.lv <noreply-journals@rtu.lv>

Mié 19/06/2024 12:02

Para: gustavo.calla <gustavo.calla@upeu.edu.pe>

Dear gustavo romulo calla huampa,

Thank you for submitting the manuscript #749, "Evaluación de las Condiciones Geotécnicas de la Subrasante con Cal y Cemento en el Distrito de Paucarpata – Arequipa", to The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering. A member of our editorial team will see it soon. You will be sent an email when an initial decision is made, and we may contact you for further information.

You can view your submission and track its progress through the editorial process at the following location:

Submission URL: <https://bjrbe-journals.rtu.lv/bjrbe/authorDashboard/submission/749>

If you have been logged out, you can login again with the username `gustavo_calla`.

If you have any questions, please contact me from your [submission dashboard](#).

Thank you for considering international peer-reviewed journal "The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering" as a venue for your work.

Editor-in-Chief Prof. Dr Ainars Paeglitis
The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering
bjrbe@rtu.lv

International peer-reviewed journal

[%7B\$journalUrl%7D]The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering

ANEXO 2: COPIA DE RESOLUCIÓN DE INSCRIPCIÓN DEL PERFIL DE PROYECTO DE TESIS



“AÑO DE LA UNIDAD, LA PAZ Y EL DESARROLLO”

RESOLUCIÓN N° 0363-2023/UPeU-FIA-CF-T

Lima, Ñaña 11 de julio de 2023

VISTO:

El expediente de **Gustavo Romulo Calla Huampa**, identificado(a) con Código Universitario N° 201810458, de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión;

CONSIDERANDO:

Que la Universidad Peruana Unión tiene autonomía académica, administrativa y normativa, dentro del ámbito establecido por la Ley Universitaria N° 30220 y el Estatuto de la Universidad;

Que la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión, mediante sus reglamentos académicos y administrativos, ha establecido las formas y procedimientos para la aprobación e inscripción del perfil de proyecto de tesis en formato artículo y la designación o nombramiento del asesor para la obtención del título profesional;

Que **Gustavo Romulo Calla Huampa**, ha solicitado: la inscripción del perfil de proyecto de tesis titulado "Evaluación de las Condiciones Geotécnicas de la Subbase con Cal y Cemento del Distrito de Paucarpata - Arequipa" y la designación del Asesor, encargado de orientar y asesorar la ejecución del perfil de proyecto de tesis en formato artículo;

Estando a lo acordado en la sesión del Consejo de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión, celebrada el 11 de julio de 2023, y en aplicación del Estatuto y el Reglamento General de Investigación de la Universidad;

SE RESUELVE:


Aprobar el perfil de proyecto de tesis en formato artículo titulado "**Evaluación de las Condiciones Geotécnicas de la Subbase con Cal y Cemento del Distrito de Paucarpata - Arequipa**" y disponer su inscripción en el registro correspondiente, designar como asesor a **Mg. Edwin Parillo Escarsena** para que oriente y asesore la ejecución del perfil de proyecto de tesis en formato artículo el cual fue dictaminado por: **Ing. Rina Luzmeri Yampara Ticona** y **Mg. Gerardo William Pari Quispe**, otorgándoles un plazo máximo de doce (12) meses para la ejecución.

Regístrese, comuníquese y archívese.




Dra. Erika Inés Acuña Salinas
DECANA




Mg. Ketty Magaly Arellano Lino
SECRETARIA ACADÉMICA

cc:
-Interesado
-Asesor
-Dirección General de Investigación
-Archivo

ANEXO 3: Instrumentos de recolección de datos

INFORME DE ENSAYO

Proyecto

Fecha de recepción

Fecha de realización

ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO (NORMA MTC E 107 - ASTM D 422)

Referencias de la muestra

Muestra	Presentación
Descripción	Cantidad
Uso	Procedencia

Tamices ASTM	Abertura mm	Peso retenido	% retenido parcial	% retenido acumulado	% que pasa	Especificaciones
3"	76.200					
2"	50.800					
1 1/2"	38.100					
1"	25.400					
3/4"	19.050					
1/2"	12.700					
3/8"	9.525					
1/4"	6.350					
No.04	4.750					
No.08	2.360					
No.10	2.000					
No.16	1.180					
No.20	0.850					
No.30	0.600					
No.40	0.425					
No.50	0.300					
No.80	0.180					
No.100	0.150					
No.200	0.075					
<No.200						

Descripción de la muestra	
Peso Inicial	:
Límites de consistencia	
Limite liquido	:
Limite plástico	:
Índice de plasticidad	:
Clasificación	
SUCS (ASTM-D-2487)	:
AASHTO (ASTM D-3282)	:
Propiedades	
>2"	: %
Grava	: %
Arena	: %
Finos	: %

CURVA GRANULOMETRICA

INFORME DE ENSAYO

Proyecto

Fecha de recepción

Fecha de realización

ENSAYO DE LIMITES DE ATTERBERG

Referencias de la muestra

Muestra	Presentación
Descripción	Cantidad
Uso	Procedencia

DETERMINACIÓN DEL LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS (MTC E - 110 / ASTM D -4318)

PRUEBA N°	1	2	3		
N° de tarro					
N° de Golpes (N)					
1. Tarro +Suelo húmedo (g)					
2. Tarro +Suelo seco (g)					
3. Peso del tarro (g)					
4. Peso del agua (1)-(2) (g)					
5. Suelo seco (2)-(3) (g)					
6. Humedad $\{(4)/(5)\} * 100$ (%)					

DETERMINACION DEL LIMITE PLASTICO (L.P.) DE LOS SUELOS E INDICE DE PLASTICIDAD (I.P.) (MTC E - 111 / ASTM D-4318)

N° de tarro					
1. Tarro +Suelo húmedo (g)					
2. Tarro +Suelo seco (g)					
3. Peso del tarro (g)					
4. Peso del agua (1)-(2) (g)					
5. Suelo seco (2)-(3) (g)					
6. Humedad $\{(4)/(5)\} * 100$ (%)					

L.L.=

L.P.=

I.P.=

INFORME DE ENSAYO

Proyecto

Fecha de recepción

Fecha de realización

ENSAYO PROCTOR MODIFICADO (NORMA MTC E 115 - ASTM - 1557)

Referencias de la muestra

Muestra	Presentación
Descripción	Cantidad
Uso	Procedencia

Método de compactación	Numero de golpes	Numero de capas
AASHTO T 180-"C"	56	5

CALCULO DE DENSIDAD HUMEDA

1. Peso suelos húmedo + molde	gr				
2. Peso del molde	gr				
3. Volumen del molde	cc				
4. Peso del suelo (1)-(2)	gr				
5. Densidad del suelo húmedo (4)/(3)	gr/ cc				

CALCULO DE CONTENIDO DE HUMEDAD

6. Capsula N°					
7. Peso del suelo húmedo + capsula	gr				
8. Peso del suelo seco + capsula	gr				
9. Peso de la capsula	gr				
10. Peso del agua (7)-(8)	gr				
11. Peso del suelo seco (8)-(9)	gr				
12. Contenido de humedad $\{(10)/(11)\} * 100$	%				
13. Promedio de humedad	%				

CALCULO DE DENSIDAD SECA

13. Densidad seca del suelo (5)/{1+(13)}	gr/ cc				
<i>Densidad máxima</i>	gr/ cc			<i>Humedad Optima</i>	

CURVA MAXIMA DENSIDAD SECA

INFORME DE ENSAYO

Proyecto

Fecha de recepción

Fecha de realización

ENSAYO C.B.R. (NORMA MTC E 132 - ASTM - D-1883)

Referencias de la muestra

Muestra
Descripción
Uso

Presentación
Cantidad
Procedencia

CALCULO DE DENSIDAD SECA

Condición de la Muestra		Opti. Humedad	Saturado	Opti. Humedad	Saturado	Opti. Humedad	Saturado
1. Peso suelos húmedo + molde	grs.						
2. Peso del molde	grs.						
3. Peso del suelo húmedo	grs.						
4. Volumen del suelo	c.c.						
5. Densidad del suelo húmedo	gr/cc						
6. % de Humedad	%						
7. Densidad seca	gr/cc						

CALCULO DE % DE HUMEDAD

8. Capsula N°						
9. Peso del suelo húmedo + capsula	gr					
10. Peso del suelo seco + capsula	gr					
11. Peso de la capsula	gr					

12. Peso del agua (7)-(8)	gr					
13. Peso del suelo seco (8)-(9)	gr					
14. Contenido de humedad	%					
15. Promedio de humedad	%					

% DE EXPANSION 0.10

Fecha	Hora	Tiempo	Dial	Expansión		Dial	Expansión		Dial	Expansión	
				mm	%		mm	%		mm	%
		0.00 Hrs									
		24.00 Hrs									
		48.00 Hrs									
		72.00 Hrs									
		96.00 Hrs									

PENETRACIÓN

Penetración			Carga Patrón	Dial	Carga corregida		CBR	Dial	Carga corregida		CBR	Dial	Carga corregida		CBR
mm.	Pulg.	Tiempo			Kg	K/cm ²			Kg	K/cm ²			Kg	K/cm ²	
0.00	0.000	0													
0.63	0.025	30"													
1.27	0.050	1'													
1.90	0.075	1' 30"													
2.54	0.100	2'	70.31												
3.17	0.125	2' 30"													
3.81	0.150	3'													
5.08	0.200	4'	105.46												
7.62	0.300	6'													
10.16	0.400	8'													
12.70	0.500	10'													