

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



Una Institución Adventista

**Estabilización de suelo arcilloso con cal para sub rasante
tramo Km 03+000 al Km 04+000 de la vía Juliaca-Canchi Grande
del distrito de Caracoto, provincia de San Román,
departamento de Puno**

Trabajo de Investigación para obtener el Grado Académico de
Bachiller en Ingeniería Civil

Autor:

Bradyan Sergio Ramos Mamani

Asesor:

Rina Luzmeri Yampara Ticona

Juliaca, diciembre de 2020

DECLARACIÓN JURADA DE AUTORÍA DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

Rina Luzmeri Yampara Ticona, de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Civil, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que la presente investigación titulada: **"ESTABILIZACIÓN DE SUELO ARCILLOSO CON CAL PARA SUB RASANTE TRAMO KM 03+000 AL KM 04+000 DE LA VÍA JULIACA - CANCHI GRANDE DEL DISTRITO DE CARACOTO, PROVINCIA DE SAN ROMÁN, DEPARTAMENTO DE PUNO"** constituye la memoria que presenta el estudiante Bradyan Sergio Ramos Mamani para obtener el Grado Académico de Bachiller en Ingeniería Civil cuyo trabajo de investigación ha sido realizado en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

Las opiniones y declaraciones en este informe son de entera responsabilidad del autor, sin comprometer a la institución.

Y estando de acuerdo, firmo la presente declaración en la ciudad de Juliaca a los 23 días del mes de diciembre del año 2020.



Rina Luzmeri Yampara Ticona



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

En Puno, Juliaca, Villa Chullunquiani, a 23 día(s) del mes de diciembre del año 2020 siendo las... horas,

se reunieron los miembros del jurado en la Universidad Peruana Unión campus Juliaca, bajo la dirección del (de la)

presidente(a): Ing. Herson Duberly Pani Buzi, el(la)

secretario(a): Mg. Efraim Velasquez Mamani y los demás miembros:

Ing. Ruben Fitzgerald Sosa Aguirre

y el(la) asesor(a) Ing. Rina Luzmeri Yampara Ticora

con el propósito de administrar el acto académico de sustentación del trabajo de

investigación titulado: "Estabilización de suelo arcilloso con cal para sub

rasante tramo Km 03+000 al Km 04+000 de la vía

Juliaca - Banche Grande del distrito de Barasoto. Provincia de

San Román, departamento de Puno"

de los (las) egresados (as): a) Bradyan Sergio Ramos Mamani

b)

conducente a la obtención del grado académico de Bachiller en

Ingeniería Civil

(Denominación del Grado Académico de Bachiller)

El Presidente inició el acto académico de sustentación invitando el 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 el 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:

Candidato/a (a): Bradyan Sergio Ramos Mamani

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
Aprobado	15	B-	Bueno	Muy Bueno

Candidato/a (b):

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	

(*) Ver parte posterior

Finalmente, el Presidente del jurado invitó el 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.

Presidente/a

Edelky 3
Secretario/a

Asesor/a

Miembro

Miembro

Candidato/a (a)

Candidato/a (b)

Bradyan Sergio Ramos Mamani ¹

^a EP. Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Peruana Unión

Resumen

Los suelos arcillosos para una sub rasante presenta problemas por una elevada plasticidad, capacidad de soporte CBR muy baja y cambio en contacto con la humedad. Por ello en esta investigación el objetivo es determinar el porcentaje óptimo de cal que asegure un aumento en la capacidad de soporte CBR.. La metodología consiste en comparar la muestra de suelo natural con proporciones de 3%, 5% y 7% de material estabilizante aplicado en estado seco. Para medir las variables los ensayos realizados fueron proctor modificado y capacidad de soporte CBR según la Norma MTC.2014 (ensayo de laboratorio). Entre los principales resultados se obtuvo una variación considerable de la capacidad de soporte donde se logró alcanzar un CBR de 13.01% al adicionarle 5% de cal siendo el suelo CL y su CBR en estado natural 4.40%, llevando a aumentar la resistencia en un 295.68%. Lo cual según la tabla 1 (Categorías de subrasante MTC, (MTC-SP 2014, p. 35), lleva al suelo de una sub rasante insuficiente a una sub rasante buena.

Palabras clave: Estabilización, Sub rasante, Suelo, Cal, CBR

Abstract

Clay soils for a subgrade present problems due to high plasticity, very low CBR bearing capacity and change in contact with moisture. Therefore, in this research, the objective is to determine the optimal percentage of lime that ensures an increase in the CBR bearing capacity. The methodology consists of comparing the natural soil sample with proportions of 3%, 5% and 7% of stabilizing material. applied in dry state. To measure the variables, the tests carried out were modified proctor and CBR support capacity according to the MTC.2014 Standard (laboratory test). Among the main results, a considerable variation of the bearing capacity was obtained, where it was possible to reach a CBR of 13.01% by adding 5% of lime, the soil being CL and its CBR in natural state 4.40%, leading to an increase in resistance by 295.68 %. Which according to table 1 (MTC subgrade categories, (MTC-SP 2014, p. 35), leads the ground from an insufficient subgrade to a good subgrade.

Keywords: Stabilization, Subgrade, Ground, Lime, CBR

¹ Autor de correspondencia Tel.: +051 932521327
E-mail: sergioramosm.89@gmail.com

1 Introducción

Un suelo arcilloso debido a su alta plasticidad y baja resistencia crea problemas significativos en la estructura del pavimento, por este motivo desde hace muchos años se ha tratado de realizar el mejoramiento de estos suelos utilizando varias técnicas de estabilización con diferentes materiales cementantes, ya que el funcionamiento de cualquier proyecto de construcción el suelo influye en toda la estructura (Robinson Jara Anyaypoma, 2014). Por ello resulta importante conocer si las propiedades son las apropiadas para el tipo de estructura, de no ser así se recurre a mejorar el suelo denominado estabilización de suelos (Robinson Jara Anyaypoma, 2014)

En Costa Rica (Arrieta et al 2010) al estabilizar suelo con cal con porcentajes de 2%, 4%, 6%, 8% se compara los resultados de los cuatro porcentajes utilizados y se determinó que se encuentran por encima de la resistencia a la compresión mínima (1725 KPa) solicitada a utilizar como sub base o material selecto en pavimentos flexibles, inclusive se halló que los resultados están por encima de los 3103 KPa hasta los 3790 KPa aproximadamente, entonces la dosificación de cal se puede reducir y aun así cumplirán con los requisitos de resistencia, sin embargo su resistencia no cumple para ser utilizados como base.

La estabilización con cal en el Perú de suelos arcillosos esta principalmente centrado en la selva amazónica, ya que presenta una gran variedad de suelos arcillosos y una humedad muy alta. En el tercer congreso internacional realizado en Sao Pablo, Brasil, de infraestructura de transportes (CONINFRA 2009) se presentó el mejoramiento de una subrasante que contenía un suelo arcilloso con adición de cal, donde se dio a conocer los siguientes resultados:

Figura 1

Resultados de la adición de cal presentados en el congreso

% CAL	PASA N° 200	L.L.	IP	CLASIFICACIÓN		MAX. DENS.	HUM. OPT.	CBR AL 95% MDS0.1"	COMPRESION NO CONFINADA (28d) (Mpa)
				AASHTO	SUCS				
0.0	36.7	29.4	10.2	A-4 (0)	SC	1.945	13.3	23.0%	-
2.0	38.6	30.6	7.4	A-4 (1)	SM	1.920	13.7	54.0%	1.55
3.0	39.2	31.2	5.0	A-4 (1)	SM	1.902	14.2	75.0%	1.97
4.0	39.2	31.2	5.0	A-4 (1)	SM	1.902	14.2	82.5%	2.22
5.0	40.4	32.2	2.0	A-4 (1)	SM	1.890	14.5	90.0%	2.24
6.0	41.0	30.1	3.9	A-4 (1)	SM	1.870	14.7	69.0%	2.1

Nota: CONUNFRA (2009,p,9), Congreso internacional

La aplicación de cal como un método de estabilización es más utilizado en la capa sub rasantes (Juárez Badillo, E; Rico Rodríguez, A; 2005). Aunque existen muchas investigaciones sobre la estabilización en suelos, en la presente investigación se va a estudiar el efecto de cal como material estabilizante agregando diferentes porcentajes específicamente para un suelo arcilloso.

El distrito de Caracoto presenta suelos arcillosos de alta y baja plasticidad de los cuales no se cumplen con las exigencias de las normas técnicas para fundar estructuras. Es por esta razón que el objetivo de la presente investigación se enfoca en determinar el porcentaje óptimo de cal para mejorar el suelo arcilloso para sub rasante de la vía Juliaca-Canchi Grande del distrito de Caracoto

evaluar la calidad del suelo para sub rasante, sub base y base de pavimentos. Se efectúa bajo condiciones controladas de humedad y densidad (Norma MTC.2014)

Este es uno de los parámetros necesarios para el diseño de la estructura del pavimento obtenidos en los estudios geotécnicos previos a la construcción, como también lo son el ensayo proctor y los análisis granulométricos del terreno. (Norma MTC.2014)

Tabla 1
CBR para sub rasantes

CATEGORIAS DE SUB RASANTE	CBR
So: Sub rasante inadecuada	CBR < 3%
So: Sub rasante insuficiente	De CBR ≥ 3% A < 6%
So: Sub rasante Regular	De CBR ≥ 6% A < 10%
So: Sub rasante Buena	De CBR ≥ 10% A < 20%
So: Sub rasante Muy Buena	De CBR ≥ 20% A < 30%
So: Sub rasante Excelente	De CBR ≥ 30%

Fuente: Categorías de subrasante MTC, (MTC-SP 2014, p. 35)

2.2 Materiales y Métodos

El lugar de estudio se ubica en la vía Juliaca a Canchi Grande comprendido desde el Km 03+000 al Km 04+000 y los estudios de laboratorio se realizaron en el campus de la Universidad Peruana Unión

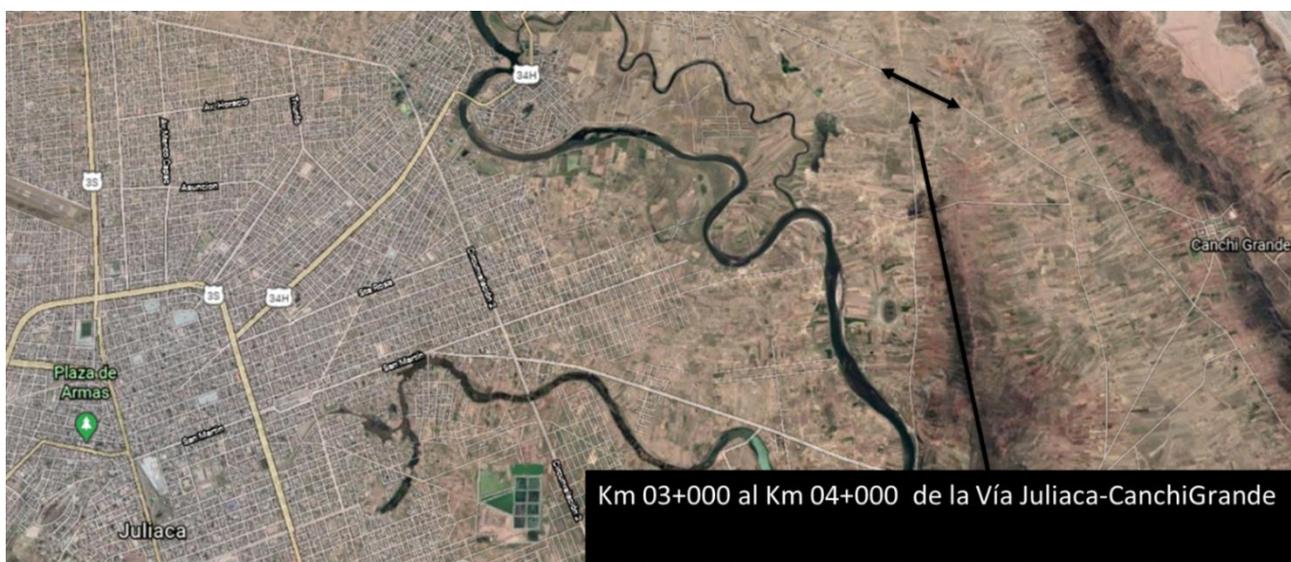


Figura 3 Tramo estudiado

Fuente: Google Earth

2.2.1 Materiales

- ❖ Suelo
- ❖ Cal
- ❖ Agua

2.2.2 Métodos

Se planteó un procedimiento donde las variables principales a estudiar fueron la relación de soporte CBR del suelo y su relación con la dosificación de la cal en diferentes porcentajes, también se desarrollaron ensayos en laboratorio necesarios para definir dichas variables.

El procedimiento realizado para obtener los resultados fueron los siguientes:

2.2.2.1 Análisis del tipo de suelo

Primero se ha seguido el proceso de identificación del tipo de suelo. Para este Kilometro estudiado se realizaron 5 calicatas, ya que según Norma MTC esta se hace cada 250 metros.

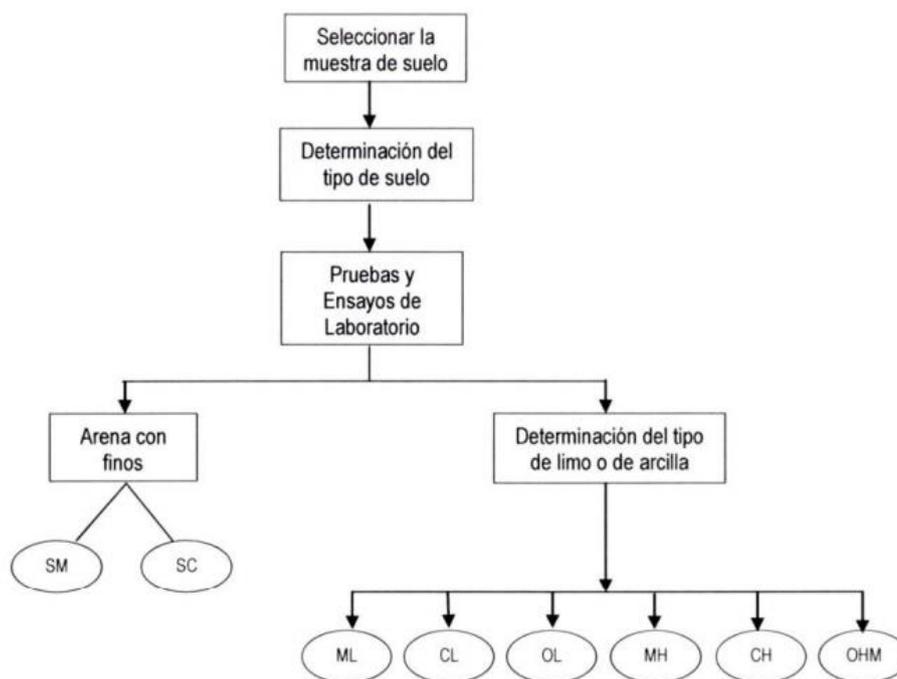


Figura 4 Identificación del tipo de suelo
Fuente: MTC (Manual de Carreteras)

Se realizó los siguientes ensayos para la clasificación del suelo:

- Determinación del Contenido de Humedad (W%), ASTM D2216- 92,
- Análisis Granulométrico mediante tamizado por lavado, ASTM D 422
- Limite Líquido ASTM D4318, AASHTO T89, MTC E110-199, NTP 339-130.
- Limite plástico ASTM D4318, AASHTO T90, MTC E111-199.

Con la clasificación del suelo de los puntos de exploración obtenidos se determinaron un suelo CL para los 5 puntos de exploración. Por lo que para los siguientes ensayos solo se mejorara para este tipo de suelo.

2.2.2.2 Análisis de la relación de soporte CBR del suelo y con la adición de 3%, 5% y 7% de cal

Luego según la Norma CE.0200 ESTABILIZACIÓN DE SUELOS Y TALUDES (Estabilización con cal, pág, 9), la dosificación depende del tipo de arcilla. Se recomienda agregar de 2% a 8% de cal, y por ningún motivo se debe emplear más de 8% de cal en el suelo. Por ello se escogió 3%, 5% y 7% para adición de cal.

Para lo cual adicionando 3, 5 y 7% de cal en base al peso seco del suelo: se desarrollaron los siguientes ensayos de laboratorio según Norma MTC (manual de carreteras)

- Limite Liquido ASTM D4318, AASHTO T89, MTC E110-199, NTP 339-130.
- Limite plástico ASTM D4318, AASHTO T90, MTC E111-199.
- Compactación Proctor Modificado ASTM D 1557, MTC E115-199: para hallar la humedad óptima y la máxima densidad seca del suelo necesario para el siguiente ensayo.
- Ensayo CBR en laboratorio (ASTM D 1883, ASTM D4429, AASHTO T190): para medir la resistencia al esfuerzo cortante del suelo.

Luego se desarrollaron los cálculos necesarios con los datos obtenidos en laboratorio de la mezcla del suelo natu ral y los diferentes porcentajes de cal. Luego se evaluaron los resultados obtenidos para obtener el porcentaje óptimo para mejorar las propiedades del suelo para una sub rasante.

2.2.2.3 Obtención del porcentaje óptimo de cal

Según la tesis (Estabilización de suelos cohesivos mediante el uso de geomallas, geotextil, cal y cemento con fines de pavimentación, Eder Eliab, Chura Mamani y Saul Romero, 2017. 204 páginas). Para el cálculo del porcentaje óptimo de cal el índice de plasticidad IP deberá ser menor a 10%.

3.-Análisis y Discusión de Resultados

3.1.-Resultados

Tabla 2

Resultados del suelo natural

Limite Liquido (%)	35.57
Limite Plástico (%)	21.26
Índice de Plasticidad (%)	14.31
Clasificación SUCS	CL
Proctor Modificado	
Densidad máxima	1.79 gr/cm ³
Humedad optima	16.625 gr/cm ³
Ensayo CBR	
Densidad máxima	1.79 gr/cm ³
Hinchamiento	1.60%
CBR de diseño	9.80%

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3*Resultados del suelo con 3% de cal*

Limite Liquido (%)	33.54
Limite Plástico (%)	22.15
Índice de Plasticidad (%)	11.39
Proctor Modificado	
Densidad máxima	1.80 gr/cm ³
Humedad optima	14.51 gr/cm ³
Ensayo CBR	
Hinchamiento	3.10%
Densidad máxima	1.80 gr/cm ³
CBR de diseño	10.50%

*Fuente: Elaboración propia***Tabla 4***Resultados del suelo con 5% de cal*

Limite Liquido (%)	29.73
Limite Plástico (%)	23.78
Índice de Plasticidad (%)	5.95
Proctor Modificado	
Densidad máxima	1.82 gr/cm ³
Humedad optima	14.38 gr/cm ³
Ensayo CBR	
Hinchamiento	1.60%
Densidad máxima	1.82 gr/cm ³
CBR de diseño	13.01%

*Fuente: Elaboración propia***Tabla 5***Resultados del suelo con 7% de cal*

Limite Liquido (%)	27.92
Limite Plástico (%)	24.12
Índice de Plasticidad (%)	3.8
Proctor Modificado	
Densidad máxima	1.90 gr/cm ³
Humedad optima	16.23 gr/cm ³
Ensayo CBR	
Hinchamiento	4.20%
Densidad máxima	1.90 gr/cm ³
CBR de diseño	9.34%

Fuente: Elaboración propia

3.2.-Análisis de resultados

Tabla 6

Resumen Limite Líquido, Limite Plástico e Índice de Plasticidad

% CAL	Límite Líquido (%)	Límite Plástico (%)	Índice de Plasticidad Ip (%)
0%	35.57	21.26	14.31
3%	33.54	22.15	11.39
5%	29.73	23.78	5.95
7%	27.92	24.12	3.8

Fuente: Elaboración propia

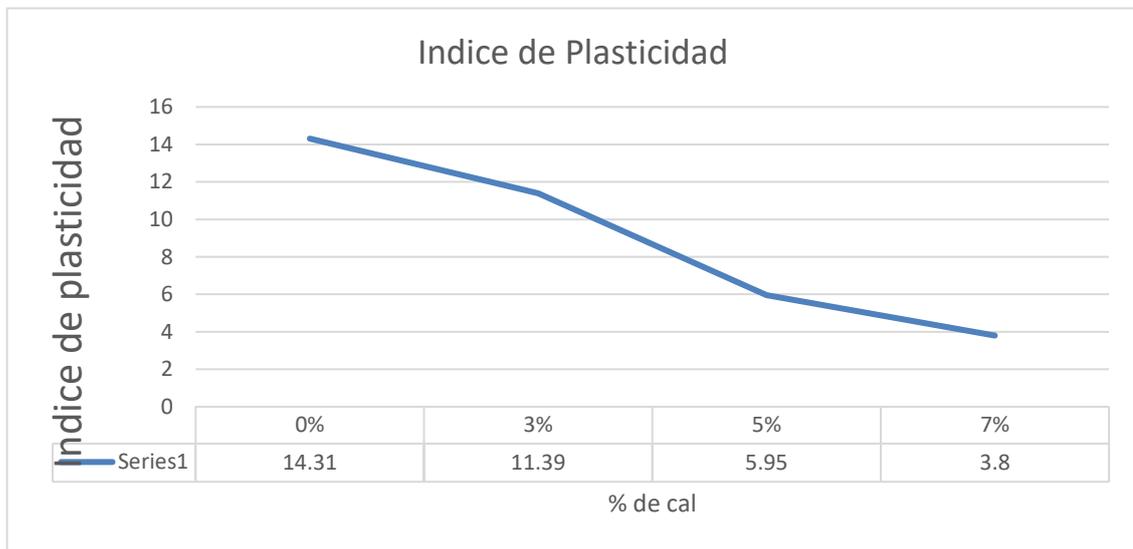


Figura 5 Índice de Plasticidad con adición de porcentajes de cal

Tabla 7

Resumen Compactación, Proctor, hinchamiento y CBR

Suelo + adición de cal	Humedad óptima	Máxima densidad seca	CBR (95%)	Hinchamiento
Suelo natural	16.625	1.79	4.40	9.8
Suelo natural + 3% de cal	14.51	1.8	10.5	3.1
Suelo natural + 5% de cal	14.38	1.82	13.01	1.6
Suelo natural + 7% de cal	16.23	1.9	9.34	4.2

Fuente: *Elaboración propia*

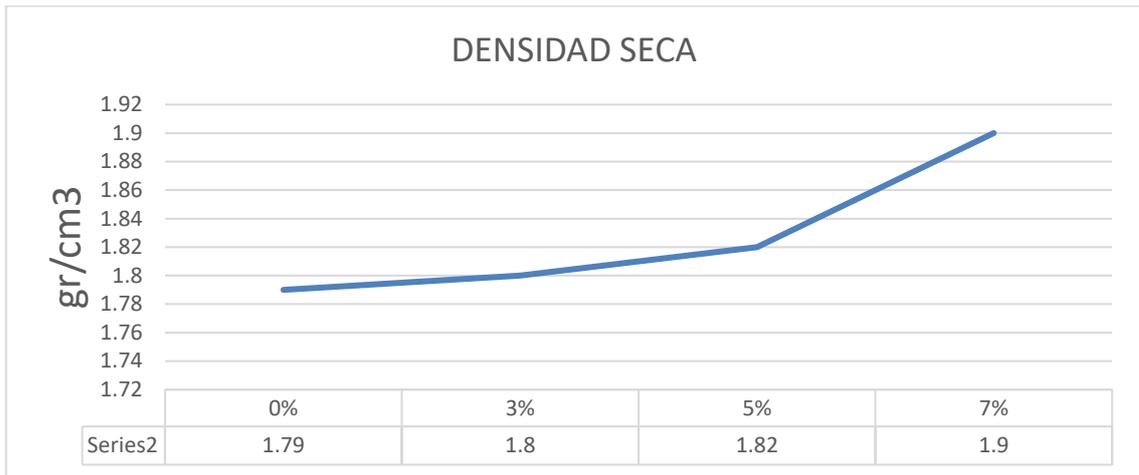


Figura 6 *Máxima Densidad Seca con adición de porcentajes de cal*

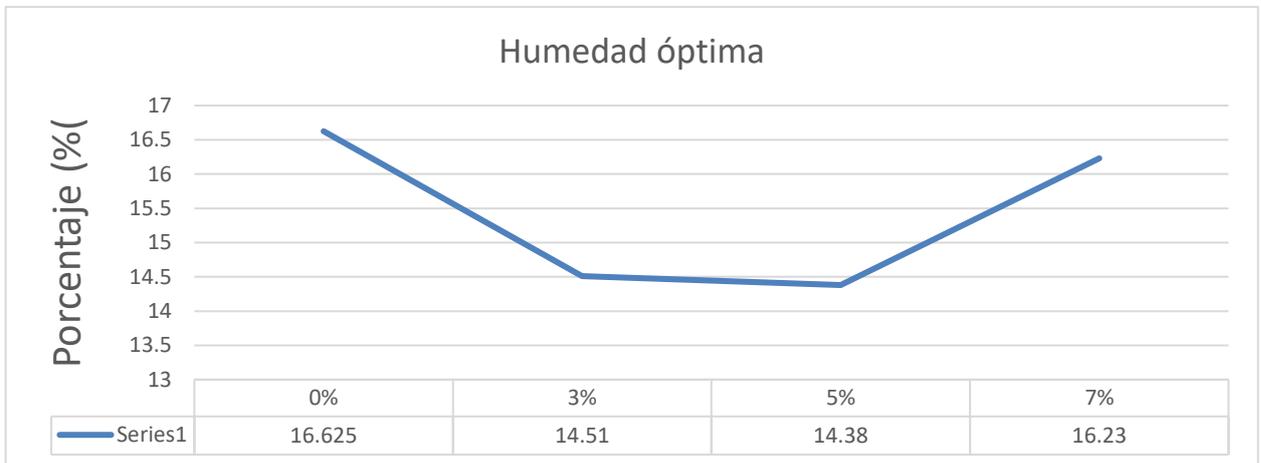


Figura 7 *Comportamiento de la Humedad Óptima sobre los porcentajes de cal*

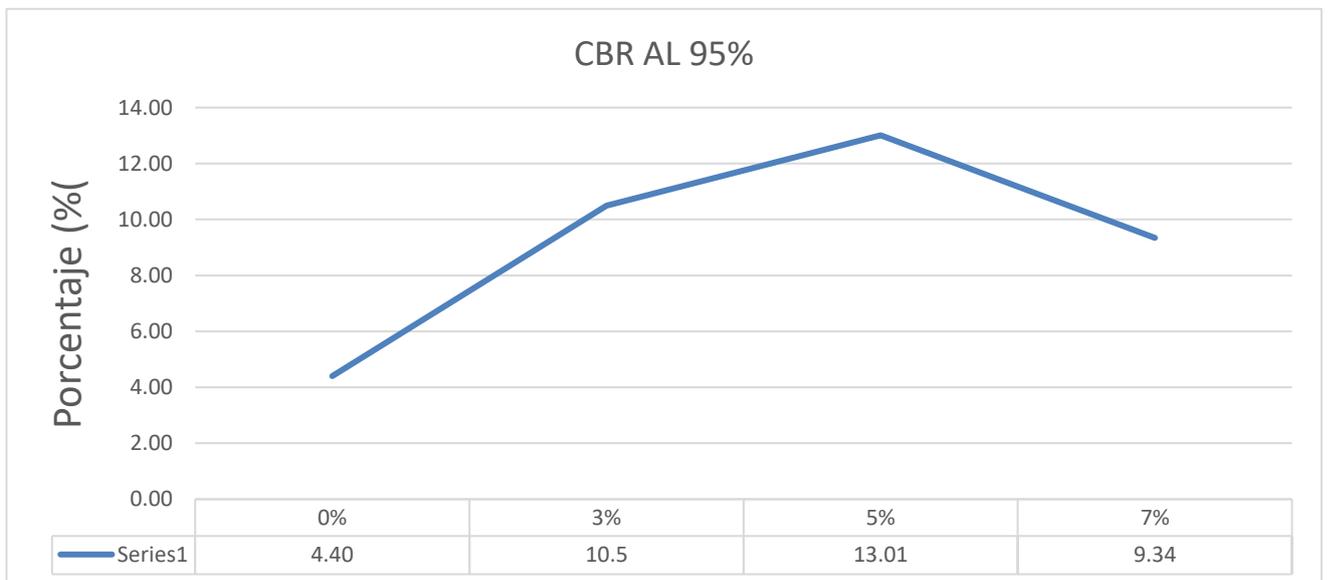


Figura 8 *CBR con adición de cal*

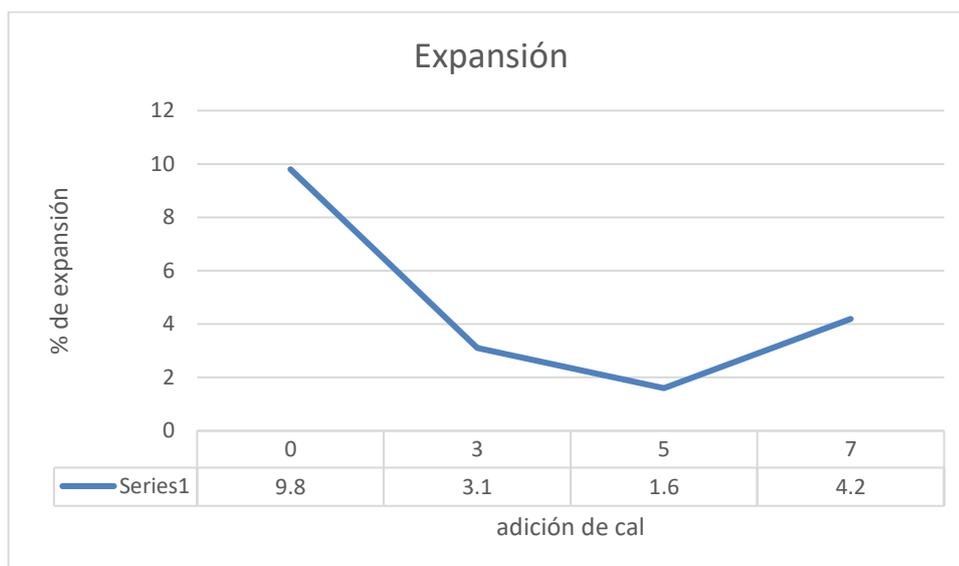


Figura 9 Gráfico de expansión

Tabla 8

Contenido Óptimo de cal

	CAL	Humedad óptima	Máxima densidad seca	CBR (95%)	% de variación de CBR
Contenido óptimo de cal	5%	14.38	1.82	13.01	
Suelo Natural	0%	16.625	1.79	4.4	295.68

Fuente: Elaboración propia

4.- Conclusión

Los resultados con la adición de cal muestran un aumento en la densidad del suelo a mayor contenido de humedad, el límite líquido disminuye logrando alcanzar 29.73% con la adición de 5% de cal. El límite plástico aumenta con un 23.78% con la adición de 5% de cal. El índice de plasticidad disminuye logrando el suelo natural alcanzar un IP de 14.31%, y agregando 5% de cal el IP es de 5.95%.

Se determinó que el porcentaje óptimo de cal para mejorar el suelo arcilloso es de 5% en base al peso seco del suelo. Con los resultados hallados el CBR al 95% aumenta hasta un 295.68 % con respecto al suelo natural.

El CBR del suelo en estado natural es de 4.40%, lo cual está por debajo de 6% para sub rasante exigido según norma (MTC EM 115).

Al adicionar 5% de cal el CBR al 95% es 13.01%. Según la tabla 1 (CBR para sub rasante del MTC-SP 2014, p. 35) al estabilizar, el suelo pasó de una sub rasante insuficiente a una sub rasante buena.

Los resultados obtenidos con la adición de cal al 3%, 5%, y 7% muestra una variación en el CBR al 95% y según los resultados que se presentaron en el tercer congreso internacional que se realizó en Sao Pablo, Brasil, de infraestructura de transportes (CONINFRA 2009) Figura 1, Presentan similares resultados.

5.-Recomendaciones

Al momento de estabilizar con cal tener en cuenta el tipo de suelo porque ésta sujeta a diferentes cambios.

Con los resultados obtenidos en la presente investigación se recomienda utilizar 5% de cal, con respecto al peso seco para el tramo estudiado.

Se recomienda realizar investigaciones sobre la estabilización de suelos para sub rasante, porque es una de los factores principales para el diseño de la estructura del pavimento.

Referencias

CONJNFRA 2009. Tercer congreso de infraestructura de transportes. Estabilización de suelos con cemento portland y cal hidratada en pavimentos de la región amazónica del Perú. Sao Pablo, BR. ANDIT (Asociación Nacional de Infraestructura de Transporte). 27 p.

J. Y. Landa Alarcon and S. F. Torres Montesinos, 2019 “Mejoramiento de suelos arcillosos en subrasante mediante el uso de cenizas volantes de bagazo de caña de azúcar y cal,” Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas , Lima, Perú.

Raihan, M., Hameed, Z., Khan, T. Soil Stabilization Using Lime: (2014) Advantages, Disadvantages and Proposing a Potential Alternative. Engineering and Technology.

Cruz, T. & Thatiana, A. (2019). Estabilización de suelos arcillosos adicionando cenizas de bagazo de caña para el mejoramiento de subrasante en el sector Barraza, Trujillo (tesis de pregrado). Universidad Privada del Norte, Lima, Perú

COHESIVOS POR MEDIO DE ADITIVOS. (Eco Road 2000) PARA PAVIMENTACIÓN EN PALIAN – HUANCAYO – JUNÍN. HUANCAYO. JUNIN, 2016.

MENÉNDEZ, J.R., 2016.a. Ingeniería de Pavimentos - Materiales. 5ta. edición. Lima: ICG. PT-47. ISBN 978-612-4280-15-3. PT-47,

MINAYA, S. y ORDÓÑEZ, A. – ICG Diseño de pavimentos asfálticos. 2da. Lima, Perú: Instituto de la Construcción y Gerencia

ANGULO, 2014. Rommel Fernando. Estabilización de sub rasantes con adición de cal. Tesis de pre grado. Perú: Universidad de Piura.

Martínez Santos, J. 2012. p122.·Evaluación del mejoramiento de suelos arcillosos empleando materiales cementantes. Tesis ingeniería. Civil, México, Universidad Veracruzana.

Hemando Higuera. 2012. UPTC. 21 32: 21-40. Caracterización de un suelo arcilloso tratado con hidróxido de calcio. Revista Facultad de Ingeniería,

Elizondo Arrieta, 2010. Efecto de la cal en la estabilización de subrasantes. San José, Costa Rica. Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales. P 16.

Manual de Estabilización de Suelo Tratado con Cal, 2004 .. Estabilización y Modificación con Cal.. Bol. 326. P.42

Capote Abreu, J. A. (2012). LA MECÁNICA DE SUELOS Y LAS CIMENTACIONES EN LAS CONSTRUCCIONES INDUSTRIALES, 1–37.

MTC-SP, 2014. Manual de Carreteras: suelos, geología, geotecnia y pavimentos, Sección Suelos y Pavimentos. S.l.: Ministerio de Transportes y Comunicaciones.