

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA
PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS

“ESTABILIZACIÓN QUÍMICA DE SUELO ARCILLOSO CON CAL PARA SU USO COMO SUBRASANTE EN LA CALLE NO PAVIMENTADA EN EL AA.HH. LAS BRISAS KM 7, DISTRITO SAN JUAN BAUTISTA, MAYNAS – IQUITOS - 2023”

Para optar el título profesional de ingeniero civil.

AUTORES: Bach. Flores Mori, Jhonatan

Bach. Carranza Zambrano, Jorge Rubén

ASESOR: Ing. Cabanillas Oliva, Erlin Guillermo, Dr.

ORCID: 0000-0001-9815-6828

San Juan Bautista – Maynas – Loreto – 2024

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA

ACTA DE SUSTENTACIÓN TESIS

Con Resolución Decanal N° 621-2024-UCP-FCEI del 05 de agosto del 2024, la FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL PERÚ - UCP designa como Jurado Evaluador de la sustentación de la Tesis a los señores:

- | | |
|--|------------|
| • Ing. Ulises Octavio Irigoín Cabrera, M. Sc | Presidente |
| • Ing. Juan Jesús Ocaña Aponte, M. Sc. | Miembro |
| • Ing. Keuson Saldaña Ferreyra, Mg. | Miembro |

Como Asesor: Ing. ERLIN GUILLERMO CABANILLAS OLIVA, Dr

En la ciudad de Iquitos, siendo las 09:00 a.m. del día 10 de agosto del 2024, de manera presencial supervisado por el Secretario Académico de la Facultad de Ciencias e Ingeniería de la Universidad Científica del Perú, se constituyó el Jurado para escuchar la sustentación y defensa de la Tesis "ESTABILIZACIÓN QUÍMICA DE SUELO ARCILLOSO CON CAL PARA SU USO COMO SUBRASANTE EN LA CALLE NO PAVIMENTADA EN EL AA.HH. LAS BRISAS KM 7, DISTRITO SAN JUAN BAUTISTA, MAYNAS - IQUITOS - 2023".

Presentado por los sustentantes:

- JORGE RUBEN CARRANZA ZAMBRANO
- JHONATAN FLORES MORI

Como requisito para optar el título Profesional de:




INGENIERO CIVIL

Luego de escuchar la sustentación y formuladas las preguntas las que fueron: Absuelta

El Jurado después de la deliberación en privado llegó a la siguiente conclusión:

Que la sustentación es: Aprobada por unanimidad

En fe de lo cual los miembros del Jurado firman el acta.

 Ing. Juan Jesús Ocaña Aponte, M. Sc Miembro	 Ing. Ulises Octavio Irigoín Cabrera, M. Sc Presidente	 Ing. Keuson Saldaña Ferreyra, Mg. Miembro
---	--	---



“Año del Bicentenario, de la consolidación de nuestra Independencia, y de la conmemoración de las heroicas batallas de Junín y Ayacucho”

**CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN
DE LA UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL PERÚ - UCP**

El presidente del Comité de Ética de la Universidad Científica del Perú - UCP

Hace constar que:

La Tesis titulada:

**“ESTABILIZACIÓN QUÍMICA DE SUELO ARCILLOSO
CON CAL PARA SU USO COMO SUBRASANTE EN
LA CALLE NO PAVIMENTADA EN EL AA.HH. LAS
BRISAS KM 7, DISTRITO SAN JUAN BAUTISTA,
MAYNAS – IQUITOS - 2023”**

De los alumnos: **JHONATAN FLORES MORI Y JORGE RUBEN CARRANZA ZAMBRANO**, de la Facultad de Ciencias e Ingeniería, pasó satisfactoriamente la revisión por el Software Antiplagio, con un porcentaje de **12% de similitud**.

Se expide la presente, a solicitud de la parte interesada para los fines que estime conveniente.

San Juan, 03 de julio del 2024.

Mgr. Arq. Jorge L. Tapullima Flores
Presidente del Comité de Ética – UCP

JLTF/ri-a
234-2024

UCP_IngenieríaCivil_2024_Tesis_JhonatanFlores_JorgeCarra...

INFORME DE ORIGINALIDAD

12%

INDICE DE SIMILITUD

8%

FUENTES DE INTERNET

2%

PUBLICACIONES

8%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	Submitted to Webster University Trabajo del estudiante	1%
2	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante	1%
3	1library.co Fuente de Internet	1%
4	repositorio.uta.edu.ec Fuente de Internet	1%
5	www.dspace.unitru.edu.pe Fuente de Internet	1%
6	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	1%
7	Submitted to Universidad Tecnologica del Peru Trabajo del estudiante	<1%
8	upc.aws.openrepository.com Fuente de Internet	<1%



Recibo digital

Este recibo confirma que su trabajo ha sido recibido por Turnitin. A continuación podrá ver la información del recibo con respecto a su entrega.

La primera página de tus entregas se muestra abajo.

Autor de la entrega: Jhonatan Flores Mori
Título del ejercicio: Quick Submit
Título de la entrega: UCP_IngenieríaCivil_2024_Tesis_JhonatanFlores_JorgeCarran...
Nombre del archivo: 23-RESUMEN_A_RECOMENDACIONES-JORGE_CARRANZA-JHO...
Tamaño del archivo: 1.24M
Total páginas: 57
Total de palabras: 11,772
Total de caracteres: 60,109
Fecha de entrega: 15-jul.-2024 08:14a. m. (UTC-0500)
Identificador de la entre... 2417227468

RESUMEN

Este estudio tiene como objetivo investigar cómo se comportan diversos tipos de suelos en cuanto a sus características mecánicas y físicas luego de ser estabilizados con cal hidratada y cal viva. La presente investigación se realizó en el AA.HH las Brisas ubicado en el km 7 carretera Iquitos - ruata.

Los fenómenos del suelo se determinan mediante un enfoque cuantitativo mediante gráficos de barras de las variables dependientes, como plasticidad, densidad seca máxima, capacidad de soporte con CBR y expansión, con un nivel descriptivo mediante correlaciones y diagramas entre las variables. Este enfoque siguió la normativa vigente en el Perú, por lo que la metodología utilizada fue deductiva. En dos suelos, calicata 01 con alta plasticidad y expansión y la calicata 02 con baja plasticidad y expansión, con la aplicación de diferentes porcentajes de cal viva y cal hidratada (3%, 5% y 7%). Los resultados muestran que la cal viva mejora la resistencia, limita el efecto expansivo y reduce ligeramente la densidad y la plasticidad.

Concluyendo que, en suelos arcillosos, expansivos y de alta plasticidad se puede usar cal viva para la estabilización de los suelos en sectores que no tienen capa de rodadura.

Palabras clave: cal hidratada, cal viva, densidad, CBR, expansión.



HOJA DE APROBACIÓN PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERIA CIVIL

BACHILLERES: JORGE RUBEN CARRANZA ZAMBRANO Y JHONATAN FLORES
MORI

La Tesis sustentada en acto público el día 10 de agosto 2024, a las 09:00 a.m., en
las instalaciones de la UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL PERÚ.



ING. ULISES OCTAVIO IRIGOIN CABRERA, M. SC.
PRESIDENTE DE JURADO



ING. JUAN JESÚS OCAÑA APONTE, M. SC.
MIEMBRO DE JURADO



ING. KEUSON SALDAÑA FERREYRA, MG.
MIEMBRO DE JURADO



ING. ERLIN GUILLERMO CABANILLAS OLIVA, DR.
ASESOR

DEDICATORIA

Esta tesis la dedicamos a Dios, quién supo guiarnos por el buen camino, darnos fuerzas para seguir adelante y no desmayar en los problemas que se presentaban, enseñándonos a enfrentar las adversidades sin perder nunca la fe ni desfallecer en el intento.

A nuestros padres, por su gran amor y confianza al inculcarnos valores importantes, por tener fe en nuestras decisiones, que se volvieron un sueño; y, por la cercanía a nosotros en cada paso que dimos para conseguir nuestros objetivos.

Los autores

AGRADECIMIENTO

A nuestra alma mater (Universidad Científica del Perú) por estos maravillosos años de aporte a nuestro desarrollo personal y profesional, a nuestros docentes por tantas motivaciones e innumerables veces para aprender a amar a nuestra hermosa carrera profesional muy importante en la sociedad; asimismo, por fortalecer nuestro carácter.

Al Ing. Erlin Guillermo Cabanillas Oliva, por el gran apoyo profesional durante la ejecución y desarrollo de nuestra tesis.

A la Ing. Liliana Bautista y a su equipo técnico del laboratorio de la UCP, por el apoyo y orientación en el desarrollo de los ensayos de suelos durante la ejecución de la tesis.

A todas las personas que de una u otra forma nos brindaron su colaboración para el desarrollo de esta tesis y sobre todo por sus buenos deseos, apoyo moral y la confianza que siempre depositaron en nosotros.

Los autores

ÍNDICE DE CONTENIDOS

ACTA DE SUSTENTACION.....	ii
CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE LA INVESTIGACIÓN	iii
HOJA DE ABROBACION.....	iv
DEDICATORIA.....	vii
AGRADECIMIENTO	viii
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	ix
ÍNDICE DE TABLAS.....	xii
ÍNDICE DE IMÁGENES.....	xiii
RESUMEN.....	xiv
ABSTRACT	xv
Capítulo I: MARCO TEÓRICO	16
1.1 Antecedentes del estudio	16
1.2 BASES TEÓRICAS	23
1.2.1 Estabilización de suelos	23
1.2.2 Tipos de estabilización	25
1.2.2.1 Estabilización Mecánica	25
1.2.2.2 Estabilización física	26
1.2.2.3 Estabilización química.....	27
1.2.2.4 Estabilización con productos asfálticos	29
1.2.3 Estabilización con cal.....	35
1.2.4 Influencia de la cal en las características de los suelos.....	36
1.2.4.1 Límite líquido – Límite plástico – Índice plástico ...	36
1.2.4.2 Límite de contracción	36
1.2.4.3 Influencia sobre la densidad seca	36
1.2.4.4 Influencia sobre la resistencia de los suelos	36
1.2.4.5 Determinación del porcentaje óptimo de cal.	38
1.2.5 Definición de cal.....	39
1.2.6 Clases de cal	40

1.2.7 Ensayos de laboratorio	41
1.2.7.1 Ensayo de granulometría por tamizado	41
1.2.7.2 Análisis granulométricos por medio del hidrómetro	41
1.2.7.3 Determinación del límite líquido del suelo.....	42
1.2.7.4 Determinación del límite plástico del suelo.....	42
1.2.7.5 Proctor Modificado	42
1.2.7.6 Ensayo de california Bearing Ratio (CBR).....	43
1.2.7.7 Ensayo Equivalente de arena.....	43
1.2.7.8 Ensayo de gravedad específica	43
1.2.8 Clasificación de suelos	44
1.3 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS.....	44
Capítulo II: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	45
2.1 Descripción del problema.....	45
2.2 Formulación del problema	46
2.2.1 Problema general	46
2.2.2 Problemas específicos	47
2.3 Objetivos	47
2.3.1 Objetivo general	47
2.3.2 Objetivos específicos	47
2.4 Hipótesis.....	48
2.5 Variables	48
2.5.1 Identificación de las variables	48
2.5.2 Definición conceptual y operacional de las variables.....	48
2.5.2.2 Definición Operacional	49
Capítulo III: METODOLOGÍA	50
3.1 Tipo y diseño de investigación	50
3.1.1 Tipo de Investigación.....	50
3.1.2 Diseño de investigación	50
3.2 Población y muestra	50
3.2.1 Población.....	50
3.2.2 Muestra	51

3.3	Técnicas, instrumentos y procedimiento de recolección de datos	51
3.3.1	Técnicas de recolección de datos exploración de campo.....	51
3.3.2	Instrumentos de recolección de datos.....	52
3.3.3	Procedimiento de recolección de datos	52
3.3.4	Procesamiento de datos y análisis estadísticos	53
Capítulo IV: RESULTADOS ESTADÍSTICOS		54
4.1	Comprobación de la hipótesis	54
Capítulo V: DISCUSIÓN, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		64
5.1	Discusión	64
5.2	Conclusiones	67
5.3	Recomendaciones	68
Referencias bibliográficas		70
ANEXOS		72
Anexo 01: Matriz de consistencia		73
Anexo 02: Resultados del Estudio de Suelos		76
1.	Resultados de análisis granulométricos de suelos	76
2.	Resultados del límite líquido, limite plástico e índice de plasticidad.....	77
3.	Resultados de clasificación de los suelos de las calicatas	77
4.	Resultados de Proctor modificado para suelo natural	77
5.	Resultados de CBR y expansión para suelo natural.....	78
6.	Resultados de plasticidad de suelos estabilizados con cal. ...	78
7.	Resultados de máxima densidad seca de suelos estabilizados con cal.....	79
8.	Resultados de resistencia de suelos estabilizados con cal. ...	80
Panel Fotográfico		89
Anexo 03: Fichas Técnicas		97

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 : Curva granulométrica – calicata N°01 – km 00+160	76
Tabla 2 : Curva granulométrica – calicata N°02 – km 00+420	76
Tabla 3 : Resultado de los límites de Atterberg.....	77
Tabla 4 : Clasificación de los suelos de las calicatas.....	77
Tabla 5 : Métodos de uso para el ensayo de Proctor modificado.....	77
Tabla 6 : Resultado del ensayo de Proctor modificado.	78
Tabla 7 : Resultados de CBR y expansión para suelo natural.	78
Tabla 8 : Resultados de los ensayos de plasticidad de suelos estabilizados con cal hidratada y cal viva.	79
Tabla 9 : Resultados de máxima densidad seca de suelos estabilizados con cal.	79
Tabla 10 : Incremento de la densidad con cal hidratada y cal viva.	80
Tabla 11 : Resultados de resistencia de suelos estabilizados con cal. ...	80
Tabla 12 : Resultados de CBR con cal hidratada- calicata 01.	81
Tabla 13 : Resultados de CBR con cal viva – calicata 01.	81
Tabla 14 : Resultados de CBR con cal hidratada – calicata 02.....	82
Tabla 15 : Resultados de CBR con cal viva – calicata 02	82
Tabla 16 : Calicata 01 con la adición del 2% de cal hidratada.	83
Tabla 17 : Calicata 01 con la adición del 4% de cal hidratada.	83
Tabla 18 : Calicata 02 con la adición del 6% de cal hidratada.	83
Tabla 19 : Resumen del incremento porcentuales con cal hidratada.....	83
Tabla 20 : Resumen del cumplimiento de la hipótesis de la calicata 01 con cal hidratada.	84
Tabla 21 : Resumen del cumplimiento de la hipótesis de la calicata 01 con cal hidratada.	84
Tabla 22 : Calicata 01 con la adición del 2% de cal viva.....	84
Tabla 23 : Calicata 01 con la adición del 4% de cal viva.....	84
Tabla 24 : Calicata 01 con la adición del 6% de cal viva.....	85
Tabla 25 : Resumen del incremento porcentuales con cal viva.	85
Tabla 26 : Resumen del cumplimiento de la hipótesis de la calicata 01 con cal viva.....	85
Tabla 27 : Resumen del cumplimiento de la hipótesis de la calicata 01 con cal viva.....	85
Tabla 28 : Calicata 02 con la adición del 2% de cal hidratada.	86
Tabla 29 : Calicata 02 con la adición del 4% de cal hidratada.	86
Tabla 30 : Calicata 02 con la adición del 6% de cal hidratada.	86
Tabla 31 : Resumen del incremento porcentuales con cal hidratada.....	86
Tabla 32 : Resumen del cumplimiento de la hipótesis de la calicata 02 con cal hidratada.	87
Tabla 33 : Resumen de los resultados de los ensayos de la calicata 02 con cal hidratada.....	87
Tabla 34 : Calicata 02 con la adición del 2% de cal viva.....	87
Tabla 35 : Calicata 02 con la adición del 4 % de cal viva.....	87
Tabla 36 : Calicata 02 con la adición del 6 % de cal viva.....	88

Tabla 37 : Resumen del cumplimiento de la hipótesis de la calicata 02 con cal viva.....	88
Tabla 38 : Resumen del cumplimiento de la hipótesis de la calicata 02 con cal viva.....	88
Tabla 39 : Resumen de los resultados de los ensayos de la calicata 02 con cal viva.....	88

ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen 1 : Excavación Calicata 01	89
Imagen 2 : Excavación Calicata 02	89
Imagen 3 : Secado de muestras para Límites de Atterberg	90
Imagen 4 : Límite líquido en copa de Casagrande.....	90
Imagen 5 : Preparación de muestras con diferentes % de Humedad para Proctor Modificado.....	91
Imagen 6 : Ensayo Proctor modificado con diferentes % de humedad. Calicata 01.....	91
Imagen 7 : Ensayo Proctor modificado con diferentes % de humedad. ...	92
Imagen 8 : Ensayo de CBR después de penetración. Calicata 01.....	92
Imagen 9 : Preparación de muestra para ensayos CBR. Calicata 02.	93
Imagen 10 : Inmersión de moldes de CBR en material natural. Calicata 02.....	93
Imagen 11 : Ensayo Proctor modificado con diferentes % de humedad. Calicata 01.....	94
Imagen 12 : Moldes de muestra con diferentes % de cal hidratada en inmersión. Calicata 01.	94
Imagen 13 : Preparación de material con diferentes % de cal viva para CBR. Calicata 02.	95
Imagen 14 : Preparación de material con diferentes.....	95
Imagen 15 : Lectura de expansión en los moldes de CBR con diferentes % de cal viva. Calicata 02.....	96
Imagen 16 : Cal hidratada empleada.....	96

RESUMEN

Este estudio tuvo como objetivo investigar el comportamiento mecánico y físico de diversos tipos de suelos en el AA. HH Las Brisas ubicado en el km 7 carretera Iquitos – nauta, luego de ser estabilizados con cal hidratada y cal viva.

Los fenómenos del suelo se determinan mediante un enfoque cuantitativo mediante gráficos de barras de las variables dependientes, como plasticidad, densidad seca máxima, capacidad de soporte con CBR y expansión, con un nivel descriptivo mediante correlaciones y diagramas entre las variables. Este enfoque siguió la normativa vigente en el Perú, por lo que la metodología utilizada fue deductiva, En dos suelos, calicata 01 con alta plasticidad y expansión y la calicata 02 con baja plasticidad y expansión, con la aplicación de diferentes porcentajes de cal viva y cal hidratada (3%, 5% y 7%). Los resultados muestran que la cal viva mejora la resistencia, limita el efecto expansivo y reduce ligeramente la densidad y la plasticidad.

Concluyendo que, en suelos arcillosos, expansivos y de alta plasticidad se puede usar cal viva para la estabilización de los suelos en sectores que no tienen capa de rodadura.

Palabras claves: cal hidratada, cal viva, densidad, CBR, expansión.

ABSTRACT

This study aims to investigate how various types of soils behave in terms of their mechanical and physical characteristics after being stabilized with hydrated lime and quicklime. The present investigation was carried out at the AA.HH las Brisas located at km 7 of the Iquitos – Nauta highway.

Soil phenomena are determined using a quantitative approach using bar graphs of the dependent variables, such as plasticity, maximum dry density, CBR bearing capacity and expansion, with a descriptive level using correlations and diagrams between the variables. This approach followed the regulations in force in Peru, so the methodology used was deductive. In two soils, pit 01 with high plasticity and expansion and pit 02 with low plasticity and expansion, with the application of different percentages of quicklime and hydrated lime (3%, 5% and 7%). The results show that quicklime improves resistance, limits the expansive effect and slightly reduces density and plasticity.

Concluding that, in clayey, expansive soils with high plasticity, quicklime can be used to stabilize the soil in sectors that do not have a wearing layer.

Keywords: hydrated lime, quicklime, density, CBR, expansion.

Capítulo I: MARCO TEÓRICO

1.1 Antecedentes del estudio

Según **Ayuque Almidon**, (2022) en su investigación titulado “Efecto de la incorporación de cal hidratada con boñiga de res en la estabilización de suelos arcillosos a nivel de subrasante” Examino la estabilización de suelos arcillosos a nivel de subrasante con la aplicación de cal hidratada combinada con estiércol de ganado la hipótesis general fue: la estabilidad del suelo arcilloso a nivel de subrasante se mejoraría añadiendo cal hidratada y estiércol de ganado. El diseño del estudio es experimental, el nivel de explicación es explicativo, el tipo de método utilizado es cuantitativo y se tomará en consideración una población y muestra conformada por 24 moldes de material de subrasante. Estos moldes luego se mezclarán con 1%, 2% y 3% de cal hidratada y estiércol de res. Se realizará un examen más exhaustivo de la resistencia del material de subrasante y de su supervisor. resultando que la muestra de suelo sea categorizada por SUCS como grupo CL, el cual se conoce como arcilla abra ligera de plasticidad media con arena, y por AASHTO como A-4 (0). En cuanto a la densidad seca, se trata de una disminución de 2.160 gr/cm³ a 2.034 gr/cm³ (en un 3%) cuando se añade cal hidratada y estiércol de vacuno. aumenta aún más el contenido de humedad de la muestra en un 30,49% para un 3% de cal hidratada y estiércol de res; Los mejores resultados se obtienen al calcular el CBR porque la muestra natural carecía de características relacionadas con el CBR. Sin embargo, al agregar 3% de cal hidratada y estiércol, se calculó un CBR del 100%, aumentando del 7,5% del CBR al 33,1%. Otros resultados, como la densidad seca máxima, muestran variaciones insignificantes en las propiedades de la muestra. Finalmente, se concluye que el uso de cal hidratada y estiércol de vacuno como agentes estabilizantes de suelos arcillosos a

nivel de subrasante produce los mejores resultados en términos de estabilización del suelo natural. (Ayuque Almidon, 2022).

Según **Tacca Huaraca**, (2021) en su tesis titulado "Estabilización de suelo arcilloso con adición de cal para el mejoramiento de la subrasante, Vía de evitamiento, Abancay – Apurímac, 2021" El objetivo del proyecto fue estabilizar el suelo arcilloso de la Vía de Evitamiento durante el año 2021, mejorando así la subrasante en la provincia de Abancay - Apurímac. El estudio empleó un nivel de investigación experimental, un diseño de investigación aplicada, una estrategia deductiva hipotética y un enfoque cuantitativo. Los hallazgos demostraron que agregar cal en proporciones de 4%, 8% y 12% mejora la capacidad del suelo para sostenerse a sí mismo y, por lo tanto, mejora la estabilidad del suelo de subrasante. El 28,5% es el CBR (95% 0,1") del suelo tratado con 12% de cal, mientras que 24,95% es el CBR (95% 0,1") del suelo tratado con 8% de cal Comparativamente, el CBR del suelo natural (95% 0,1") de 9,4% es muy inferior al del suelo tratado con 4% de cal, que tiene un CBR de 19,2% (95% 0,1"). El resultado fue un valor de p de 0,00, que es significativamente menor que 0,05. En consecuencia, podemos verificar estadísticamente con un 95% de certeza que el CBR promedio (95% 0,1") de suelo nativo y suelo que ha sido modificado con diferentes cantidades de cal difiere significativamente. Por tanto, utilizando un 12% de cal, podemos confirmar que el porcentaje de suelo tratado con cal tiene un impacto significativo y positivo en el CBR (95% 0,1"). Según los hallazgos del estudio, la aplicación de cal en proporciones de 4%, 8% y 12% mejora la capacidad del suelo para retenerse, estabilizando el suelo de subrasante en el proceso. Además, produce la proporción perfecta de cal del 8%. (Tacca Huaracca, 2021).

Según **Angulo Roldan & Zavaleta Papa**, (2021) en su investigación titulado estabilización de suelos arcillosos con cal para el mejoramiento de las propiedades físico – mecánico como capa de rodadura en la prolongación navarro cauper, distrito de san juan – Maynas – Iquitos, 2019” su objetivo fue examinar cómo se comportaban las cualidades físico-mecánicas de varios tipos de suelos cuando eran tratados (estabilizados) con cal hidratada y cal viva. La metodología es deductiva porque se analizan los fenómenos del suelo mediante lineamientos que se aplican de acuerdo con la normativa peruana vigente. Los gráficos de barras de las variables dependientes, como plasticidad, densidad seca máxima, capacidad de soporte con CBR y expansión con porcentaje de cal, se utilizan de manera cuantitativa, mientras que las correlaciones y diagramas entre las variables se utilizan de manera descriptiva. En dos suelos, calicata 01 con alta plasticidad y expansión y calicata 02 con baja plasticidad y expansión, se aplicaron dosis de cal hidratada y cal viva del 2%, 4% y 6%. Los resultados mostraron que la cal viva mejora la resistencia, limita el efecto expansivo y reduce ligeramente la densidad y la plasticidad. Sin embargo, en circunstancias comparables, la cal hidratada conserva su densidad, flexibilidad y expansión y no ofrece mucha resistencia. concluyendo que la cal viva puede ser utilizada para la estabilización de suelos en zonas sin capa de desgaste en suelos arcillosos, expansivos y con importante plasticidad. (Angulo Roldan & Zavaleta Papa, 2021).

Según Moale **Quispe & Rivera Justo**, (2019) en su investigación titulada “Estabilización química de suelos arcillosos con cal para uso como subrasante en caminos terrestres en la localidad de villa rica” El presente su objetivo investigar el proceso de estabilización de suelos arcillosos con cal e

identificar la concentración ideal de estabilizador para garantizar un aumento notable en la capacidad de soporte de la subrasante para pavimentos flexibles. El pueblo de Villa Rica, ubicado a 3+000 kilómetros de la ruta Oconal-Cedropampa, sirve como región de investigación y lugar desde donde se tomaron las muestras. Al encerrar las partículas de arcilla, la cal, como agente estabilizador, aumenta la resiliencia de los suelos arcillosos y tiene la capacidad de absorber agua. En otras palabras, se crea un efecto de floculación cuando las partículas de arcilla y la cal se combinan, dando como resultado una doble capa difusa que aumenta la resistencia a la penetración y disminuye la posibilidad de que los suelos finos se hinchen y expandan. Se realizaron pruebas de granulometría, gravedad específica, límites de consistencia, proctor modificado y CBR en muestras de suelo que se dejaron en su estado original, así como en aquellas que tenían porcentajes de 9%, 15% y 21% de cal. Además, se utilizó el enfoque AASHTO Y SUCS para la clasificación de suelos con el fin de complementar los cálculos necesarios. Se determinó que la mejor proporción de cal era del 15%, lo que elevó el valor CBR del suelo del 3,3% al 5,9%. Además, se realizó un análisis costo-beneficio del diseño estructural del pavimento. Como modelos para el pavimento se utilizan tanto una subrasante natural como una subrasante mejorada con el porcentaje de cal adecuado. (Moale Quispe & Rivera Justo, 2019).

Para **Cuadros Surichaqui**, (2017) en su tesis titulada "estabilización química con óxido de calcio (cal viva) influye positivamente en las propiedades físico-mecánicas de la subrasante" la estabilización química con óxido de Calcio tiene un impacto favorable en las propiedades físico-mecánicas de la subrasante. Un porcentaje ideal para la adición de óxido de

calcio al suelo es del 3% en peso. Esto reducirá el índice de plasticidad de un suelo natural del 19,08% al 4,17% después de la estabilización. También aumentará significativamente el C.B.R. valor del 4,85% al 15,64% después de la estabilización. Además, la adición de óxido de calcio al suelo mostrará una ventaja económica sobre la estabilización física mediante el método combinado del suelo, con una importante reducción de costos del 44,41%. (Cuadros Surichaqui, 2017)

Según **Jara Anyaypoma**, (2014) en su tesis titulada “Efecto de la cal como estabilizante de una subrasante de suelo arcilloso” evaluó el impacto de la cal como estabilizador de una subrasante de suelo arcilloso para mejorar sus cualidades mecánicas y físicas mediante procesos estandarizados. Usamos varios porcentajes de cal (0%, 2%, 4% y 6%) por peso de la muestra de suelo arcilloso que iba a ser examinada para la evaluación. Determinamos estos porcentajes de cal de acuerdo con ASTM 6276 y llevamos a cabo las pruebas de acuerdo con los procedimientos operativos normales. Los resultados de esta evaluación de estabilización muestran variaciones significativas en el CBR (capacidad de soporte), el cual alcanzó un valor de 11,48% al agregar 4% de cal, siendo el CBR con 0% de cal 2,55. El índice de plasticidad también varió significativamente, cayendo a un valor de 9,23 con la adición de cal al 6%, desde un índice de plasticidad inicial de 36,87 con la adición de cal al 0%. Al comparar los resultados obtenidos con los distintos porcentajes de cal para el tipo de suelo A-7-5(29), añadir un 4% de cal da mejores resultados que añadir un 11,48%, alcanzando el CBR máximo un 95%. (Jara Anyaypoma, 2014).

Según **Vásquez Zamora & Marín García**, (2020) en su investigación titulado efecto de la cal como estabilizante de una

subrasante de suelos arcillosos en carreteras no pavimentadas en la selva baja. Aplicación carretera ex petroleros, loreto” el impacto de la cal como estabilizador de una subrasante de suelo arcilloso en caminos sin pavimentar en la selva baja, según su tesis. En la Selva Baja Peruana, donde predominan los suelos residuales, saprofitos y lateríticos, Loreto estudió el efecto de la cal como elemento estabilizador de una subrasante de suelo arcilloso. La investigación consistió en la aplicación de cal a la ruta de un petrolero. Para realizar la evaluación se trabajó utilizando la Norma ASTM 6276, el Manual de Carreteras del Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos y Manual de Ensayos de Materiales E 118. En peso de la muestra de suelo arcilloso que se tomó de la capa de subrasante se le agregaron porcentajes de 0%, 2%, 4%, 6% y 8% de cal. El índice de plasticidad varió según los hallazgos de la investigación. Por ejemplo, el valor inicial de 39,12 de la muestra C-1 disminuyó a 22,93 cuando se añadió 8% de cal, mientras que el valor inicial de 26,11 de la muestra C-2 disminuyó a 17,17 cuando se añadió 8% de cal. También hubo una variación significativa en CBR: en la muestra C-1, agregar un 8% de cal resultó en un valor de 9,35%, mientras que en la muestra C-2, agregar un 8% de cal resultó en un valor de 11,20%, siendo el CBR con 0% cal siendo 3,65. Al comparar los distintos porcentajes de cal para el tipo de suelo A-7-6 para las muestras C-1 y C-2, se encuentra que agregar un 8% de cal produce resultados superiores, lo que resulta en un CBR máximo al 95% de densidad seca máxima de 9,35% y 11,20%, respectivamente. (Vásquez Zamora & Marín García, Efecto de la cal como estabilizante de una subrasante de suelo arcilloso en carreteras no pavimentadas en selva baja. Aplicación carretera ex petroleros, Loreto[Tesis de Licenciatura; Universidad Científica del Perú], 2020).

Para **Moreira Cedeño & Guamán Ller**, (2016) en su tesis titulada "Estudio del comportamiento de un suelo arcilloso estabilizado por dos métodos químicos (cal y cloruro de sodio)" El comportamiento de un suelo arcilloso estabilizado con cal y cloruro de sodio en porcentajes de 2,5% - 7,5% y 12,5% fue dado a conocer en su tesis, "Estudio del comportamiento de un suelo arcilloso estabilizado por dos métodos químicos (cal y cloruro de sodio)". La muestra de suelo se tomó de un pozo de 1 m. de profundidad en la ciudad de Puyo, y se utilizaron muestras tanto modificadas como no afectadas en todo el volumen del pozo para pruebas de laboratorio. Se realizaron las pruebas de Cono y Arena de Ottawa, Contenido de Humedad y Compresión Libre para analizar las cualidades del suelo en condiciones típicas. Se realizaron los siguientes experimentos para examinar las características de los suelos naturales y estabilizados: Método Proctor D modificado, límites de Atterberg, gravedad específica, densidad real de los agentes estabilizadores, resistencia a la compresión simple (q_{ult} y q_{adm}) y capacidad de soporte del suelo (CBR) son todos ejemplos de esto. Para mejorar la interacción entre las partículas de arcilla y el cloruro de sodio, se utilizó sal granular en polvo. Los bloques se construyeron y probaron a los 7, 14 y 21 días para la prueba básica de resistencia a la compresión. Se comparó el comportamiento del suelo en condiciones normales con el de suelos estabilizados con cloruro de sodio y cal mediante las pruebas correspondientes, y se encontró la cantidad ideal de cada estabilizante. (Moreira Cedeño & Guamán Ller, 2016).

1.2 BASES TEÓRICAS

1.2.1 Estabilización de suelos

Según (Virto Tomasto, 2022)

El proceso de mejorar las características físicas del suelo de cimentación utilizando una variedad de técnicas, algunas de las cuales incluyen procesos mecánicos, se conoce conceptualmente como "estabilización del suelo". En otras situaciones se emplean agentes químicos que, aplicados al suelo, cambian sus características. También se pueden utilizar técnicas que utilizan materiales sintéticos o naturales. Son técnicas para mejorar el suelo natural cuando son insuficientes o deficientes para el propósito previsto. Estos se denominan base o subbase granular tratada, respectivamente, ya que han mejorado las cualidades de los suelos granulares que serán utilizados como base o sub base. Además, se añaden otros elementos como cemento, cal, asfalto u otros productos de variada procedencia para mejorar los distintos tipos de suelo, ya sean de calidad granular, cohesiva o mixta. Modificar el suelo de los cimientos y agregar uno o más productos químicos estabilizadores son otras técnicas para estabilizar el suelo.

El objetivo de la estabilización del suelo es aumentar la resistencia mecánica de forma permanente y que no se vea afectada en el tiempo. Toda tecnología de mejora del suelo debe utilizarse junto con un procedimiento de compactación. Para garantizar una construcción adecuada y una excelente conservación de los proyectos viales, cada técnica de estabilización de suelos debe examinarse minuciosamente para determinar cuál es la opción más asequible y sencilla que se puede implementar con el equipo actualmente en uso. Se mencionan las siguientes técnicas de estabilización:

- Estabilización del Suelo Mecánicamente.

- Estabilización mediante Mezcla de Suelo.
- Suelos estabilizados con cal.
- Suelos estabilizados con cemento.
- Suelos estabilizados con escorias.
- suelos Estabilizados Con Emulsión Asfáltica.
- Estabilización química del suelo.
- Estabilización geo sintéticos.
- Mejoramiento por Combinación de Suelos.

Se requiere que los suelos naturales con un CBR de al menos más del 6% se utilicen como subrasante para el desarrollo de carreteras. Se debe investigar la mejor manera de mejorar el terreno si la subrasante es inadecuada o deficiente. Además, si las opciones estudiadas resultan demasiado costosas y difíciles de implementar, se podrían seleccionar otras técnicas de mejora, incluidos terraplenes, elevación de nivel, capas de arena o modificaciones de rutas.

Se debe prever una capa de protección anticontaminación de 10 centímetros o la instalación de un geotextil para atenuar las tierras blandas que potencialmente puedan filtrarse a través de las capas granulares del pavimento.

Se debe mantener un espaciamiento mínimo si se encuentra un nivel freático como consecuencia de la investigación del suelo en la sección de estratigrafía. Esto depende del tipo de subrasante que se encuentre en el sitio. Una subrasante de características excepcionales o muy buenas tendrá al menos 60 centímetros; una buena subrasante tendrá al menos 80 centímetros; una base con malas propiedades tendrá al menos 100 centímetros; y una subrasante insuficiente para el proyecto vial será de al menos 120 centímetros. (Virto Tomasto, 2022).

1.2.2 Tipos de estabilización

Según (Angulo Roldan & Zavaleta Papa, 2021) &(Virto Tomasto, 2022)

1.2.2.1 Estabilización Mecánica

"El objetivo de la estabilización mecánica de suelos es mejorar el material del suelo actual manteniendo su composición y/o estructura fundamental.

Sólo la compactación, que reduce la cantidad de huecos en el suelo, mejora la resistencia al corte, aumenta la densidad, mejora la distribución de las presiones que actúan sobre el suelo y disminuye la contracción del suelo, se utiliza para lograr este tipo de estabilidad. y, en última instancia, resulta en una disminución de los asentamientos.

"Para satisfacer los criterios técnicos especificados para cada suelo, una adecuada compactación requiere la realización de pruebas en el terreno y controles de calidad para estandarizar los equipos a utilizar según el tipo de material, el espesor de la capa y el número de pasadas. " Entre nuestras técnicas de estabilización mecánica.

- **Amasado:** Los rodillos de pata de cabra son equipos utilizados para este proceso. La compactación se realiza de abajo hacia arriba, aumentando la presión en el lecho inferior sugerido para suelos cohesivos y finos.
- **Impactos de carga:** Para compactar suelos de arena fina se utilizan pisonos o bolas gigantes, que combinan impacto y peso son ideales para espacios reducidos".
- **Presión estática:** Utilizan la acción de amasado con peso estático con rodillos lisos y neumáticos

que se combinan”.

- **Vibración:** Las partículas se reordenan mediante rodillos vibratorios”.

1.2.2.2 Estabilización física

Mediante el uso de este proceso, el suelo se mejora y sufre los siguientes cambios físicos:

- **Combinación o mezcla de suelos:** Esta es una técnica comúnmente utilizada, pero requiere de compactación como complemento para obtener los resultados requeridos. Se toma en consideración la combinación o mezcla de componentes de suelo preexistentes (plataforma) y materiales prestados (cantera). En este tipo de estabilización. Por ejemplo, los suelos con alta fricción interna, como grava y arena limpia, pueden soportar altas tensiones. A pesar de esta propiedad, el suelo no es lo suficientemente estable como para ser utilizado como material de pavimento en una carretera porque sus partículas se mueven libremente e incluso pueden separarse del pavimento cuando los vehículos pasan por encima de ellos. Por el contrario, las arcillas pierden estabilidad cuando se produce la saturación debido a su alta cohesividad y baja fricción. Cuando estos dos tipos de suelo se combinan adecuadamente, se puede crear una sustancia estable en la que la alta fricción interna de uno y la alta cohesión del otro pueden utilizarse para mantener las partículas juntas. Luego del mezclado, se formará y compactará de acuerdo con las especificaciones de densidad y espesor

especificadas en el proyecto.

- **Reemplazo de suelo:** A menudo se utiliza para la capa de subrasante (suelo natural existente) donde los materiales insuficientes o contaminados, la baja capacidad de soporte y la mínima contribución al pavimento hacen que el suelo existente sea removido y "agrega un material con buenas características para los requisitos de del pavimento, la carga para la que se solicitará y que está contemplada dentro de las especificaciones técnicas del proyecto."
- **Geosintéticos:** A diferencia de los suelos, los geosintéticos ofrecen resistencia a la tracción, así como una mejora notable en la construcción y el rendimiento del pavimento. La capacidad de los geosintéticos para resistir agentes agresivos y mantener su resistencia mecánica ha permitido una diversificación de funciones. Como resultado, los geotextiles están diseñados específicamente para drenar y prevenir la contaminación; las geomallas están diseñadas específicamente para reforzar pavimentos o terrenos; y las geomembranas están diseñadas específicamente para impermeabilizar o proteger.

1.2.2.3 Estabilización química

Agregar ciertos agentes químicos estabilizadores, sólidos o líquidos, es la idea fundamental detrás de esto; El cemento Portland, el asfalto, la cal, las cenizas y la escoria son algunos ejemplos de materiales que se emplean habitualmente. El objetivo

de este tipo de tecnología de estabilización es provocar una reacción química entre el suelo y los estabilizadores para cambiar las características y propiedades del suelo. Esto aumentará la capacidad del suelo para responder a las demandas de cargas dinámicas, que encontrará a lo largo de su vida útil.

- **Estabilización con cal:** Además de lograr el resultado deseado, la adición de cal a suelos con mayor plasticidad fortalece la capacidad de los suelos para resistir la compresión en el tiempo. La cantidad de cal necesaria variará según las características y necesidades del suelo estabilizador. Las concentraciones de cal utilizadas para la estabilización suelen oscilar entre el 2 y el 8% en peso. El suelo debe ser maleable ($IP > 10$) para que la cal reaccione correctamente y se produzca la acción puzolánica, aglomerando suficientemente las partículas del suelo.
- **Estabilización con cemento:** Un suelo suficientemente desintegrado se mezcla íntimamente con cemento y agua, seguido de compactación y curado suficiente para producir el material conocido como "suelo-cemento". Esto convierte el material suelto en una sustancia endurecida considerablemente más resistente. La prueba de Proctor modificada se utiliza para evaluar la densidad ideal del suelo y el contenido de agua. El tipo, la dosis y la edad del cemento, así como la duración de la reacción del material, afectan las cualidades del cemento del suelo. El contenido de cemento y la edad de la mezcla

contribuyen al aumento de la resistencia del suelo-cemento. Antes de que comience el fraguado, el índice de plasticidad (PI) del suelo disminuye, su límite líquido (LL) fluctúa un poco y su densidad seca máxima (MDS) y humedad óptima (OCH) aumentan o disminuyen significativamente cuando se aplica cemento, según el tipo de suelo. Según el tipo de suelo, la cantidad de cemento necesaria se puede determinar de forma aproximada utilizando la siguiente tabla".

1.2.2.4 Estabilización con productos asfálticos

La combinación de gamuzas con productos asfálticos (emulsión asfáltica, asfalto espumado, etc.) tiene como objetivo aumentar la estabilidad ya que las propiedades aglomerantes del aglomerante encierran las partículas del suelo, evitando que la capa mejorada se deforme bajo la fuerza del tráfico. En suelos cohesivos, el estabilizador tiene como objetivo agrupar las partículas de arcilla y rellenar los espacios, lo que impermeabiliza el suelo y lo hace menos sujeto a las fluctuaciones de humedad, aumentando así su estabilidad en situaciones complicadas.

"La granulometría, o superficie específica, del suelo determina principalmente la cantidad de aglutinante necesaria. Los suelos plásticos muy finos no se pueden estabilizar a un costo razonable; los mejores tipos de suelos son los suelos granulares, pocos finos y plasticidad moderada, con menos del 20% pasando la malla No. 200, $LL < 30$ e $IP < 10$ ", porque son difíciles de pulverizar y requieren mucho betún. Generalmente se utiliza entre un 4% y un 7% de asfalto y en cualquier

caso la cantidad total de agua para compactación más el asfalto no debe ser mayor a la necesaria para llenar los huecos de la mezcla compactada.

“Los asfaltos fluidizados y las emulsiones asfálticas de viscosidad media son los tipos más comunes de material asfáltico empleados. La combinación a menudo se mezcla en el sitio y la granulometría del suelo, el contenido de humedad y el clima influirán en la selección del ligante asfáltico. Para obtener una mezcla más adecuada, una mayor superficie específica necesitará un aglutinante de curado y rotura más lento. La granulometría podrá ser abierta, cerrada con finos o cerrada sin finos. En climas más cálidos también se deben utilizar productos de curado y rotura más lentos, que pueden ser más viscosos. Dependiendo de la cantidad de cemento asfáltico utilizado, existen tres tipos de emulsiones: de fraguado lento, medio y rápido. Una emulsión de asfalto es una mezcla de asfalto y agua del tamaño de partículas diminutas, que a menudo oscilan entre 3 y 9 micrones”.

"Este tipo de aglutinante se puede usar con casi cualquier tipo de material, pero es mejor usarlo en suelos espesos o materiales triturados que no tienen un índice de plasticidad alto debido a consideraciones de costo; también se puede usar con arcillas, pero sólo ofrece impermeabilidad; adicionalmente, en el caso de los suelos plásticos, se puede obtener más economía y eficiencia con otros productos."

“Antes de abrir al tráfico la capa estabilizada se permite un intervalo de curado de dos días. Cuando pase tráfico y se note desprendimiento de agregados, detenga el flujo de tráfico y aplique nueva compactación durante las horas más cálidas hasta que cese la ocurrencia. El proceso de curado es crucial para la estabilización del asfalto porque depende de numerosos factores, incluida la cantidad de asfalto aplicado, el viento, la humedad, la cantidad de precipitación y la temperatura ambiente. Por este motivo, es imprescindible tener en cuenta el curado de estas capas estabilizadas o tratadas con asfalto”.

- **Estabilización con cloruro de sodio**

La sal (cloruro de sodio) se utiliza principalmente en bases de tráfico ligero y superficies rodantes para reducir el polvo. En regiones extremadamente áridas, también se utiliza para evitar que el agua de compactación se evapore rápidamente. Al ser higroscópico, es decir, capaz de absorber la humedad de los materiales circundantes y del aire, el cloruro de sodio o sal es un estabilizador natural que reduce el punto de evaporación y aumenta la cohesión del suelo. Debido al intercambio iónico entre el sodio y los constituyentes minerales de la fina matriz de los materiales, que produce una acción cementante, su actividad coagulante da como resultado que se requiera menos esfuerzo mecánico para lograr la densificación requerida.

"Los suelos que se utilizan para producir suelo - cloruro de sodio tienen que ser puros y no contener más del 3% de materia orgánica en peso. El índice

de plasticidad del suelo tiene que ser superior al 8%, mientras que el 12% es el mínimo necesario para la porción de suelos que pasan la malla No. 200. El tamaño máximo del agregado grueso que contiene el suelo no debe ser mayor a un tercio del espesor de la capa compactada de suelo-cloruro de sodio. De acuerdo a las especificaciones del proyecto, el suelo estabilizado La capa tendrá un espesor total de 150 mm o 200 mm. Normalmente, se añaden entre 50 y 80 kg de cloruro de sodio por m³ de suelo que debe estabilizarse.

- **Estabilización con cloruro de calcio:**

“Aunque los dos productos funcionan de manera similar, se recomienda utilizar este ya que el cloruro de sodio tiene un impacto oxidante. En cualquier caso, el cloruro de calcio ayuda en el proceso de compactación, fortalece la resiliencia del suelo, evita que la superficie colapse y reduce el polvo. Las propiedades higroscópicas de este producto ayudan a preservar la humedad en la superficie de la carretera. En suelo seco, la dosis oscila entre el 1% y el 2% de cloruro cálcico en peso. Al igual que ocurre con la estabilización con cloruro de sodio, el mezclado, compactación y acabado se realizan de manera similar: “Generalmente se aplica disuelto en agua mediante riego al inicio del día mientras el material está seco”.

- **Estabilización con cloruro de magnesio**

“El cloruro de magnesio (MgCl) es un cloruro cristalino blanco que aumenta la tensión superficial más que el cloruro de calcio, lo que da como resultado una superficie de rodadura más firme.

Químicamente hablando, el cloruro de magnesio se compone de alrededor de un 10,5% de magnesio, un 33,5% de cloro, un 52% de agua y un 4% de impurezas. Debido a su alto contenido de humedad, se siente grasoso al tacto. Posee las siguientes cualidades para su uso en carreteras”:

- **Higroscópico:** Puede absorber humedad del entorno, incluso en los lugares más secos.
- **Aglutinante:** Cohesiona las diminutas partículas y permite la consolidación de la superficie de rodadura.
- **Resistente a la evaporación:** Su baja tensión de vapor evita la pérdida de la humedad absorbida.
-32,8°C es la temperatura mínima de congelación.
- **Altamente soluble en agua:** Hace que sea sencillo y rápido preparar una solución.
- **El cloruro de magnesio** se puede utilizar en carreteras pavimentadas para bajar el punto de congelación del agua y evitar la formación de hielo a temperaturas ambiente inferiores a -5°C. También se puede utilizar para derretir el hielo ya formado en el pavimento (descongelamiento).
- **El camino no pavimentado** debe estar adecuadamente preparado, humedecido, compactado y libre de deterioro superficial para poder ser utilizado como tratamiento de supresión de polvo. En el caso de que el producto se utilice como estabilizador de superficies, se debe mezclar con éste la capa superior de la capa reafirmante en un espesor

variable de 7 a 15 cm, dependiendo del diseño que se haya realizado.

- **Estabilización con escorias de fundición**

“Se utiliza actualmente en muchas áreas del mundo como adhesivo asfáltico para la capa de asfalto, el material base y subbase en los pavimentos y la estabilización subterránea. Este subproducto en la construcción de infraestructura de carreteras, se evitan nuevas cuevas y se preserva el paisaje local. Debido a que no es necesario procesar agregados, se reduce la cantidad de energía y el consumo de combustible, y se reducen las emisiones de CO₂. gracias a que el estruendo de las fábricas de metalurgia y otros hornos de fundición se utilizan actualmente en muchas partes del mundo como adhesivo asfáltico para la capa de asfalto, el material base y subbase en los pasillos y la estabilización del nivel inferior. Este subproducto en la construcción de infraestructura de carreteras, se evitan nuevas cuevas y se preserva el paisaje local. Por no requerir procesamiento agregado, se reduce el consumo de energía y combustible, y se reduce las emisiones de CO₂.”

"Los porcentajes en peso aproximados de escorias y cal en suelos estabilizados con escorias y cal son de 35% - 45% en volumen y 1,5 y 3%, respectivamente. Es más fácil de mantener sin desgastar prematuramente las palas de la motoniveladora ni provocar surcos en

el suelo. pavimento cuando se utilizan pendientes no mayores que arena”. (Angulo Roldan & Zavaleta Papa, 2021) &(Virto Tomasto, 2022).

1.2.3 Estabilización con cal

Según (Vásquez Zamora & Marín García, 2020)

El proceso de estabilización química del suelo se basa en la interacción de los componentes del suelo, las condiciones ambientales y, en este caso, el exceso de cal. La temperatura, el agua y el aire afectan el medio ambiente; la mineralogía, o la cantidad de minerales de cuarzo y arcilla en el suelo, afecta el suelo; y la cal, que incluye óxido de calcio o magnesio, interactúa con el sistema. Los procesos químicos, físicos y físico-químicos, los más frecuentes entre el suelo y la cal, son las causas de esta dependencia. Por tanto, los cuatro mecanismos distintos que contribuyen a la estabilización son el intercambio iónico, la floculación y aglomeración, las reacciones puzolánicas y la carbonatación.

La estabilización del suelo, o suelo-cal, se logra mezclando bien tierra, cal y agua. Después de calcinar las rocas calizas, se producen dos formas principales de cal: hidróxido de calcio, también conocido como cal apagada, y óxido de calcio, a menudo conocido como cal viva. Este método de estabilizar el suelo utilizando cal disminuye la elasticidad del suelo y al mismo tiempo aumenta la resistencia del suelo o la capacidad de carga (CBR). Después de la estabilización se producen cambios significativos en las características del suelo, lo que conduce a una resistencia y estabilidad a largo plazo, particularmente en lo que respecta a la acción del agua. (Vásquez Zamora & Marín García, 2020)

1.2.4 Influencia de la cal en las características de los suelos

Según (Fontalvo Abuchar, Medrano Barajas, & Nadad Campo, 2006)

1.2.4.1 Límite líquido – Límite plástico – Índice plástico

Uno de los muchos usos de la cal es cambiar drásticamente la flexibilidad del suelo. En suelos con índices plásticos inferiores a 15, la cal aumenta el límite líquido, provocando un ligero aumento del índice plástico. Para suelos altamente plásticos (IP >15), la cal frecuentemente eleva el límite plástico y disminuye el límite líquido, lo que resulta en una disminución perceptible en el índice plástico.

1.2.4.2 Límite de contracción

“Según los informes, agregar cal al suelo hace que las partículas de arcilla floculen, lo que modifica la textura básica del suelo. el efecto del suelo tratado sobre su máxima contracción”.

1.2.4.3 Influencia sobre la densidad seca

Se ha observado que la adición de cal hace que las partículas de arcilla del suelo floculen, alterando la textura elemental del suelo. el efecto del suelo tratado sobre su máxima contracción.

1.2.4.4 Influencia sobre la resistencia de los suelos

- Si bien la cal disminuye la densidad de compactación del suelo, su capacidad resistiva no se ve afectada de la misma manera. Por el contrario, como veremos más adelante, la adición de cal aumenta la resistividad del suelo

según lo determinado por varias pruebas. Los cambios en las películas que encierran las partículas de arcilla y una granulación de estas partículas son los que producen el aumento inicial de la resistencia del suelo.

La resistencia de las probetas aumenta cuando se curan durante un tiempo determinado. Si las probetas se ensayan después de un tiempo de curado y se aumenta su compactación, también se puede demostrar un efecto similar.

Después de un tiempo específico cuando comienza el fraguado, el impacto causado por la actividad cementante de la cal se hace evidente en lugar de inmediatamente después de la compactación.

- En la mayoría de las situaciones, las pruebas de valor de soporte de California en suelos tratados con cal revelan un aumento notable en la estabilidad relativa al suelo
Se pueden incluir las siguientes variaciones y la prueba se realiza de acuerdo con el procedimiento estándar que se utiliza frecuentemente para suelos.
- Tan pronto como la tierra y la cal húmeda estén bien combinadas, moldear el tubo de ensayo.
- Después de combinar la cal con la tierra y dejarla reposar en una habitación húmeda durante dos o cuatro horas, moldee las muestras de prueba.
- Continuar moldeando las piezas de prueba después de ampliar el periodo de reposo anterior a 24 horas.

- Después de siete días en el aire, deje la combinación tierra-cal adecuadamente húmeda.
- Triture el material, agregue agua en la cantidad adecuada y compacte.
- Después de agregar la cantidad ideal de agua, compactar la combinación suelo-cal y realizar pruebas de acuerdo con los procedimientos habituales, dejarlo en cámara húmeda durante siete días.
- Después de compactar las probetas según el apartado 2, dejarlas curar durante siete días antes de darles forma.

En estas situaciones, la penetración del pistón se realiza después del tiempo de inmersión estándar de 4 días. Las variaciones enumeradas anteriormente intentan imitar una variedad de escenarios que pueden surgir en la combinación suelo-cal en el campo, desde la mezcla hasta la compactación.

1.2.4.5 Determinación del porcentaje óptimo de cal.

Sin duda, el menor porcentaje de cal que sea capaz de cambiar las características del suelo al nivel necesario para el uso previsto del proyecto es la proporción ideal para estabilizar el suelo desde el punto de vista técnico y económico.

El objetivo previsto suele tener en cuenta dos escenarios:

- Aumentar la resiliencia ante tensiones tangenciales y normales.
- Disminuir la hinchazón

Algunas de las pruebas que se enumeran a continuación se pueden utilizar para medir el

primer factor:

Compresión confinada, prueba triaxial, valor de soporte de California, estabilómetro de Hveem o cohesiómetro. Es necesario comparar los resultados entre los valores que corresponden al suelo que simplemente ha sido combinado con varias proporciones de cal.

El porcentaje más bajo que se pueda agregar al suelo y aun así darle las cualidades adecuadas determinará la cantidad ideal a utilizar.

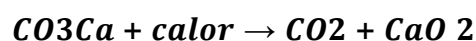
Después de elegir esta proporción, es prudente agregar entre un 0,5% y un 1% por razones prácticas, ya que inevitablemente se producirán residuos durante la construcción. (Fontalvo Abuchar, Medrano Barajas, & Nadad Campo, 2006)

1.2.5 Definición de cal

Según (Ayuque Almidon, 2022)

Esta sustancia es un subproducto de la descomposición de la roca caliza (CaCO_3) inducida por el calor. Cuando estas rocas se queman a temperaturas superiores a $900\text{ }^\circ\text{C}$, liberan óxido de calcio (CaO), a menudo denominado cal. Este sólido blanco tiene un peso específico de 3300 kg/m^3 . Cuando la cal y el agua entran en contacto, reaccionan fuertemente, produciendo un calor que puede superar los $90\text{ }^\circ\text{C}$ e hidratando la cal para producir una pasta blanca conocida como cal hidratada o cal apagada. Después de eso, se produce hidróxido de calcio o $\text{Ca}(\text{OH})_2$.

La cal es una sustancia blanca que se obtiene extrayendo una roca caliza, como lo demuestra la reacción química que sigue. La cal se utiliza, entre otras cosas, en la construcción.



Cuando el carbono cálcico se encuentra en su estado nativo (CaCO_3), se extrae y posteriormente se convierte en dióxido de carbono (CO_2), óxido de calcio 44 (CaO_{44}) y cal viva. Un producto que tiene el potencial de ofrecer una amplia gama de ventajas es la cal. Estos beneficios se enumeran a continuación:

- Secar
- Modificar
- Estabilizar

1.2.6 Clases de cal

Según (Ayuque Almidon, 2022)

- **Cal viva**

Este tipo de cal se produce por calcinación, que libera dióxido de carbono para crear óxido de calcio. Luego se producen masas de cal que ayudan a estabilizar el suelo. Dado que la cal viva se encuentra en grandes cantidades durante las estaciones húmedas, hay menos cantidad. Reduce la expansividad en suelos de base arcillosa. Tener que extremar las precauciones al trabajar con esta sustancia es uno de sus inconvenientes. Debes darle la debida atención.

- **Cal hidratada**

Este tipo de cal tiene un componente importante llamado hidróxido de cal, que se produce cuando se combinan óxido de calcio y agua. Esta cal hidratada tiene la ventaja de ser sencilla de utilizar, y los beneficios que produce son más en suelos con poca humedad, pero también tiene inconvenientes. Cuando se utiliza, produce mucho polvo y, debido a su peso volumétrico, los costos de transporte son mayores. Como resultado, surgen problemas de dosificación cuando el área se utiliza durante un período prolongado. (Ayuque Almidon, 2022)

1.2.7 Ensayos de laboratorio

Según (Moale Quispe & Rivera Justo, 2019)

1.2.7.1 Ensayo de granulometría por tamizado

Esta categorización es de naturaleza granulométrica, lo que significa que los granos del suelo se miden y clasifican. Determinar cuantitativamente la distribución del tamaño de las partículas del suelo es el objetivo de esta investigación. Los requisitos vigentes para la adecuada realización del ensayo son la Norma Técnica Peruana NTP 339. 128 y la Norma ASTM D-422. En ellos se explica cómo calcular los porcentajes de suelos que, hasta 75 μ m (No. 200), pasan por los distintos tamices de la serie utilizados en la prueba.

Se recomienda lavar el material utilizando malla No. 200, secarlo en estufa y luego categorizar el material que se conserva si el material tiene un alto porcentaje de arcillas y limos.

Para suelos granulares se recomienda el análisis mediante tamizado o granulometría; para suelos con alta concentración de finos, se recomienda una prueba con hidrómetro.

1.2.7.2 Análisis granulométricos por medio del hidrómetro

La base de esta prueba es la Ley de Stokes, que describe la fuerza de fricción que sienten los objetos esféricos (partículas de suelo dispersas de varios tamaños y formas) que se mueven dentro de un fluido laminar viscoso. Para medir la cantidad de partículas dispersas (las que pasan el tamiz No. 200) que permanecerán en suspensión por un tiempo predeterminado, se utilizará un hidrómetro. (Manual de Ensayos de Materiales, RD N°18_2014_MTC).

Para la implementación de los protocolos de prueba se encuentran actualmente en uso tanto la Norma Técnica Peruana NTP 339.128 como la Norma ASTM D422-63.

1.2.7.3 Determinación del límite líquido del suelo

El término "límite líquido" se refiere al porcentaje de humedad en el suelo que cambia de un estado plástico a un estado líquido. Estos atributos se utilizan para categorizar el suelo y establecer relaciones con sus propiedades. El contenido de humedad de una ranura de 13 mm se mide utilizando la copa Casagrande dejando caer la copa 25 veces a una velocidad de dos gotas por segundo desde una altura de caída de un centímetro. (Manual de Ensayos de Materiales, RD N° 18_2014_MTC). Esta prueba actualmente se rige por dos normas: ASTM D4318 y Norma Técnica Peruana 339.129.

1.2.7.4 Determinación del límite plástico del suelo

Cuando un suelo pasa de una condición semisólida a una plástica, se alcanza el límite plástico. Este se calcula utilizando el porcentaje de humedad que resulta de amasar manualmente las barras de tierra hasta que su diámetro sea de 3,2 mm sin que se rompan.

La Norma Técnica Peruana NTP 339.129 y ASTM D-4318 son dos de las normas vigentes para la realización de los procesos de prueba.

1.2.7.5 Proctor Modificado

Esta prueba de compactación del suelo se utiliza para suelos que tienen partículas retenidas en un tamiz de ½" que pesan 30% o menos. El objetivo de la prueba es encontrar el contenido de humedad ideal y la densidad seca máxima del suelo en un tamiz de 4' o 6' molde con un pistón de 10 lbf y una altura de caída de 18 pulgadas.

El suelo estará expuesto a una energía de compactación de 2,700 kN-m/m³ (56,000 ft-lbf/ft³).

La Norma Técnica Peruana NTP 339.141 y la Norma ASTM D-1557 son dos de las normas vigentes que podrán utilizarse para realizar los procedimientos de prueba.

1.2.7.6 Ensayo de california Bearing Ratio (CBR)

Al utilizar un índice de resistencia conocido como valor de relación de soporte, esta prueba se puede utilizar para calcular la capacidad de soporte de bases, subbases y subrasantes del suelo. Se debe conocer la humedad ideal y la densidad seca máxima del suelo antes de realizar la prueba. En términos generales, el suelo saturado tiene el estado de humedad menos deseable; Por este motivo, las muestras deben mantenerse en un molde con una sobrecarga que imite el peso del pavimento durante cuatro días sumergidas en agua.

Como resultado, la fuerza de penetración de 44,5 KN de un pistón produce el valor CBR.

1.2.7.7 Ensayo Equivalente de arena

El propósito de esta prueba es cuantificar el porcentaje de polvo fino peligroso o partículas de arcilla presentes en suelos o agregados finos.

1.2.7.8 Ensayo de gravedad específica

También conocida como prueba de gravedad específica de sólidos. La Norma Técnica Peruana 339.131 y la Norma ASTM D-854 son dos de las normas vigentes que rigen esta prueba.

Peso específico relativo de una partícula sólida (Gs): Es la correlación entre el volumen de una sustancia en peso en el aire a una determinada temperatura y el volumen

de agua destilada en el aire a la misma temperatura. (Norma Técnica 339.131 para Perú) (Moale Quispe & Rivera Justo, 2019).

1.2.8 Clasificación de suelos

Según (Moale Quispe & Rivera Justo, 2019).

- **Clasificación de suelos según AASHTO**

El suelo se divide en siete grupos (A1, A2, A3, A4, A5, A6, A7) según el porcentaje que pasa por los tamices Nos. 200, 40 y 10 y hasta los límites de Atterberg (líquido y plástico); los suelos granulares no deben pasar más del 35% a través del tamiz No. 200, y los suelos limo-arcillosos no deben pasar más del 35%. Este sistema es el más utilizado para estudios de carreteras.

- **Clasificación de suelos según SUCS**

El signo de dos letras del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (USCS) se utiliza para caracterizar la textura y el tamaño de las partículas de un suelo. Antes de clasificar el suelo, se debe realizar una granulometría del mismo, ya sea mediante tamizado u otro método. La Norma Técnica Peruana 339.134 y la Norma ASTM D2487 son dos de las normas vigentes que rigen esta prueba. (Moale Quispe & Rivera Justo, 2019).

1.3 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS

- **Cal viva:** Este tipo de cal se produce por calcinación, que libera dióxido de carbono para crear óxido de calcio. Luego se producen masas de cal que ayudan a estabilizar el suelo.
- **Cal hidratada:** Este tipo de cal tiene un componente importante llamado hidróxido de cal, que se produce cuando se combinan óxido de calcio y agua.

- **Proctor Modificado:** Esta prueba de compactación del suelo se utiliza para suelos que tienen partículas retenidas en un tamiz de 1/2" que pesan 30% o menos.
- **Higroscópico:** Puede absorber humedad del entorno, incluso en los lugares más secos.
- **Aglutinante:** Cohesiona las diminutas partículas y permite la consolidación de la superficie de rodadura.
- **Resistente a la evaporación:** Su baja tensión de vapor evita la pérdida de la humedad absorbida.
-32,8°C es la temperatura mínima de congelación.
- **Altamente soluble en agua:** Hace que sea sencillo y rápido preparar una solución.
- **Límite de contracción:** Según los informes, agregar cal al suelo hace que las partículas de arcilla floculen, lo que modifica la textura básica del suelo.

Capítulo II: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1 Descripción del problema

Tres importantes departamentos componen nuestra Amazonía peruana, y cada uno tiene el potencial de desarrollar su economía a través del movimiento de personas y el transporte de sus productos a través de carreteras y/o aceras. Sin embargo, las limitaciones presupuestarias impuestas a estos proyectos por parte de las entidades públicas y la escasez de materiales granulares en la región limitan la cantidad de dinero que se puede destinar a la construcción de estas vías y pavimentos, lo que aumenta la dificultad de construir o mejorar carreteras de primer nivel. infraestructura vial debido a su alto costo.

Gran parte del pavimento de la ciudad de Iquitos se ha degradado, por lo que requerirá reparación periódica por parte de organismos públicos durante toda su vida útil. De igual forma, debido a la inestabilidad de estos materiales plásticos, muchos

pavimentos que actualmente no han recibido mantenimiento han una capa rodante de material existente (arcilla, limo arcilloso o arena con alta concentración de arcilla en su estructura), que dificulta el acceso y tránsito de pasajeros y carga a vehículos de menor tamaño.

El uso de materiales existentes (suelos arcillosos con baja a alta plasticidad que se cree que no son utilizables para la construcción de carreteras) fue el foco de esta investigación porque están ampliamente disponibles y ocupan una porción significativa de la tierra en Iquitos. Cuando estos materiales se combinan con cal hidratada o viva, sus propiedades físico-mecánicas se alteran, ofreciendo una solución a largo plazo para su uso en capas de rodadura. Esto reduce la necesidad de materiales granulares y los gastos iniciales asociados con la construcción.

Como se indicó anteriormente, los suelos arcillosos inestables pueden volverse estables y trabajables nuevamente aplicando este tipo de estabilización química con cal. Para ilustrar los puntos antes mencionados, se realizaron experimentos utilizando cal hidratada y viva en dosis de 2%, 4% y 6%. Esto permite ampliar las ventajas de este tipo de estabilización, así como un conocimiento más profundo de los suelos arcillosos tratados en Iquitos para su uso en pavimentos de bajo costo.

2.2 Formulación del problema

2.2.1 Problema general

¿De qué manera incide la estabilización de los suelos arcillosos con cal en el mejoramiento de las propiedades físico – mecánicas como capa de rodadura en las calles del AA.HH las Brisas km 7, Distrito de San Juan Bautista, Iquitos - 2023?

2.2.2 Problemas específicos

¿Cómo obtener la incidencia entre el porcentaje de cal hidratada vs cal viva en la reducción de la plasticidad de los suelos arcillosos de las calles del AA. HH las Brisas km 7, Distrito de San Juan Bautista, ¿Iquitos - 2023?

¿Cómo obtener la incidencia entre el porcentaje de cal hidratada vs cal viva en el incremento de la máxima densidad de los suelos arcillosos de las calles del AA.HH las Brisas km 7, Distrito de San Juan Bautista, Iquitos - 2023?

¿Cómo obtener la incidencia entre el porcentaje de cal hidratada vs cal viva en el incremento de la capacidad de soporte de los suelos arcillosos de las calles del AA.HH las Brisas km 7, Distrito de San Juan Bautista, Iquitos - 2023?

2.3 Objetivos

2.3.1 Objetivo general

Determinar la incidencia de la estabilización de los suelos arcillosos con cal en el mejoramiento de las propiedades de físico-mecánicas como capa de rodadura en las calles del AA.HH las Brisas km 7, Distrito de San Juan Bautista, Iquitos - 2023.

2.3.2 Objetivos específicos

Comparar el porcentaje adecuado de cal hidratada vs cal viva que permita la reducción de la plasticidad de los suelos arcillosos en las calles del AA.HH las Brisas km 7, Distrito de San Juan Bautista, Iquitos - 2023.

Comparar el porcentaje adecuado de cal hidratada vs cal viva que permita el incremento la máxima densidad de los suelos arcillosos en las calles del AA.HH las Brisas km 7, Distrito de San Juan Bautista, Iquitos – 2023.

Comparar el porcentaje adecuado de cal hidratada vs cal viva que permita el incremento de la capacidad de soporte

de los suelos arcillosos en las calles del AA. HH las Brisas km 7, Distrito de San Juan Bautista, Iquitos – 2023.

2.4 Hipótesis

Hi: La estabilización de los suelos arcillosos con cal hidratada y cal viva en un (2%,4% y 6%) incide en 15% a 30% en el mejoramiento de las propiedades físico-mecánicas como capa de rodadura en las calles del AA. HH las Brisas km 7, Distrito de San Juan Bautista, Iquitos – 2023.

H0: La estabilización de los suelos arcillosos con cal hidratada y cal viva en un (2%,4% y 6%) no incide en 15% a 30% en el mejoramiento de las propiedades físico-mecánicas como capa de rodadura en las calles del AA. HH las Brisas km 7, Distrito de San Juan Bautista, Iquitos – 2023.

2.5 Variables

2.5.1 Identificación de las variables

(X): Estabilización de suelos arcillosos con cal.

(y): Propiedades físico-mecánicas.

2.5.2 Definición conceptual y operacional de las variables

2.5.2.1 Definición conceptual

Se considera que el proceso de ESTABILIZACIÓN de suelos arcillosos con cal mejora o cambia significativamente las características físicas y mecánicas de los suelos, lo que resulta en resistencia y estabilidad en el tiempo.

Normalmente, las características FÍSICO-MECÁNICAS de un suelo están estrechamente vinculadas a su composición mineralógica; esto es especialmente cierto para los suelos arcillosos.

VARIABLES	TIPO VARIABLE	NATURALEZA	DEFINICION CONCEPTUAL	INDICADORES	INSTRUMENTOS
Estabilización de suelos arcillosos concal	Independiente	Cuantitativa	ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS CON CAL se trata mejorar o modificar considerablemente las propiedades físico mecánicas de los suelos arcillosos, produciendo resistencia, estabilidad en un corto y largo plazo.	<ul style="list-style-type: none"> • Tipo de cal. • Propiedades químicas por tipo de cal. • Propiedades físicas por tipo de cal. • Porcentaje de cal. • Peso de cal. 	Según la (NTP 334.125:2017)
Propiedades físico-mecánicas	Dependiente	Cuantitativa	PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS es la relación directamente con la composición mineralógica del mismo, más aún cuando se trata de suelos arcillosos.	<ul style="list-style-type: none"> • Ensayos de límites de Atterberg • Ensayos de Proctor Modificado • CBR (California Bearing Ratio). • Ensayo de expansión complemento al CBR. • Ensayos de inmersión en agua. 	La norma ASTM D2936 regula los métodos y condiciones experimentales este ensayo.

2.5.2.2 Definición Operacional

El objetivo de la ESTABILIZACIÓN de suelos arcillosos mediante cal es alterar o mejorar significativamente sus características físico-mecánicas, dando como resultado estabilidad y resistencia a corto y largo plazo.

LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS, especialmente en suelos arcillosos, están directamente correlacionadas con la composición mineralógica del material.

Capítulo III: METODOLOGÍA

3.1 Tipo y diseño de investigación

3.1.1 Tipo de Investigación

Descriptivo – Explicativo, porque describe los hallazgos de experimentos en suelos sin cal (en su condición natural) y después de alteración, también se explican los resultados de plasticidad, densidad seca máxima, capacidad de soporte con CBR y expansión así misma las características cuando se aplica cal.

3.1.2 Diseño de investigación

Experimentalmente, a medida que se modifica la variable dependiente (cualidades físico-mecánicas) para obtener resultados variables de las pruebas de laboratorio de suelos manipulando la variable independiente (estabilización de suelos arcillosos con cal). Prospectivo porque los resultados de las pruebas pueden controlarse utilizando la información de los hallazgos que se encuentran en los manuales y leyes relacionadas con el uso de la cal, que facilitan el proceso de prueba. Longitudinal en el sentido de que las pruebas de laboratorio de suelos se utilizan muchas veces para examinar las variables de investigación.

3.2 Población y muestra

3.2.1 Población

La población está constituida por 559m de longitud en las calles del AA.HH. Las Brisas km 7, Distrito de San Juan Bautista, Maynas – Iquitos - 2023, se escoge este tramo debido a la presencia de suelos arcillosos inestables con pendiente alta (5.7%) donde en épocas de lluvias resulta difícil el acceso y tránsito vehicular.

3.2.2 Muestra

El Manual de Carreteras establece en el apartado de suelos y pavimentos que se requiere un ensayo por kilómetro para la caracterización de materiales en vías con bajo volumen de tránsito (menos de 200 automóviles por día), y lo mismo ocurre con los reglamentos técnicos.

Según CE.010 Pavimentos Urbanos, debe existir un número de investigación por cada 3600 m² de área en vías locales; Esta investigación tiene 3354 m². Para ello se excavaron dos calicatas en los progresivos 00+160 y 00+420, de las que se extrajo material de la capa de rodadura que ya se encontraba allí. Posteriormente estos materiales fueron estabilizados con cal y se realizaron las pruebas correspondientes en consecuencia se tomaron muestras de dos calicatas en las cuales se añadió un 2%, 4% y 6% de cal viva y cal hidratada respectivamente.

3.3 Técnicas, instrumentos y procedimiento de recolección de datos

3.3.1 Técnicas de recolección de datos exploración de campo

Se realizaron estudios de campo o calibraciones en el pavimento sin pavimentar de 559 metros de largo de la calle AA.HH. Distrito de San Juan Bautista, Las Brisas km 7, Maynas – Iquitos – 2023.

Además de las pruebas requeridas, como límites de Atterberg, Proctor modificado, CBR y expansión, los datos recopilados en el campo ayudarán a realizar la categorización del suelo utilizando las técnicas SUCCS y AASTHO. Al utilizar los detalles mencionados en el párrafo anterior, será factible analizar los datos recopilados y cumplir con las metas establecidas. También será posible

sacar conclusiones precisas y ofrecer recomendaciones.

3.3.2 Instrumentos de recolección de datos

Antes de elegir los instrumentos, se crearon hojas de cálculo para clasificación de suelos, límites de Atterberg, Proctor modificado, CBR y expansión. Estos documentos se utilizan para documentar el resultado de cada prueba.

La balanza, los tamices normados, la copa de Casagrande o el aparato de límite líquido, el agitador, el horno de secado, los moldes supervisores modificados, los moldes CBR, la prensa CBR, los diales de expansión, los contenedores y las herramientas son los principales equipos utilizados en la investigación.

3.3.3 Procedimiento de recolección de datos

- Toma de muestras de las fosas.
- Transporte y conservación de muestras de suelo.
- Recolección de muestras representativas.
- Las muestras se preparan en seco para su examen granulométrico.
- Análisis granulométrico de suelos mediante tamiz.
- Calcular el contenido de humedad de la muestra.
- Cálculo del límite líquido (LL) de la muestra.
- Cálculo del índice de plasticidad (PI) y límite plástico (LP).
- Muestras de prueba de Proctor adaptadas
- El índice de rodamiento de California (CBR) de la muestra.
- Una prueba de expansión adicional al CBR de la muestra.
- Examen e interpretación de los resultados del estado natural de la muestra.

- Adquirir cal hidratada y cal viva.
- Confirmación de las características físicas y químicas de la cal hidratada y la cal viva.
- Calcular los porcentajes aproximados de cal hidratada y viva para los ensayos CBR, Proctor modificado y plasticidad.
- Ensayos límite de Atterberg utilizando cal hidratada y viva.
- Pruebas Proctor que fueron alteradas por el uso de cal hidratada y viva.
- California Bearing Ratio (CBR) utilizando cal hidratada y viva.
- Ensayo de expansión utilizando cal hidratada y viva además de CBR.
- Ensayos utilizando materiales estabilizados con cal natural, hidratada y viva en agua.

3.3.4 Procesamiento de datos y análisis estadísticos

Luego de la adquisición de los resultados de las pruebas correspondientes a distintos porcentajes de cal viva y cal hidratada (2%, 4% y 6%), empleamos el software Microsoft Excel para generar tablas y gráficos.

Se comparan los resultados que obtuvo cada muestra con los distintos porcentajes de cal viva y cal hidratada.

Capítulo IV: RESULTADOS ESTADÍSTICOS

4.1 Comprobación de la hipótesis

La estabilización de los suelos arcillosos con cal hidratada y cal viva en un (2%,4% y 6%) incide en 15% a 30% en el mejoramiento de las propiedades físico-mecánicas como capa de rodadura en las calles del AA. HH las Brisas km 7, Distrito de San Juan Bautista, Iquitos – 2023.

TRATAMIENTO CON CAL HIDRATADA

Tratamiento	CBR 100%			
% Cal hidratada	Calicata 1	Calicata 2	Promedio	Desv. Est.
0	3.35	8.07	5.71	3.34
2	3.39	4.9	4.145	1.068
4	4.23	4.42	4.325	0.1344
6	3.15	6.82	4.99	2.6

El tratamiento con cal hidratada mostró que el porcentaje del 0% produjo el promedio más alto de CBR (5.71), sugiriendo una mejor capacidad de soporte en ausencia de cal, mientras que los promedios para 2% y 4% fueron más bajos (4.145 y 4.325 respectivamente), aunque el 6% mostró una leve mejora a 4.99.

Análisis de varianza (ANOVA)

Método

Hipótesis nula: Todas las medias son iguales
Hipótesis alterna: No todas las medias son iguales
Nivel de significancia: $\alpha = 0.05$

Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.

Información del factor

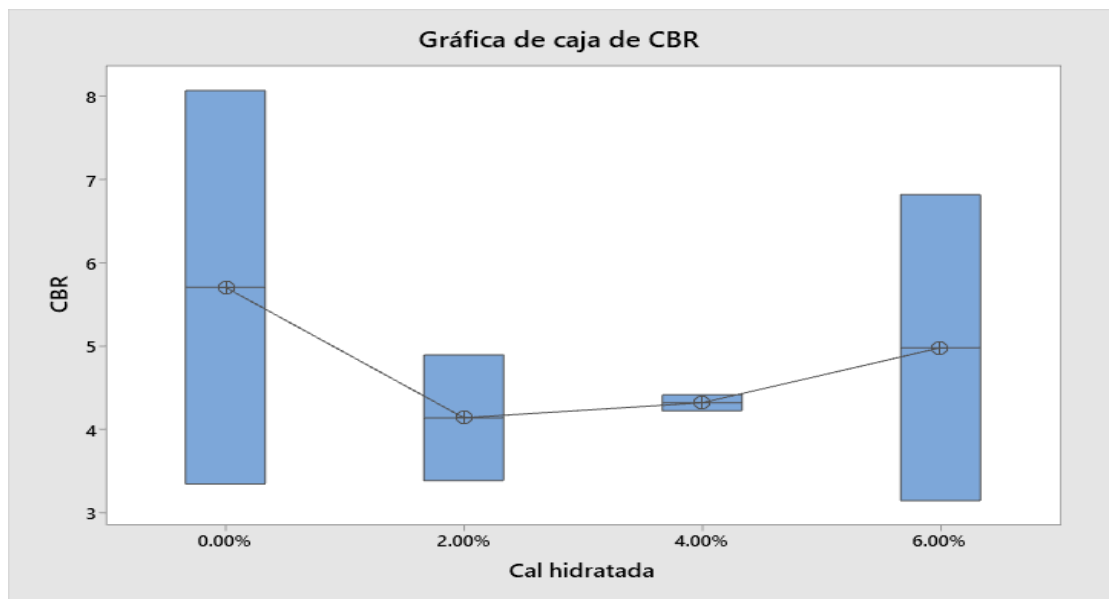
Factor	Niveles	Valores
Cal hidratada	4	0.00%, 2.00%, 4.00%, 6.00%

Análisis de Varianza

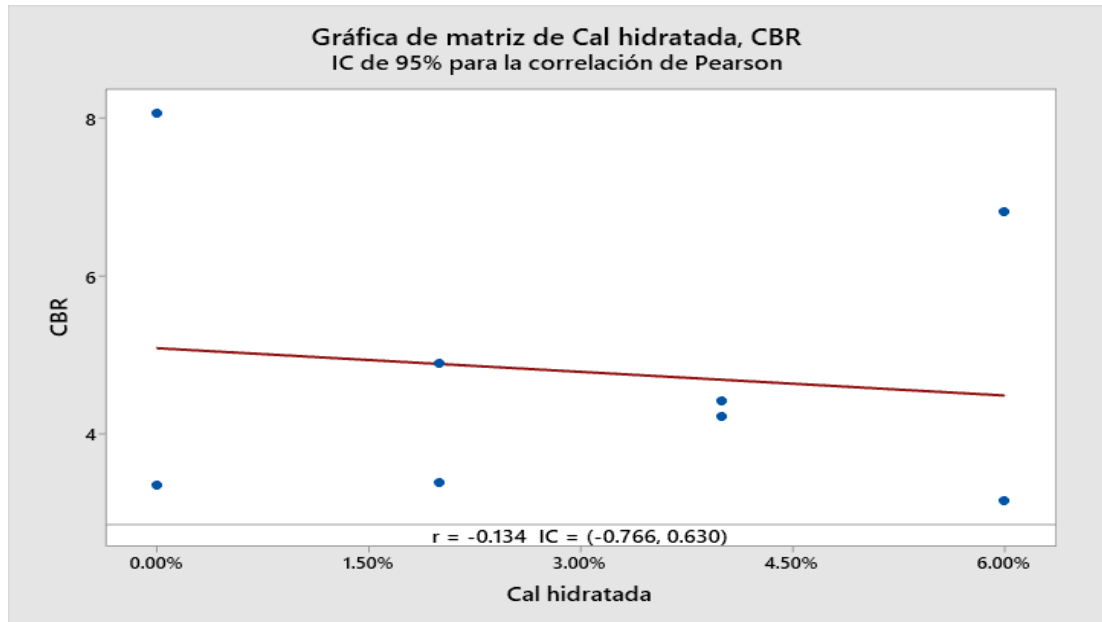
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Cal hidratada	3	3.033	1.011	0.21	0.883
Error	4	19.032	4.758		
Total	7	22.065			

El análisis de varianza (ANOVA) reveló un valor p de 0.883, lo que indica

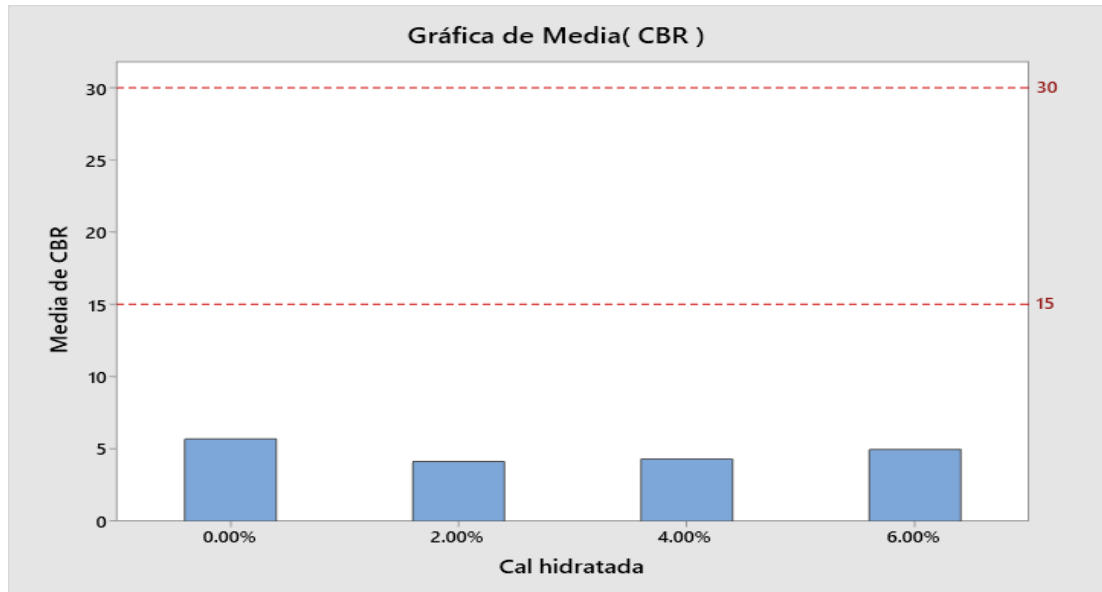
que no se puede rechazar la hipótesis nula de que todas las medias son iguales, sugiriendo que no hay diferencias estadísticamente significativas en los valores de CBR entre las diversas proporciones de cal hidratada evaluados. Esto implica que el uso de diferentes porcentajes de cal no parece influir de manera significativa en la capacidad de soporte del suelo, y se recomienda explorar otros factores o ajustes en el diseño experimental para investigar más a fondo el impacto de la cal hidratada.



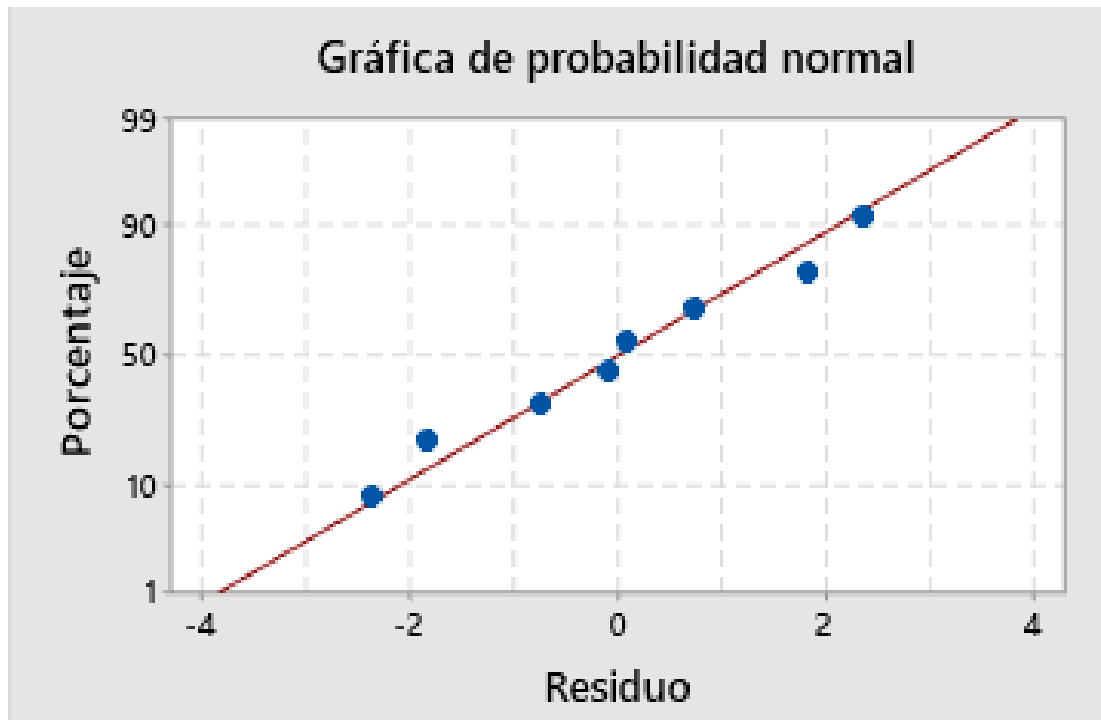
La gráfica de caja muestra la relación entre el porcentaje de cal hidratada y el CBR 100 %, evidenciando que a 0.00% y 6.00% de cal, el CBR tiende a ser más alto, mientras que en 2.00% y 4.00% se observa una disminución notable en los valores, con una mayor concentración de datos en estos puntos; además, los bigotes indican la dispersión de los datos y los puntos atípicos sugieren la presencia de valores extremos, lo que sugiere que hay un rango óptimo de cal hidratada que afecta la resistencia del material.



La gráfica de matriz muestra la relación entre el porcentaje de cal hidratada y el CBR 100%, con una línea de tendencia que indica una ligera tendencia negativa. El coeficiente de correlación de Pearson ($r = -0.134$) sugiere una correlación muy débil entre las dos variables, lo que implica que no hay una relación significativa entre el porcentaje de cal y el CBR. Además, el intervalo de confianza (IC) de 95% para la correlación es amplio $(-0.766, 0.630)$, lo que indica que la correlación podría ser negativa, positiva o nula. En resumen, los datos no muestran una relación clara entre la cal hidratada y el CBR 100%, lo que sugiere que otros factores podrían estar influyendo en los resultados.



La gráfica de media del CBR 100% muestra que, a medida que aumenta el porcentaje de cal hidratada (0.00%, 2.00%, 4.00%, 6.00%), la media del CBR se mantiene relativamente baja y constante, con valores que no superan los 7%. Esto indica que la adición de cal hidratada no mejora significativamente el CBR 100%, en los porcentajes analizados. Las líneas rojas horizontales en 15% y 30% sugieren que los valores medios de CBR están muy por debajo de estos umbrales, lo que implica que el rendimiento del material es bajo en todos los niveles de cal hidratada evaluados. En resumen, la gráfica sugiere que la cal hidratada no tiene un efecto positivo en la mejora del CBR 100% en los porcentajes presentados.



Gráfica de probabilidad normal: Esta gráfica muestra los residuos en relación con una distribución normal. La línea roja indica la tendencia esperada si los residuos siguen una distribución normal. En este caso, los puntos se alinean razonablemente bien con la línea, lo que sugiere que los residuos se distribuyen de manera normal, un supuesto importante para validar el modelo del análisis estadístico realizado.

TRATAMIENTO CON CAL VIVA

Tratamiento	CBR 100%			
	% Cal viva	Calicata 1	Calicata 2	Promedio
0	3.35	8.07	5.71	3.34
2	11.7	12.96	12.33	0.891
4	15.79	18.1	16.95	1.63
6	21.84	31.45	26.64	6.8

El tratamiento con cal hidratada mostró que el porcentaje del 0% produjo el promedio más alto de CBR (5.71), sugiriendo una mejor capacidad de soporte en ausencia de cal, mientras que los promedios para 2% y 4% fueron más bajos (4.145 y 4.325 respectivamente), aunque el 6% mostró una leve mejora a 4.99.

Análisis de Varianza (ANOVA)

Método

Hipótesis nula: Todas las medias son iguales

Hipótesis alterna: No todas las medias son iguales

Nivel de significancia: $\alpha = 0.05$

Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.

Información del factor

Factor Niveles Valores

Cal viva 4 0.00%, 2.00%, 4.00%, 6.00%

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Cal viva	3	464.32	154.77	10.19	0.024
Error	4	60.78	15.19		
Total	7	525.09			

El análisis de varianza (ANOVA) realizado para evaluar el efecto de distintos niveles de cal viva en el CBR 100% revela que hay diferencias significativas entre las medias de los tratamientos, con un valor p de 0.024, que es menor que el nivel de significancia $\alpha = 0.05$. Esto sugiere que rechazamos la hipótesis nula (H_0) y aceptamos la hipótesis alternativa (H_1), indicando que no todas las medias son iguales. Con un valor F de 10.19, se evidencia que la variación entre los tratamientos es mayor que la variación dentro de los tratamientos.

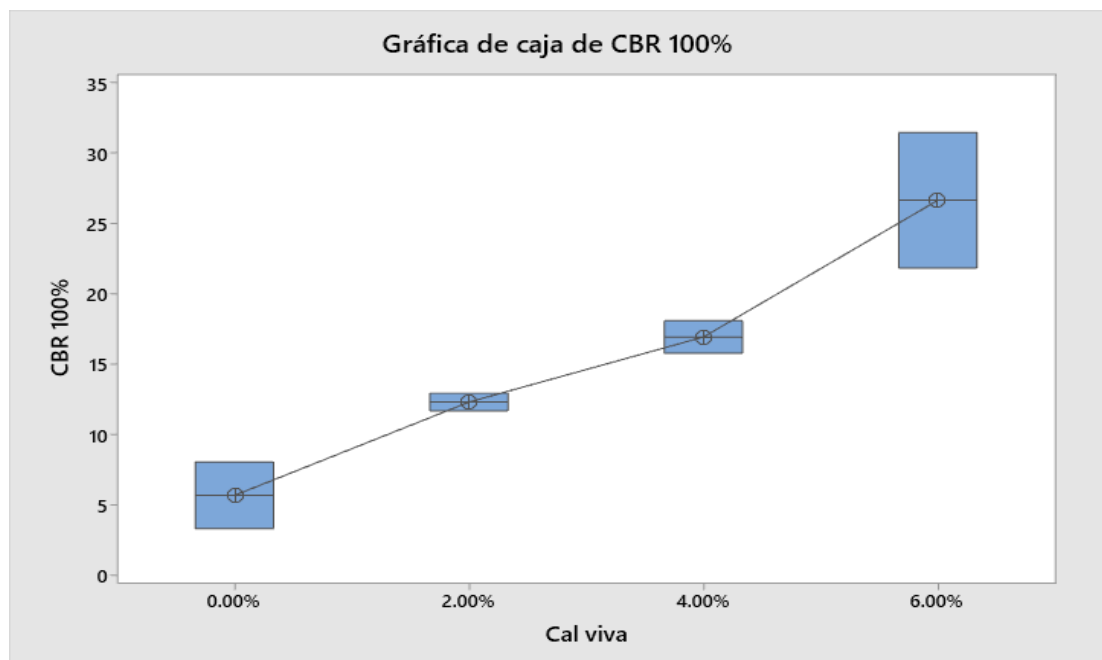
Prueba de Tuckey:

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Cal viva	N	Media	Agrupación
6.00%	2	26.64	A
4.00%	2	16.95	A B
2.00%	2	12.330	A B
0.00%	2	5.71	B

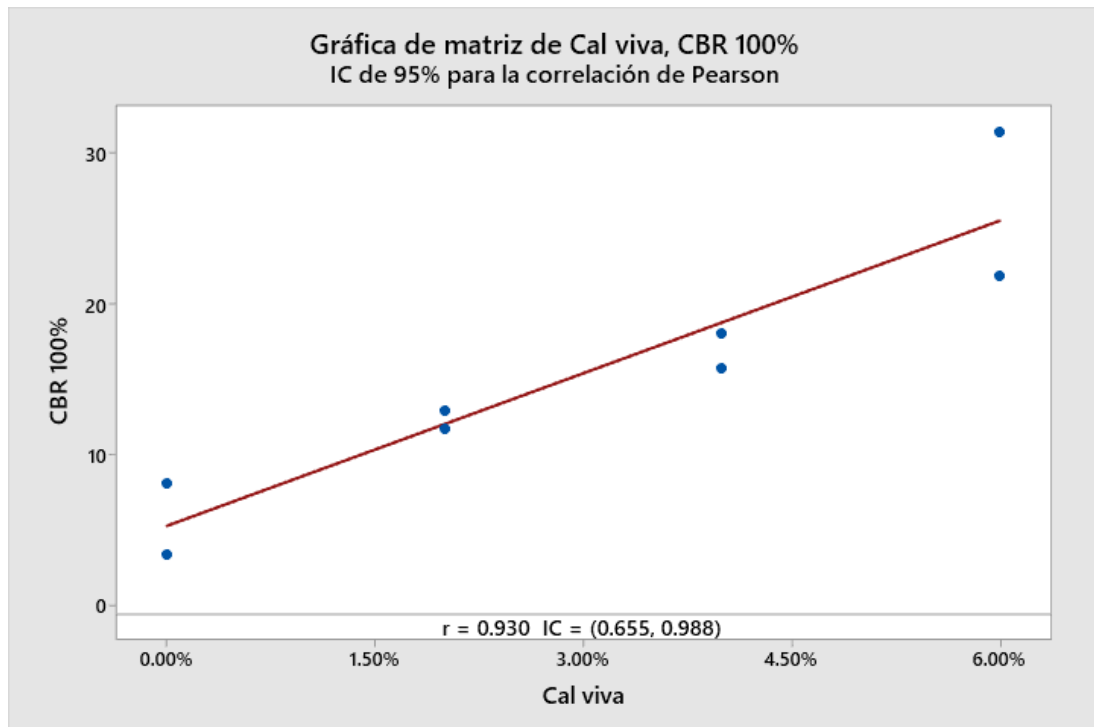
Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

En la posterior prueba de Tukey, muestra que el tratamiento con 6.00% de cal viva tiene la media más alta (26.64) y se agrupa como "A", mientras que las medias del 4.00% (16.95) y 2.00% (12.33) están en grupos "A B", indicando que son significativamente más altas que el 0.00% (5.71), que se agrupa solamente como "B". Este análisis resalta que la adición de cal viva mejora notablemente el CBR 100% y que hay diferencias significativas entre los niveles de cal viva utilizados, lo que resalta la efectividad de su uso en la mejora de la resistencia del suelo.



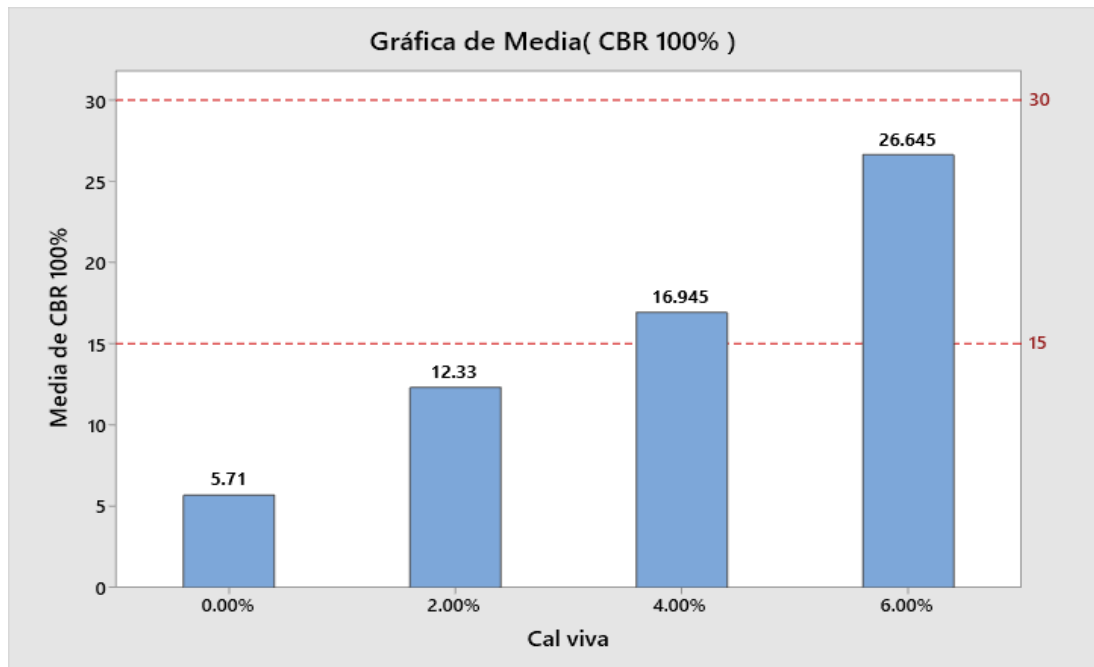
La gráfica de caja muestra una clara tendencia ascendente en el CBR 100% a medida que aumenta el porcentaje de cal viva, indicando que su adición mejora la resistencia del suelo. Las medianas aumentan de 5.71

(0.00%) a 26.64 (6.00%), lo que refuerza esta mejora. Además, las cajas correspondientes a los niveles de 4.00% y 6.00% presentan mayor variabilidad, evidenciada por la longitud de los "bigotes", lo que sugiere que los resultados son menos consistentes en estos tratamientos. No se observan valores atípicos, lo que indica que los datos son relativamente homogéneos en cada nivel de cal viva. La gráfica ilustra efectivamente la relación positiva entre el porcentaje de cal viva y el CBR, destacando su efectividad en la mejora de la resistencia del suelo, aunque se debe considerar la variabilidad en los niveles más altos.

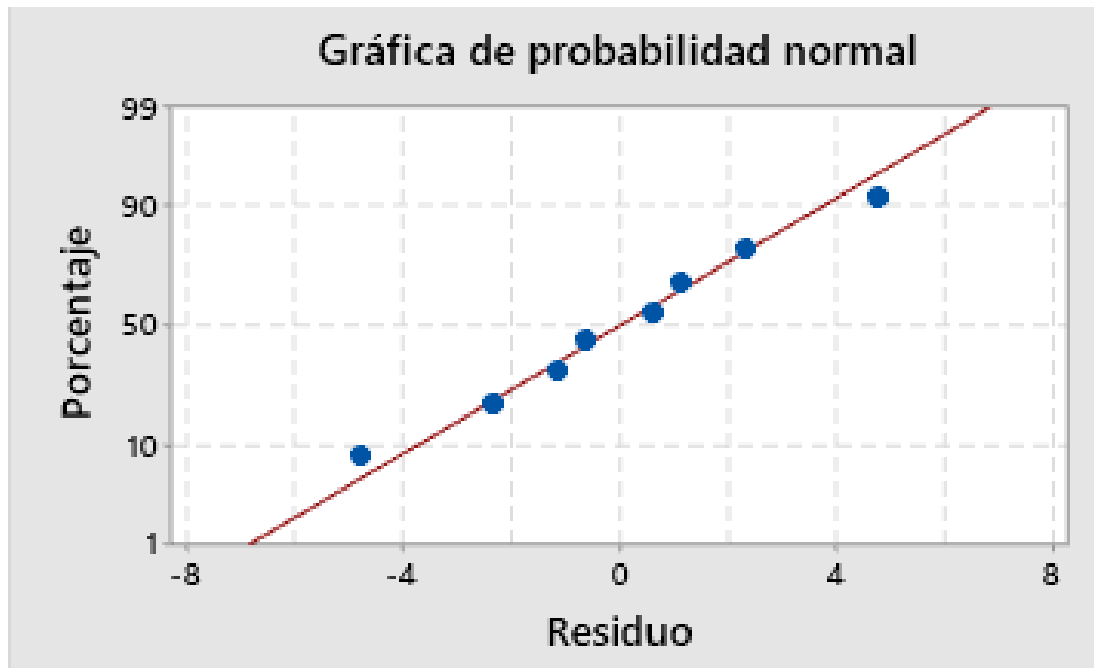


La gráfica muestra la relación entre el porcentaje de cal viva y el CBR 100% en un formato de dispersión, con una línea de tendencia roja que indica la dirección de la relación. El coeficiente de correlación de Pearson ($r = 0.930$) sugiere una correlación muy fuerte y positiva entre ambas variables, lo que significa que a medida que aumenta el porcentaje de cal viva, también lo hace el CBR 100%. El intervalo de confianza (IC) del 95% para la correlación, que va de 0.655 a 0.988, refuerza la robustez de esta relación, indicando que es poco probable que la correlación observada

sea el resultado del azar. En resumen, la gráfica evidencia una clara y significativa relación positiva entre la cal viva y el CBR 100%, lo que sugiere que la adición de cal viva mejora la resistencia del suelo.



La gráfica de media del CBR 100%, muestra claramente el efecto positivo de la adición de cal viva en la resistencia del suelo. A medida que aumenta el porcentaje de cal viva, también lo hace la media del CBR, comenzando en 5.71 para 0.00% y alcanzando 26.645 para 6.00%. Esta tendencia ascendente indica que la cal viva mejora significativamente la capacidad de carga del suelo. Las barras azules representan las medias de cada nivel de cal viva, y la diferencia entre ellas es notable, lo que sugiere que cada incremento en el porcentaje de cal viva tiene un impacto positivo en el CBR 100%. Las líneas rojas horizontales en 15 y 30 proporcionan referencias visuales que permiten observar que, aunque el CBR 100% no alcanza los 30, los valores son considerablemente más altos que el umbral de 15, lo que podría ser relevante para aplicaciones prácticas. En resumen, la gráfica evidencia de manera efectiva la relación entre el porcentaje de cal viva y la mejora en la resistencia del suelo, subrayando la importancia de su uso en la ingeniería civil.



La gráfica de probabilidad normal muestra que los residuos del modelo se alinean relativamente cerca de la línea roja, lo que sugiere que siguen una distribución normal, un supuesto importante en muchos análisis estadísticos como la regresión. La alineación de los puntos indica que no hay desviaciones significativas de la normalidad, lo que sugiere que el modelo es adecuado y que los supuestos de normalidad se cumplen. Esto es crucial para la validez de las inferencias estadísticas basadas en el modelo, ya que la normalidad de los residuos es un indicativo de que los resultados son confiables.

Capítulo V: DISCUSIÓN, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Discusión

El análisis de los tratamientos con cal hidratada y cal viva proporciona información valiosa sobre su influencia en el CBR (California Bearing Ratio) en el contexto de la estabilización química de suelo arcilloso con cal para su uso como subrasante en la calle no pavimentada en el AA.HH. Las Brisas Km 7, Distrito San Juan Bautista, Maynas – Iquitos - 2023.

Los resultados con el tratamiento de cal hidratada, indican que el tratamiento con 0% de cal hidratada produjo el CBR 100% promedio más alto (5.71), sugiriendo que, en ausencia de cal, los materiales pueden tener mejor capacidad de soporte. En contraste, los promedios para 2% y 4% fueron inferiores (4.145 y 4.325, respectivamente), y aunque el 6% mostró una leve mejora a 4.99, esto aún se considera bajo en comparación con los valores óptimos requeridos. El análisis ANOVA reveló un valor p de 0.883, indicando que no hay diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos con cal hidratada. Esta falta de significancia sugiere que las variaciones en los porcentajes de cal no afectan significativamente la capacidad de soporte del suelo, lo que podría implicar la necesidad de investigar otros factores o ajustar el diseño experimental para obtener resultados más informativos.

Por otro lado, el tratamiento con cal viva mostró resultados mucho más prometedores. La media del CBR 100% aumentó de 5.71 (0.00%) a 26.64 (6.00%), evidenciando una clara mejora en la resistencia del suelo con cada incremento en el porcentaje de cal viva. El análisis ANOVA confirmó diferencias significativas en los promedios con un valor p de 0.024, lo que permite rechazar la hipótesis nula de igualdad entre las medias.

La prueba de Tukey indicó que la media del 6.00% de cal viva se agrupa como significativamente diferente de las demás, lo que refuerza la eficacia de la cal viva en la mejora del CBR 100%. Además, las gráficas de caja y de dispersión evidencian una correlación positiva fuerte ($r = 0.930$) entre los niveles de cal viva y el CBR 100%, lo que valida los resultados y sugiere que la adición de cal viva mejora de manera notable la capacidad de carga del suelo.

La gráfica de caja también muestra que a 0.00% y 6.00% de cal viva, el CBR tiende a ser más alto, mientras que en 2.00% y 4.00% se observa una disminución notable en los valores, lo que sugiere que hay un rango óptimo de cal viva que afecta la resistencia del material. Esto se complementa con la gráfica de matriz, que indica una ligera tendencia negativa en la relación entre el porcentaje de cal viva y el CBR, aunque el coeficiente de correlación de Pearson ($r = 0.930$) sugiere que, en general, a medida que aumenta el porcentaje de cal viva, también lo hace el CBR 100%.

Estos resultados tienen implicaciones directas para la estabilización química de suelo arcilloso en el contexto específico de la calle no pavimentada en el AA.HH. Las Brisas Km 7, ya que resaltan la efectividad de la cal viva en la mejora de la resistencia del suelo, fundamental para la creación de una subrasante adecuada que soporte las condiciones climáticas y de tráfico de la región. En general, los resultados sugieren que mientras la cal hidratada no ofrece mejoras significativas en el CBR 100%, la cal viva representa una solución efectiva para incrementar la resistencia del suelo, lo que puede ser relevante para la ingeniería civil y la construcción de infraestructura. La presencia de residuos que se distribuyen normalmente también sugiere que los modelos estadísticos aplicados son adecuados,

lo que aumenta la confiabilidad de las inferencias realizadas sobre los efectos de ambos tratamientos. Estas conclusiones destacan la importancia de elegir el tipo apropiado de cal para aplicaciones específicas en la mejora del suelo.

Tacca Huaracca (2021) en su investigación titulado "Estabilización de suelo arcilloso con adición de cal para el mejoramiento de la subrasante, Vía de evitamiento, Abancay – Apurímac, 2021" dio a conocer que el suelo tratado con 12% de cal tiene un CBR (95% 0,1") de 28,5%, seguido del suelo tratado con 8% de cal, tiene un CBR (95% 0,1") de 24,95%, De manera similar, el suelo tratado con un 4% de cal ha logrado un CBR (95% 0,1") de 19,2%, que es significativamente mayor que el CBR del suelo natural (95% 0,1") de 9,4%. Se obtuvo un valor de p de 0,00, que es muy inferior a 0,05. Como resultado, podemos confirmar estadísticamente con un 95% de confiabilidad que existe una diferencia altamente significativa entre los promedios del CBR (95% 0.1") del suelo natural y el suelo con incremento en diferentes porcentajes de cal. Así, con un 12% de cal, podemos afirmar que el CBR (95% 0,1") se ve influenciado considerable y favorablemente por los porcentajes de suelo tratado con cal. El estudio concluye que agregar cal en cantidades del 4%, 8% y 12% aumenta la capacidad del suelo para mantenerse, lo que a su vez estabiliza el suelo de subrasante.

En coincidencia con la investigación de Vásquez Zamora & Marín García, (2020) titulado "Efecto de la cal como estabilizante de una subrasante de suelo arcilloso en carreteras no pavimentadas en selva baja. Aplicación carretera ex petroleros, Loreto. Para la investigación se agregaron porcentajes de 0%, 2%, 4%, 6% y 8% de cal. El índice de plasticidad varió según los hallazgos de la investigación. Por ejemplo, el valor inicial de

39,12 de la muestra C-1 disminuyó a 22,93 cuando se añadió 8% de cal, mientras que el valor inicial de 26,11 de la muestra C-2 disminuyó a 17,17 cuando se añadió 8% de cal. También hubo una variación significativa en CBR: en la muestra C-1, agregar un 8% de cal resultó en un valor de 9,35%, mientras que en la muestra C-2, agregar un 8% de cal resultó en un valor de 11,20%, siendo el CBR con 0% cal siendo 3,65. Al comparar los distintos porcentajes de cal para el tipo de suelo A-7-6 para las muestras C-1 y C-2, se encuentra que agregar un 8% de cal produce resultados superiores, lo que resulta en un CBR máximo al 95% de densidad seca máxima de 9,35% y 11,20%, respectivamente.

5.2 Conclusiones

El análisis de los resultados del tratamiento con cal hidratada reveló que no hubo diferencias estadísticamente significativas en los niveles de CBR 100% (valor $p = 0.883$), lo que indica que la cal hidratada no mejora las propiedades de los suelos arcillosos en el contexto evaluado.

La estabilización de suelos arcillosos con cal viva se ha demostrado significativamente efectiva en la mejora de las propiedades físico-mecánicas, manifestándose en un aumento notable del CBR 100%, pasando de un promedio de 5.71 (0.00%) a 26.64 (6.00%).

Se identificó un rango óptimo de cal viva en el que la resistencia del suelo incrementa efectivamente. En particular, el 6% de cal viva mostró ser el más efectivo, sugiriendo su uso en el diseño de subrasantes para las calles no pavimentadas de la zona.

Los resultados son de gran relevancia para la estabilización de las calles en el AA.HH. Las Brisas Km 7, Distrito de San Juan

Bautista, lo que puede contribuir a mejorar la infraestructura vial en condiciones climáticas y de tráfico específicas de la región.

El tratamiento con cal hidratada mostró resultados que no se encontraron entre el 15% al 30% de CBR 100%, por lo que podemos rechazar la hipótesis de que la estabilización de los suelos arcillosos con cal hidrata en un (2%,4% y 6%) incide en 15% a 30% en el mejoramiento de las propiedades físico-mecánicas como capa de rodadura en las calles del AA.HH las Brisas km 7, Distrito de San Juan Bautista, Iquitos – 2023.

El tratamiento con cal viva mostró resultados que se encontraron entre el 15% al 30% de CBR 100%, por lo que podemos aceptar la hipótesis de que la estabilización de los suelos arcillosos con cal viva en un (4% y 6%) incide en 15% a 30% en el mejoramiento de las propiedades físico-mecánicas como capa de rodadura en las calles del AA.HH las Brisas km 7, Distrito de San Juan Bautista, Iquitos – 2023.

5.3 Recomendaciones

Al utilizar cal viva para la estabilización química en proyectos de construcción, se recomienda prestar mucha atención a los siguientes detalles:

- El material a utilizar debe secarse por métodos mecánicos como secado al aire, plantas o métodos químicos (en esta etapa se pueden agregar aditivos para bajar la humedad o se puede agregar una porción de cal viva para secar los materiales).
- El material seco a estabilizar debe recogerse y cubrirse con mantas de polipropileno para evitar que se moje debido a inundaciones locales o lluvias.
- Utilice Speedy para ajustar la humedad cada dos horas.
- Se deben completar tramos de prueba para estandarizar

los procesos de construcción.

- El equipo a utilizar es motoniveladora, excavadora, tractor, rodillo tándem y rodillo de pata de cabra.

Referencias bibliográficas

- Angulo Roldan, M., & Zavaleta Papa, C. N. (2021). *ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS CON CAL PARA EL MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FISICO – MECÁNICAS COMO CAPA DE RODADURA EN LA PROLONGACIÓN NAVARRO CAUPER, DISTRITO SAN JUAN – MAYNAS – IQUITOS, 2019*[Tesis de licenciatura; UCP]. Repositorio Institucional . Obtenido de <http://repositorio.ucp.edu.pe/handle/UCP/1220>
- Ayuque Almidon, N. E. (2022). *Efecto de la Incorporación de Cal Hidratada con Boñiga de Res en la Estabilización de Suelos Arcillosos a Nivel de Subrasante*[Tesis de licenciatura;Universidad nacional de loa Andes]. Repositorio Institucional . Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12848/4007>
- Cuadros Surichaqui, C. M. (2017). *Mejoramiento de las propiedades físico -mecánicas de la subrasante en una vía afirmada de la red vial departamental de la Región Junín mediante la estabilización química con óxido de calcio – 2016*[Tesis de Licenciatura; Universidad Peruana Los Andes]. Repositorio Institucional. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12848/297>
- Fontalvo Abuchar, O. D., Medrano Barajas, B., & Nadad Campo, F. G. (2006). *Estabilización con cal del suelo de la ciudad de Cartagena para ser utilizado como base*. Repositorio Institucional. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12585/3544>
- Jara Anyaypoma, R. (2014). *Efecto de la cal como estabilizante de una subrasante de suelo arcilloso*. Repositorio Institucional . Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.14074/686>
- Moale Quispe, A. B., & Rivera Justo, E. J. (2019). *Estabilización química de suelos arcillosos con cal para su uso como subrasante en vías terrestres de la localidad de Villa Rica* [Tesis de licenciatura; Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC)]. Repositorio Institucional. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC).

Obtenido de <http://hdl.handle.net/10757/648846>

Moreira Cedeño, F. L., & Guamán Iler, I. I. (2016). *Estudio del comportamiento de un suelo arcilloso estabilizado por dos métodos químicos (cal y cloruro de sodio)*. Repositorio Institucional. Obtenido de <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/24608>

Tacca Huaracca, J. A. (2021). *Estabilización de suelo arcilloso con adición de cal para el mejoramiento de la subrasante, Vía de evitamiento, Abancay – Apurímac, 2021*[Tesis de licenciatura; Universidad Cesar Vallejo UCV]. Repositorio Institucional . Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12692/58189>

Vásquez Zamora, J. L., & Marín García, C. W. (2020). *Efecto de la cal como estabilizante de una subrasante de suelo arcilloso en carreteras no pavimentadas en selva baja. Aplicación carretera ex petroleros, Loreto*[Tesis de Licenciatura; Universidad Científica del Peru]. Repositorio Institucional . Obtenido de <http://repositorio.ucp.edu.pe/handle/UCP/1178>

Virto Tomasto, J. R. (2022). *Influencia del uso del Sistema Geomalla Biaxial en el espesor de la estructura de pavimentos rígidos sobre suelos cohesivos*[tesis de licenciatura; Universidad Ricardo Palma]. Repositorio Institucional. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.14138/5595>

ANEXOS

Anexo 01: Matriz de consistencia

“ESTABILIZACIÓN QUÍMICA DE SUELO ARCILLOSO CON CAL PARA SU USO COMO SUBRASANTE EN LA CALLE NO PAVIMENTADA EN EL AA.HH. LAS BRISAS KM 7, DISTRITO SAN JUAN BAUTISTA, MAYNAS – IQUITOS - 2023”

Problemas	Objetivos	Hipótesis	Variables	Metodología
<p>Problema general.</p> <p>¿De qué manera incide la estabilización de los suelos arcillosos con cal en el mejoramiento de las propiedades físico – mecánicas como capa de rodadura en las calles del AA. HH las Brisas km 7, Distrito de San Juan Bautista, Iquitos - 2023?</p>	<p>Objetivo general</p> <p>Determinar la incidencia de la estabilización de los suelos arcillosos con cal en el mejoramiento de las propiedades de físico-mecánicas como capa de rodadura en las calles del AA. HH las Brisas km 7, Distrito de San Juan Bautista, Iquitos - 2023.</p>	<p>Hi: La estabilización de los suelos arcillosos con cal hidratada y cal viva en un (2%,4% y 6%) incide en 15% a 30% en el mejoramiento de las propiedades físico-mecánicas como capa de rodadura en las calles del AA. HH las Brisas km 7, Distrito de San Juan Bautista, Iquitos – 2023.</p> <p>H0: La estabilización de los suelos arcillosos con cal hidratada y cal viva en un (2%,4% y 6%) no incide en 15% a 30% en el mejoramiento de las propiedades físico-mecánicas como capa de rodadura en las</p>	<p>V. independiente (x): Estabilización de suelos arcillosos con cal</p> <p>V. dependiente (y): Propiedades físico-mecánicas</p>	<p>Diseño: experimental, prospectivo y longitudinal</p>

		calles del AA.HH las Brisas km 7, Distrito de San Juan Bautista, Iquitos – 2023.		
<p>Problemas específicos</p> <ul style="list-style-type: none"> • ¿Cómo obtener la incidencia entre el porcentaje de cal hidratada vs cal viva en la reducción de la plasticidad de los suelos arcillosos de las calles del AA. HH las Brisas km 7, Distrito de San Juan Bautista, ¿Iquitos - 2023? • ¿Cómo obtener la incidencia entre el porcentaje de cal hidratada vs cal viva en el incremento de la máxima densidad de los suelos arcillosos de las calles del AA. HH las Brisas km 7, Distrito de San Juan Bautista, ¿Iquitos - 2023? • ¿Cómo obtener la incidencia entre el porcentaje de cal 	<p>Objetivos específicos</p> <ul style="list-style-type: none"> • Comparar el porcentaje adecuado de cal hidratada vs cal viva que permita la reducción de la plasticidad de los suelos arcillosos en las calles del AA. HH las Brisas km 7, Distrito de San Juan Bautista, Iquitos - 2023. • Comparar el porcentaje adecuado de cal hidratada vs cal viva que permita el incremento la máxima densidad de los suelos arcillosos en las calles del AA. HH las Brisas km 7, Distrito de San Juan Bautista, Iquitos – 2023. 			

<p>hidratada vs cal viva en el incremento de la capacidad de soporte de los suelos arcillosos de las calles del AA.HH las Brisas km 7, Distrito de San Juan Bautista, Iquitos - 2023?</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Comparar el porcentaje adecuado de cal hidratada vs cal viva que permita el incremento de la capacidad de soporte de los suelos arcillosos en las calles del AA.HH las Brisas km 7, Distrito de San Juan Bautista, Iquitos – 2023. 			
---	--	--	--	--

Anexo 02: Resultados del Estudio de Suelos

1. Resultados de análisis granulométricos de suelos

Se utilizaron mallas estandarizadas ASTM para tamizar las muestras de cada calicata. Luego se calculó el porcentaje de peso que pasó por cada tamiz, así como el peso retenido y se muestran en las siguientes tablas:

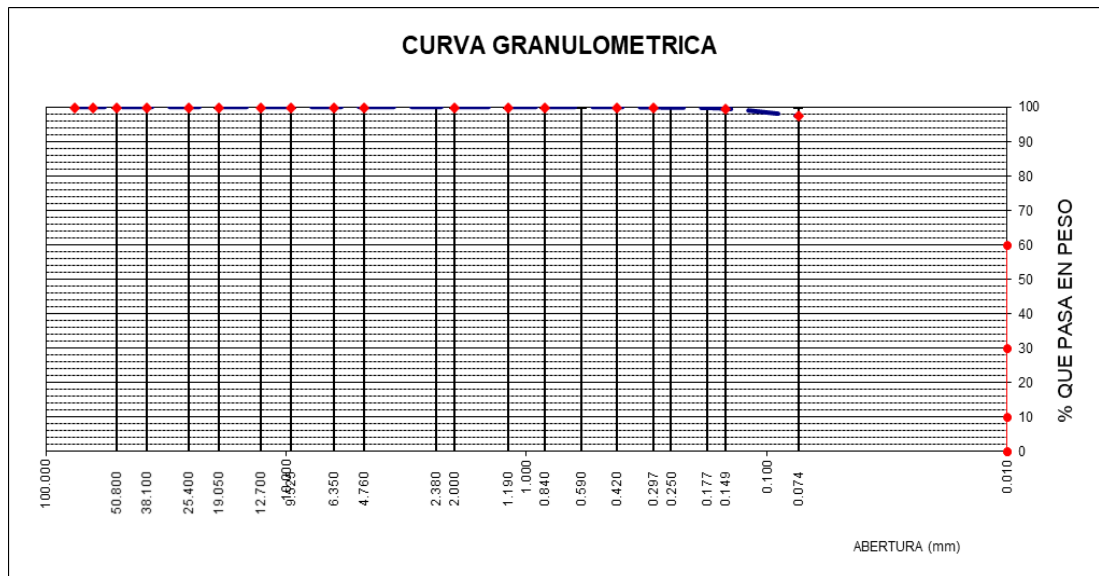


Tabla 1 : Curva granulométrica – calicata N°01 – km 00+160

Fuente: Laboratorio de suelos de la universidad científica del Perú

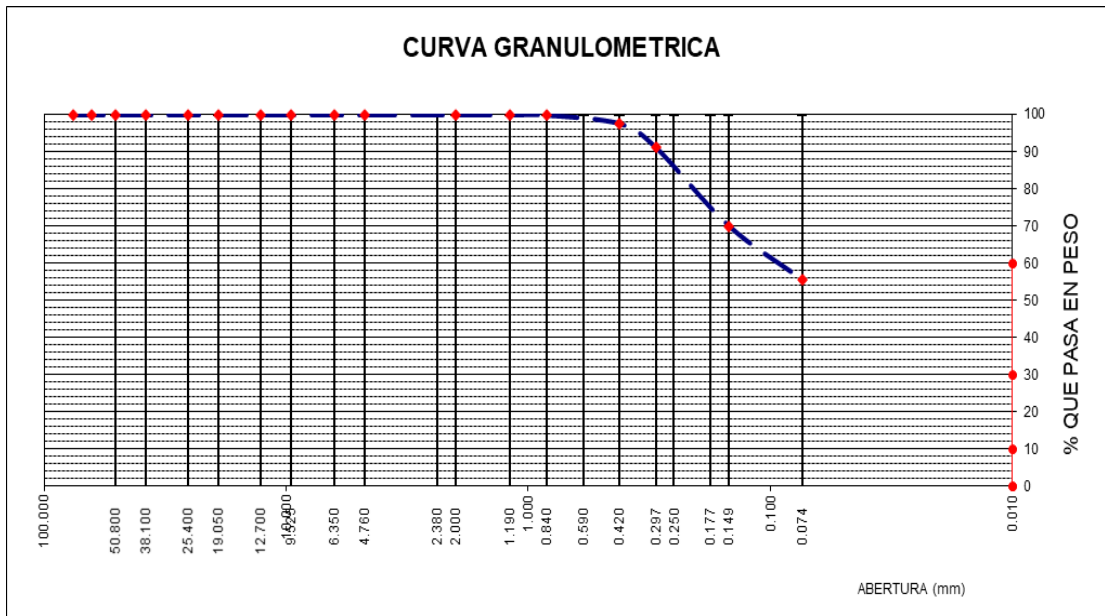


Tabla 2 : Curva granulométrica – calicata N°02 – km 00+420

Fuente: Laboratorio de suelos de la universidad científica del Perú

2. Resultados del límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad.

La siguiente tabla muestra los hallazgos de los límites de Atterberg requeridos para la categorización SUCCS y AASTHO.

Nº	Progresiva	Ubicación	Límite Líquido	Límite Plástico	IP Malla Nº40
1	00+160	Calicata - 01	51.93	18.84	33.09
2	00+420	Calicata - 02	33.31	12.43	20.88

Tabla 3: Resultado de los límites de Atterberg

Fuente: Propia del autor

3. Resultados de clasificación de los suelos de las calicatas

Los resultados de la clasificación de acuerdo a SUCS Y AASHTO se visualizan en la siguiente tabla.

Nº	Ubicación	GRANULOMETRIA % QUE PASA											Clasificación		LL	LP	IP
		2"	1"	3/4"	3/8"	# 4	# 10	# 20	# 40	# 50	# 100	# 200	SUCS	AASHTO			
1	Calicata - 01	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	99.9	99.6	97.6	CH	A-7-6 (18)	51.93	18.84	33.09
2	Calicata - 02	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	99.9	97.6	91.1	70.0	55.4	CL	A-6 (8)	33.31	12.43	20.88

Tabla 4 : Clasificación de los suelos de las calicatas.

Fuente: Propia del autor

4. Resultados de Proctor modificado para suelo natural

Para determinar o realizar el ensayo de Proctor modificado se obtuvo las muestras de las 2 calicatas(suelo natural).

		MÉTODO "A"	MÉTODO "B"	MÉTODO "C"
% Retenido Acumulado	Tamiz 3/4"	-	-	<30
	Tamiz 3/8"	-	≤20	>20
	Tamiz Nº 4	≤20	>20	-
Molde Ø		4"	4"	6"
Material		Nº 4	3/8"	3/4"
Nº de capas		5	5	5
Nº de golpes por capa		25	25	56
Peso de martillo		10 lb	10 lb	10 lb
Altura de caída en pulg.		18"	18"	18"

Tabla 5 : Métodos de uso para el ensayo de Proctor modificado.

Fuente: manual de ensayo de materiales.

Nº	Progresiva	Ubicación	Limite Líquido	Limite Plástico	IP Malla Nº40	Proctor Modificado	
						MDS	%W
1	00+160	Calicata - 01	51.93	18.84	33.09	1.662	16.49
2	00+420	Calicata - 02	33.31	12.43	20.88	1.979	11.51

Tabla 6 : Resultado del ensayo de Proctor modificado.

Fuente: laboratorio de suelos de la universidad científica del Perú.

5. Resultados de CBR y expansión para suelo natural

Los resultados de la prueba CBR para las muestras tomadas de las dos calicatas que se investigaron se muestran en la siguiente tabla. La calicata 01 tiene el valor crítico más alto al 100% del MDS, con un valor de CBR de 3.35% y una expansión del 9.15%, en comparación con la calicata 02, que tiene un valor de CBR de 8.07% al 100% del MDS y una expansión del 3,3%.

Nº	Progresiva	Ubicación	Natural		Expansión
			CBR (0.1")		
			100% mds	95% mds	
1	00+160	Calicata - 01	3.35	2.15	9.15%
2	00+420	Calicata - 02	8.07	6.40	3.3%

Tabla 7 : Resultados de CBR y expansión para suelo natural.

Fuente : laboratorio de suelos de la universidad científica del Peru.

6. Resultados de plasticidad de suelos estabilizados con cal.

Los resultados de plasticidad de los ensayos de límite líquido y límite plástico utilizando muestras de suelo de dos calicatas, estabilizadas con cal hidratada y cal visa , se muestran en la siguiente tabla.

Nº	Progresiva	Ubicación	Tipo de Cal	Adición % Cal en peso	Limite Liquido	Limite Plástico	IP Malla Nº40			
1	00+160	Calicata - 01	Natural		51.93	18.84	33.09			
			Hidratada	2%	51.87	18.43	33.44			
				4%	51.17	18.75	32.42			
				6%	50.83	19.58	31.25			
			Viva	2%	49.48	19.18	30.30			
				4%	47.43	20.46	26.97			
				6%	44.91	20.86	24.05			
			2	00+420	Calicata - 02	Natural		33.31	12.43	20.88
						Hidratada	2%	32.94	13.13	19.81
4%	31.84	12.51					19.33			
6%	30.46	12.54					17.92			
Viva	2%	31.21				12.81	18.40			
	4%	29.53				13.66	15.87			
	6%	27.82				13.55	14.27			

Tabla 8 : Resultados de los ensayos de plasticidad de suelos estabilizados con cal hidratada y cal viva.

Fuente: Laboratorio de suelos de la Universidad Científica del Perú.

7. Resultados de máxima densidad seca de suelos estabilizados con cal.

Para realizar esta prueba, las dos muestras de suelo fueron tratadas con 2%, 4% y 6% de cal hidratada y cal viva. Al día siguiente, se llevó a cabo la preparación de la muestra después de que los suelos se combinaron con cal y se dejaron reposar durante un día completo.

Nº	Progresiva	Ubicación	Tipo de Cal	Adición % Cal en peso	Proctor Modificado				
					MDS	%W			
1	00+160	Calicata - 01	Natural		1.662	16.49			
			Hidratada	2%	1.660	18.11			
				4%	1.678	18.11			
				6%	1.630	18.08			
			Viva	2%	1.678	16.86			
				4%	1.766	16.43			
				6%	1.683	15.93			
			2	00+420	Calicata - 02	Natural		1.979	11.51
						Hidratada	2%	1.987	11.05
4%	1.983	11.37							
6%	1.971	11.69							
Viva	2%	1.907				13.00			
	4%	1.885				12.64			
	6%	1.880				12.26			

Tabla 9 : Resultados de máxima densidad seca de suelos estabilizados con cal.

Fuente: Laboratorio de suelos de la Universidad Científica del Perú.

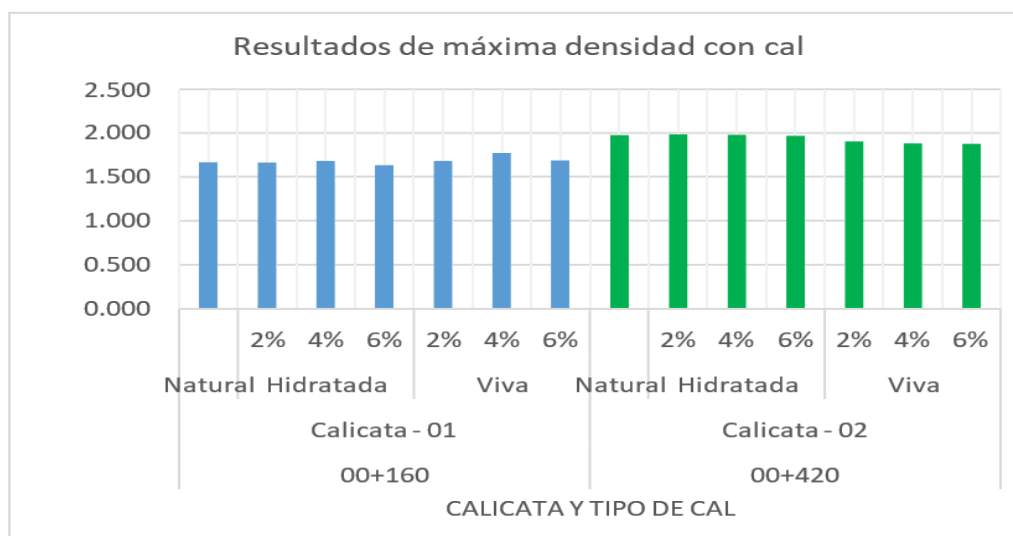


Tabla 10 : Incremento de la densidad con cal hidratada y cal viva.

Fuente: Laboratorio de suelos de la Universidad Científica del Perú

8. Resultados de resistencia de suelos estabilizados con cal.

Esta prueba implicó repetir el protocolo de prueba CBR con dos muestras de suelo y agregar 2%, 4% y 6% de cal hidratada y cal viva, respectivamente. Al día siguiente, se llevó a cabo la preparación de la muestra después de que los suelos se combinaron con cal y se dejaron reposar durante un día completo. Las distintas resistencias de los ensayos CBR, junto con muestras de suelo de ambas calicatas estabilizadas con cal viva y cal hidratada, se muestran en la siguiente tabla.

SUELOS NATURALES		SUELOS ESTABILIZADOS																
N°	UBICACIÓN	CAL HIDRATADA						CAL VIVA										
		2%		EXPANSIÓN	4%		EXPANSIÓN	2%		EXPANSIÓN	4%		EXPANSIÓN	6%		EXPANSIÓN		
		CBR (0.1")			CBR (0.1")			CBR (0.1")			CBR (0.1")			CBR (0.1")				
		100% MDS	95% MDS	100% MDS	95% MDS	100% MDS	95% MDS	100% MDS	95% MDS	100% MDS	95% MDS	100% MDS	95% MDS	100% MDS	95% MDS			
1.00	CALICATA - 01																	
		3.39	2.70	6.17%							11.70	7.58	4.27%					
					4.23	2.25	4.07%							15.79	9.75	3.89%		
								3.15	2.44	3.50%						21.84	16.10	0.18%
2.00	CALICATA - 02																	
		4.90	3.05	3.73%							12.96	9.80	3.90%					
					4.42	3.20	3.36%							18.10	14.50	2.20%		
								6.82	3.90	4.41%						31.45	23.00	0.20%

Tabla 11 : Resultados de resistencia de suelos estabilizados con cal.

Fuente: Laboratorio de suelos de la Universidad Científica del Perú.

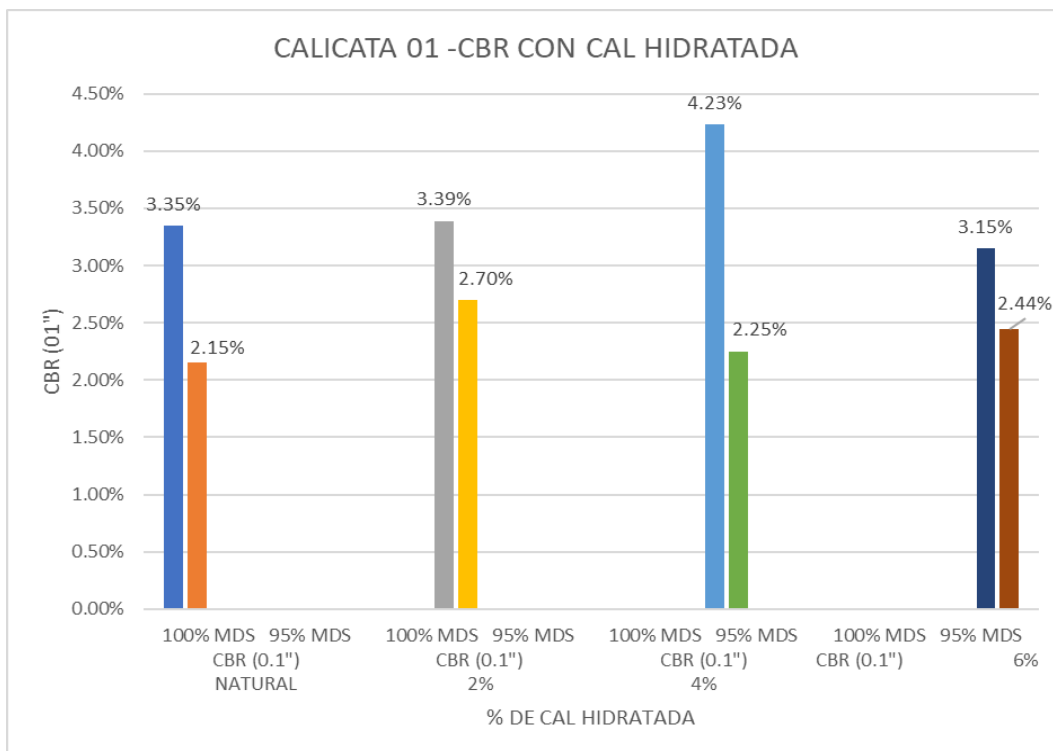


Tabla 12: Resultados de CBR con cal hidratada- calicata 01.
Fuente: Laboratorio de suelos de la Universidad Científica del Perú.

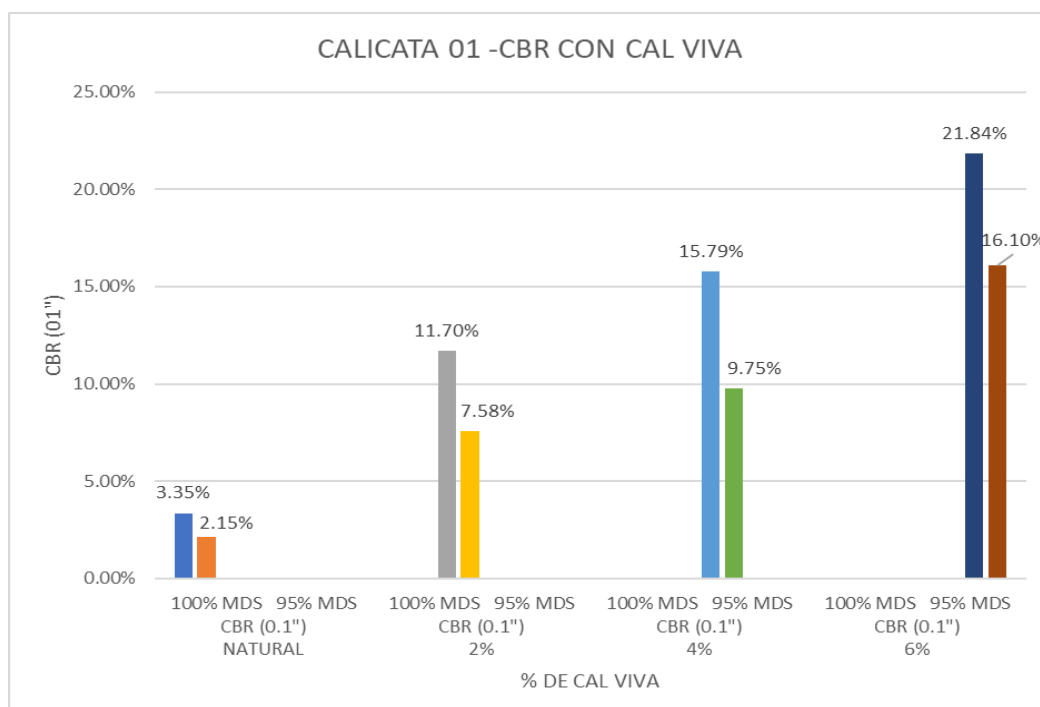


Tabla 13 : Resultados de CBR con cal viva – calicata 01.
Fuente: Laboratorio de suelos de la Universidad Científica del Perú.

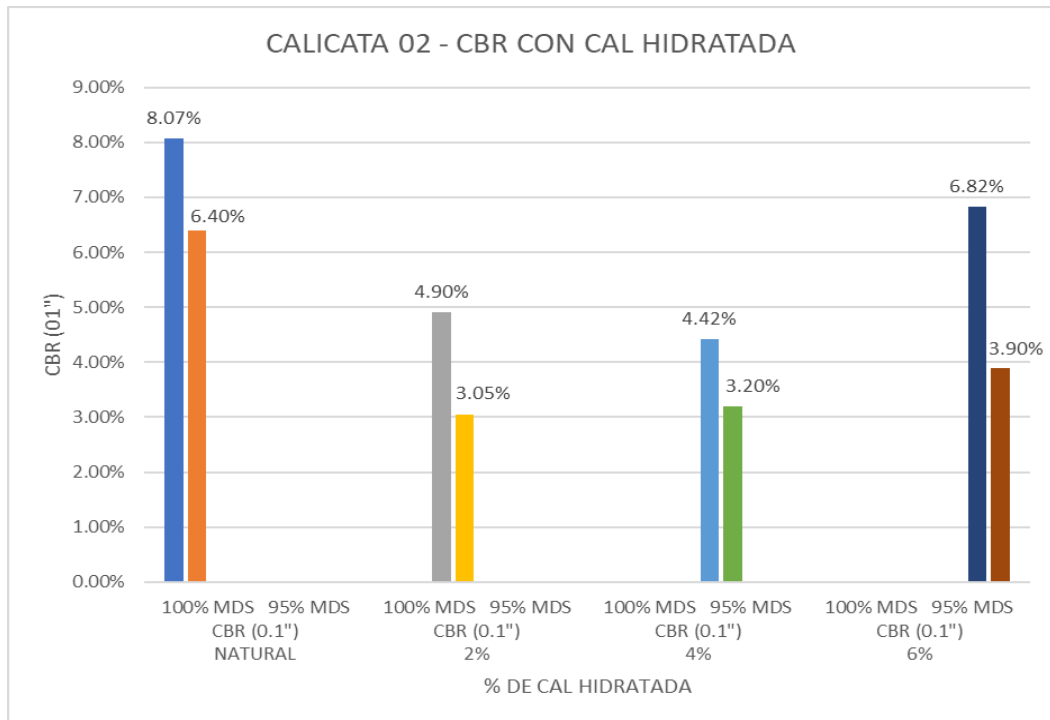


Tabla 14 : Resultados de CBR con cal hidratada – calicata 02.
Fuente: Laboratorio de suelos de la Universidad Científica del Perú.

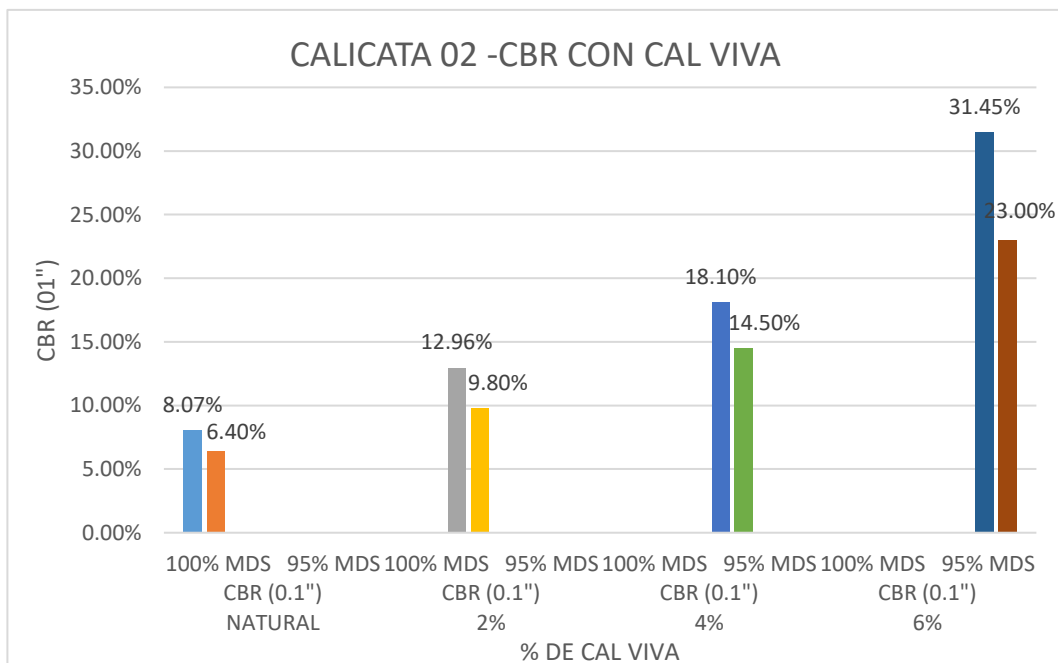


Tabla 15 : Resultados de CBR con cal viva – calicata 02
Fuente: Laboratorio de suelos de la Universidad Científica del Perú.

Resultados en la calicata 01

ENSAYO	Limite Liquido	Limite Plastico	Indice de Plasticidad	Max. Dens. Seca	Opt.Cont .Hum	CBR 100 %	CBR 95 %	Hinch. Promedio
ADIC 2% de cal	51.87	18.43	33.44	1.664	18.11	3.39	2.70	6.17
SUELO NATURAL	51.93	18.84	33.09	1.66	16.49	3.35	2.15	9.15
Incremento	-0.06	-0.41	0.35	0.00	1.62	0.04	0.55	-2.98
% de incremento	-0.12	-2.18	1.06	0.12	9.82	1.19	25.58	-32.57
Incremento 15%-30%	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SI	NO

Tabla 16 : Calicata 01 con la adición del 2% de cal hidratada.

Fuente: Propia del autor

ENSAYO	Limite Liquido	Limite Plastico	Indice de Plasticidad	Max. Dens. Seca	Opt.Cont .Hum	CBR 100 %	CBR 95 %	Hinch. Promedio
ADIC 4% de cal	51.17	18.75	32.42	1.68	18.11	4.23	2.25	4.07
SUELO NATURAL	51.93	18.84	33.09	1.66	16.49	3.35	2.15	9.15
Incremento	-0.76	-0.09	-0.67	0.016	-1.62	0.88	0.10	-5.08
% de incremento	-1	-0.5	-2	1	-10	26	5	-56
Incremento 15%-30%	NO	NO	NO	NO	NO	SI	NO	NO

Tabla 17 : Calicata 01 con la adición del 4% de cal hidratada.

Fuente: Propia del autor

ENSAYO	Limite Liquido	Limite Plastico	Indice de Plasticidad	Max. Dens. Seca	Opt.Cont .Hum	CBR 100 %	CBR 95 %	Hinch. Promedio
ADIC 6% de cal	50.83	19.58	31.25	1.63	18.08	3.15	2.44	3.50
SUELO NATURAL	51.93	18.84	33.09	1.66	16.49	3.35	2.15	9.15
Incremento	-1.1	0.74	-1.84	-0.03	1.59	-0.2	0.29	-5.65
% de incremento	-0.02	0.04	-0.06	-0.02	0.10	-6	13	-62
Incremento 15%-30%	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO

Tabla 18 : Calicata 02 con la adición del 6% de cal hidratada.

Fuente: Propia del autor

ENSAYO	Limite Liquido	Limite Plastico	Indice de Plasticidad	Max. Dens. Seca	Opt.Cont .Hum	CBR 100 %	CBR 95 %	Hinch. Promedio
ADIC 2% de cal	-0.12	-2	1	0.12	10	1	26	-33
ADIC 4% de cal	-1	-0.48	-2	1	-10	26	5	-56
ADIC 6% de cal	-0.02	0.04	-0.06	-0.02	0.10	-6	13	-62

Tabla 19 : Resumen del incremento porcentuales con cal hidratada.

Fuente: Propia del autor

ENSAYO	Limite Liquido	Limite Plastico	Indice de Plasticidad	Max. Dens. Seca	Opt.Cont. Hum	CBR 100 %	CBR 95 %	Hinch. Promedio
ADIC 2% de cal	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SI	NO
ADIC 4% de cal	NO	NO	NO	NO	NO	SI	NO	NO
ADIC 6% de cal	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO

Tabla 20 : Resumen del cumplimiento de la hipótesis de la calicata 01 con cal hidratada.

Fuente: Propia del autor

ENSAYO	Limite Liquido	Limite Plastico	Indice de Plasticidad	Max. Dens. Seca	Opt.Cont. Hum	CBR 100 %	CBR 95 %	Hinch. Promedio
ADIC 2% de cal	51.87	18.43	33.44	1.664	18.11	3.39	2.70	6.17
ADIC 4% de cal	51.17	18.75	32.42	1.678	18.11	4.23	2.25	4.07
ADIC 6% de cal	50.83	19.58	31.25	1.630	18.08	3.15	2.44	3.50
SUELO NAUTAL	51.93	18.84	33.09	1.662	16.49	3.35	2.15	9.15

Tabla 21 : Resumen del cumplimiento de la hipótesis de la calicata 01 con cal hidratada.

Fuente: Propia del autor

ENSAYO	Limite Liquido	Limite Plastico	Indice de Plasticidad	Max. Dens. Seca	Opt.Cont. Hum	CBR 100 %	CBR 95 %	Hinch. Promedio
ADIC 2% de cal	49.48	19.18	30.30	1.678	16.86	11.70	7.58	4.27
SUELO NATURAL	51.93	18.84	33.09	1.662	16.49	3.35	2.15	9.15
Incremento	-2.45	0.34	-2.79	0.016	0.37	8.35	5.43	-4.88
% de incremento	-5	2	-8	1	2	249	253	-53
Incremento 15%-30%	NO	NO	NO	NO	NO	SI	SI	SI

Tabla 22 : Calicata 01 con la adición del 2% de cal viva.

Fuente: Propia del autor

ENSAYO	Limite Liquido	Limite Plastico	Indice de Plasticidad	Max. Dens. Seca	Opt.Cont. Hum	CBR 100 %	CBR 95 %	Hinch. Promedio
ADIC 4% de cal	47.43	20.46	26.97	1.766	16.43	15.79	9.75	3.89
SUELO NATURAL	51.93	18.84	33.09	1.662	16.49	3.35	2.15	9.15
Incremento	-4.5	1.62	-6.12	0.104	-0.06	12.44	7.60	-5.26
% de incremento	-9	9	-18	6	0	371	353	-57
Incremento 15%-30%	NO	NO	NO	NO	NO	SI	SI	SI

Tabla 23 : Calicata 01 con la adición del 4% de cal viva.

Fuente: Propia del autor

ENSAYO	Limite Liquido	Limite Plastico	Indice de Plasticidad	Max. Dens. Seca	Opt.Cont.Hu m	CBR 100 %	CBR 95 %	Hinch. Promedio
ADIC 6% de cal	44.91	20.86	24.05	1.683	15.93	21.84	16.10	0.18
SUELO NATURAL	51.93	18.84	33.09	1.662	16.49	3.35	2.15	9.15
Incremento	-7.02	2.02	-9.04	0.021	-0.56	18.49	13.95	-8.97
% de incremento	-14	11	-27	1	-3	552	649	-98
Incremento 15%-30%	NO	NO	NO	NO	NO	SI	SI	SI

Tabla 24 : Calicata 01 con la adición del 6% de cal viva.

Fuente: Propia del autor

ENSAYO	Limite Liquido	Limite Plastico	Indice de Plasticidad	Max. Dens. Seca	Opt.Cont.Hu m	CBR 100 %	CBR 95 %	Hinch. Promedio
ADIC 2% de cal	-5	2	-8	1	2	249	253	-53
ADIC 4% de cal	-9	9	-18	6	0	371	353	-57
ADIC 6% de cal	-14	11	-27	1	-3	552	649	-98

Tabla 25 : Resumen del incremento porcentuales con cal viva.

Fuente: Propia del autor

ENSAYO	Limite Liquido	Limite Plastico	Indice de Plasticidad	Max. Dens. Seca	Opt.Cont.Hu m	CBR 100 %	CBR 95 %	Hinch. Promedio
ADIC 2% de cal	NO	NO	NO	NO	NO	SI	SI	SI
ADIC 4% de cal	NO	NO	NO	NO	NO	SI	SI	SI
ADIC 6% de cal	NO	NO	NO	NO	NO	SI	SI	SI

Tabla 26 : Resumen del cumplimiento de la hipótesis de la calicata 01 con cal viva.

Fuente: Propia del autor

ENSAYO	Limite Liquido	Limite Plastico	Indice de Plasticidad	Max. Dens. Seca	Opt.Cont.Hu m	CBR 100 %	CBR 95 %	Hinch. Promedio
ADIC 2% de cal	49.48	19.18	30.30	1.678	16.86	11.70	7.58	4.27
ADIC 4% de cal	47.43	20.46	26.97	1.766	16.43	15.79	9.75	3.89
ADIC 6% de cal	44.91	20.86	24.05	1.683	15.93	21.84	16.10	0.18
SUELO NATURAL	51.93	18.84	33.09	1.662	16.49	3.35	2.15	9.15

Tabla 27 : Resumen del cumplimiento de la hipótesis de la calicata 01 con cal viva.

Fuente: Propia del autor

Resultados en la calicata 02

ENSAYO	Limite Liquido	Limite Plastico	Indice de Plasticidad	Max. Dens. Seca	Opt.Cont.Hu m	CBR 100 %	CBR 95 %	Hinch. Promedio
ADIC 2% de cal	32.94	13.13	19.82	1.987	11.05	4.90	3.05	3.73
SUELO NATURAL	33.31	12.43	20.88	1.979	11.51	8.07	6.40	3.30
Incremento	-0.37	0.7	-1.06	0.008	-0.46	-3.17	-3.35	0.43
% de incremento	-1	6	-5	0	-4	-39	-52	13
Incremento 15%-30%	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO

Tabla 28 : Calicata 02 con la adición del 2% de cal hidratada.

Fuente: Propia del autor

ENSAYO	Limite Liquido	Limite Plastico	Indice de Plasticidad	Max. Dens. Seca	Opt.Cont.Hu m	CBR 100 %	CBR 95 %	Hinch. Promedio
ADIC 4% de cal	31.84	12.51	19.33	1.983	11.37	4.42	3.20	3.36
SUELO NATURAL	33.31	12.43	20.88	1.979	11.51	6.40	6.40	3.30
Incremento	-1.47	0.08	-1.55	0.004	-0.14	-1.98	-3.2	0.06
% de incremento	-4	1	-7	0	-1	-31	-50	2
Incremento 15%-30%	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO

Tabla 29 : Calicata 02 con la adición del 4% de cal hidratada.

Fuente: Propia del autor

ENSAYO	Limite Liquido	Limite Plastico	Indice de Plasticidad	Max. Dens. Seca	Opt.Cont.Hu m	CBR 100 %	CBR 95 %	Hinch. Promedio
ADIC 6% de cal	30.46	12.54	17.91	1.971	11.69	6.82	3.90	4.41
SUELO NATURAL	33.31	12.43	20.88	1.979	11.51	6.40	6.40	3.30
Incremento	-2.85	0.11	-2.97	-0.008	0.18	0.42	-2.5	1.11
% de incremento	-9	1	-14	0	2	7	-39	34
Incremento 15%-30%	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO

Tabla 30 : Calicata 02 con la adición del 6% de cal hidratada.

Fuente: Propia del autor

ENSAYO	Limite Liquido	Limite Plastico	Indice de Plasticidad	Max. Dens. Seca	Opt.Cont.Hu m	CBR 100 %	CBR 95 %	Hinch. Promedio
ADIC 2% de cal	-1	6	-5	0	-4	-39	-52	13
ADIC 4% de cal	-4	1	-7	0	-1	-31	-50	2
ADIC 6% de cal	-9	1	-14	0	2	7	-39	34

Tabla 31 : Resumen del incremento porcentuales con cal hidratada.

Fuente: Propia del autor

ENSAYO	Limite Liquido	Limite Plastico	Indice de Plasticidad	Max. Dens. Seca	Opt.Cont.Hu m	CBR 100 %	CBR 95 %	Hinch. Promedio
ADIC 2% de cal	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
ADIC 4% de cal	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
ADIC 6% de cal	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO

Tabla 32 : Resumen del cumplimiento de la hipótesis de la calicata 02 con cal hidratada.

Fuente: Propia del autor.

ENSAYO	Limite Liquido	Limite Plastico	Indice de Plasticidad	Max. Dens. Seca	Opt.Cont.Hu m	CBR 100 %	CBR 95 %	Hinch. Promedio
ADIC 2% de cal	32.94	13.13	19.82	1.987	11.05	4.90	3.05	3.73
ADIC 4% de cal	31.84	12.51	19.33	1.983	11.37	4.42	3.20	3.36
ADIC 6% de cal	30.46	12.54	17.91	1.971	11.69	6.82	3.90	4.41
SUELO NATURAL	33.31	12.43	20.88	1.979	11.51	8.07	6.40	3.30

Tabla 33 : Resumen de los resultados de los ensayos de la calicata 02 con cal hidratada.

Fuente: Propia del autor.

ENSAYO	Limite Liquido	Limite Plastico	Indice de Plasticidad	Max. Dens. Seca	Opt.Cont. Hum	CBR 100 %	CBR 95 %	Hinch. Promedio
ADIC 2% de cal	31.21	12.81	18.40	1.907	13	12.96	9.80	3.90
SUELO NATURAL	33.31	12.43	20.88	1.979	11.51	8.07	6.40	3.30
Incremento	-2.1	0.38	-2.48	-0.072	1.49	4.89	3.4	0.6
% de incremento	-6.30	3.06	-11.88	-3.64	12.95	60.59	53.13	18.18
Incremento 15%-30%	NO	NO	NO	NO	NO	SI	SI	SI

Tabla 34 : Calicata 02 con la adición del 2% de cal viva.

Fuente: Propia del autor.

ENSAYO	Limite Liquido	Limite Plastico	Indice de Plasticidad	Max. Dens. Seca	Opt.Cont. Hum	CBR 100 %	CBR 95 %	Hinch. Promedio
ADIC 4% de cal	29.53	13.66	15.87	1.885	12.64	18.10	14.50	2.20
SUELO NATURAL	33.31	12.43	20.88	1.979	11.51	8.07	6.40	3.30
Incremento	-3.78	1.23	-5.01	-0.094	1.13	10.03	8.1	-1.1
% de incremento	-11.35	9.90	-23.99	-4.75	9.82	124.29	126.56	-33.33
Incremento 15%-30%	NO	NO	NO	NO	NO	SI	SI	SI

Tabla 35 : Calicata 02 con la adición del 4 % de cal viva.

Fuente: Propia del autor.

ENSAYO	Limite Liquido	Limite Plastico	Indice de Plasticidad	Max. Dens. Seca	Opt.Cont. Hum	CBR 100 %	CBR 95 %	Hinch. Promedio
ADIC 6% de cal	27.82	13.55	14.27	1.88	12.26	31.45	23.00	0.20
SUELO NATURAL	33.31	12.43	20.88	1.979	11.51	8.07	6.40	3.30
Incremento	-5.49	1.12	-6.61	-0.099	0.75	23.38	16.6	-3.1
% de incremento	-16.48	9.01	-31.66	-5.00	6.52	289.71	259.38	-93.94
Incremento 15%-30%	NO	NO	NO	NO	NO	SI	SI	SI

Tabla 36 : Calicata 02 con la adición del 6 % de cal viva.

Fuente: Propia del autor.

ENSAYO	Limite Liquido	Limite Plastico	Indice de Plasticidad	Max. Dens. Seca	Opt.Cont. Hum	CBR 100 %	CBR 95 %	Hinch. Promedio
ADIC 2% de cal	-6.30	3.06	-11.88	-3.64	12.95	60.59	53.13	18.18
ADIC 4% de cal	-11.35	9.90	-23.99	-4.75	9.82	124.29	126.56	-33.33
ADIC 6% de cal	-16.48	9.01	-31.66	-5.00	6.52	289.71	259.38	-93.94

Tabla 37 : Resumen del cumplimiento de la hipótesis de la calicata 02 con cal viva.

Fuente: Propia del autor.

ENSAYO	Limite Liquido	Limite Plastico	Indice de Plasticidad	Max. Dens. Seca	Opt.Cont. Hum	CBR 100 %	CBR 95 %	Hinch. Promedio
ADIC 2% de cal	NO	NO	NO	NO	NO	SI	SI	SI
ADIC 4% de cal	NO	NO	NO	NO	NO	SI	SI	SI
ADIC 6% de cal	NO	NO	NO	NO	NO	SI	SI	SI

Tabla 38 : Resumen del cumplimiento de la hipótesis de la calicata 02 con cal viva.

Fuente: Propia del autor.

ENSAYO	Limite Liquido	Limite Plastico	Indice de Plasticidad	Max. Dens. Seca	Opt.Cont. Hum	CBR 100 %	CBR 95 %	Hinch. Promedio
ADIC 2% de cal	31.21	12.81	18.40	1.907	13	12.96	9.80	3.90
ADIC 4% de cal	29.53	13.66	15.87	1.885	12.64	18.10	14.50	2.20
ADIC 6% de cal	27.82	13.55	14.27	1.88	12.26	31.45	23.00	0.20
SUELO NATURAL	33.31	12.43	20.88	1.979	11.51	8.07	6.40	3.30

Tabla 39 : Resumen de los resultados de los ensayos de la calicata 02 con cal viva.

Fuente: Propia del autor.

Panel Fotográfico



Imagen 1: Excavación Calicata 01



Imagen 2: Excavación Calicata 02



Imagen 3: Secado de muestras para Límites de Atterberg



Imagen 4: Límite líquido en copa de Casagrande



Imagen 5: Preparación de muestras con diferentes % de Humedad para Proctor Modificado



Imagen 6: Ensayo Proctor modificado con diferentes % de humedad. Calicata 01.



Imagen 7: Ensayo Proctor modificado con diferentes % de humedad. Calicata 01.



Imagen 8: Ensayo de CBR después de penetración. Calicata 01.



Imagen 9: Preparación de muestra para ensayos CBR. Calicata 02.



Imagen 10: Inmersión de moldes de CBR en material natural. Calicata 02.



Imagen 11 : Ensayo Proctor modificado con diferentes % de humedad. Calicata 01.



Imagen 12 : Moldes de muestra con diferentes % de cal hidratada en inmersión. Calicata 01.



Imagen 13 : Preparación de material con diferentes % de cal viva para CBR. Calicata 02.



Imagen 14 : Preparación de material con diferentes



Imagen 15: Lectura de expansión en los moldes de CBR con diferentes % de cal viva. Calicata 02.



Imagen 16: Cal hidratada empleada.

Anexo 03: Fichas Técnicas



PROCALKADI

Servicio de transporte de carga a nivel nacional
Productores de óxido de calcio y derivados

FICHA TÉCNICA CAL VIVA MOLIDA PASANTE MALLA 100	Emisión: 14/05/2018 Revisión: 18/06/2018
--	---

IDENTIFICACIÓN DEL PRODUCTO Y FABRICANTE

Nombre	:	Óxido de calcio
Granulometría	:	Pasante Malla 100
Fabricante	:	Productos Calcáreos KADI S.R.L.
Domicilio Fiscal	:	Carretera Huaraz – Caraz S/N – Acopampa
Planta de producción	:	Acopampa – Carhuaz - Ancash
Email	:	secretaria@procalcadi.com ventas@procalcadi.com

ORIGEN

Su origen principal se debe a los procesos sedimentarios y a los procesos biológicos (caparazones de moluscos, corales, etc.). La calcita se forma por cristalización directa de disoluciones diluidas o por transformación paramorfa de las demás fases que son menos estables.

PREPARACION Y/O TRATAMIENTO PREVIO A SUS USOS O PROCESAMIENTO

Cal viva, (óxido de calcio – CaO), se produce a partir de la piedra caliza seleccionada de alta pureza, con un alto contenido de Carbonato de Calcio, que se calcina en hornos verticales a altas temperaturas. El análisis físico-químico se realiza bajo los lineamientos de la norma NTC 1398.

CONTROLES DE EXPOSICIÓN Y PROTECCIÓN PERSONAL

Fórmula	Compuesto	Valores
CaO Total*	Cal Total	90%
CaO Útil	Cal disponible	85%
SiO ₂	Óxido de Silicio	2.68%
MgO	Óxido de Magnesio	1.55%
S	Azufre	< 0.058%
Ba	Bario	< 0.03 %
Pb	Plomo	< 2 mg/kg
F-	Fluoruro	< 50 mg/kg
Oxidos combinados		< 0.8%
Sedimentos		Máximo 16 %
Reactividad		Inicio 1' 30"
		Final 7' 45"

*Según requerimiento del cliente



P R O C A L K A D I

Servicio de transporte de carga a nivel nacional
Productores de óxido de calcio y derivados

METODO DE PRODUCCIÓN

La piedra caliza es extraída de la cantera y reducida a un tamaño estándar antes de su ingreso al horno vertical artesanal para su cocción. Una vez calcinada es seleccionada y molida, luego es envasada según requerimiento del cliente.

METODO DE EMBALAJE Y DISTRIBUCIÓN

El método de embalaje es manual en sacos de polipropileno laminados rotulados (número de lote, fecha de producción, nombre insumo y otros), cocidos a máquina de 30, 40 o 50 kg. La distribución del insumo, es transportado en nuestras propias unidades, las mismas que transportan un máximo de 32 TM, por lote a distribuir, los cuales cuentan con todos los permisos vigente para el transporte de bienes fiscalizados.

GRANULOMETRÍA

Densidad específica	:	3.10
Granulometría	:	Pasante Malla 100 (99%)
Oxido de calcio	:	método interno
Parámetro	:	Especificación
Aspecto físico	:	Polvo blanco grisáceo

ALMACENAMIENTO

El óxido de calcio se en lugar destinado para el almacenamiento bajo techo, fresco, protegido de la humedad y del anhídrido carbónico del aire, apilados en sacos de polipropileno, por un periodo no mayor a un mes.

INSTRUCCIONES DE SEGURIDAD Y MANEJO

- Toxicidad: La cal es extremadamente corrosiva, se deben usar equipos de protección adecuados para la piel y los ojos.
- Almacenamiento: Evitar almacenar en lugares o ambientes húmedos.
- Cuidados: Evitar el contacto con la piel y los ojos. Evitar inhalar
- Primeros auxilios: En caso de quemadura se debe lavar con abundante agua por 20 minutos.

INFORMACIÓN ADICIONAL

- Observación : Uso personal calificado.
- Nivel de riesgo : Moderado.



RUC:10106853202

CAL. 6 MZ. B LTE. 16 PROGRAMA DE VIVIENDA SANTA BARBARA S.M.P – LIMA-LIMA

CEL: 996990976 – 995992373

FICHA TECNICA

PRODUCTO: CAL DE OBRA(NO FISCALIZADO)

Características
Compuesto formado de trazas de carbonato de calcio, hidróxido de calcio o bien una mezcla de carbonato de calcio y partículas de rocas disgregadas. Es un aportante de calcio.
Marca: VIHERSA
Contenido : 1 unidad
Aspecto: Polvo
%Ca(OH): 4 - 16%
Olor: Inodoro
Modo de empleo
En suelos que tienen en promedio 1.56 kg de Na+/50m ² , esparcir 20 kg de cal de obra por cada 50m ² previamente el suelo esté rastrillado. Espolvorear de manera uniforme en zanjas y suelos salitrosos: 1.5 kg/m ² .La cal en su aleación con el cemento, forman el conglomerante ideal para el uso tanto en mortero de junta como de estuco, debido a que le otorga una mayor trabajabilidad,retentividad, impermeabilidad y adherencia.
La cal disminuye el costo del mortero por m ³ , además debido a sus propiedades, la cal reduce las pérdidas de mortero en su ejecución y aumenta el rendimiento de la mano de obra, lo que aumenta los beneficios económicos de su utilización.
Almacenamiento
Almacenar en ambientes protegidos, frescos y secos. Proteger el producto de la húmedas porque puede formar grumos.
Presentación: bolsas de 1kg. Y sacos y/o bolsa de 20 kg.
Color: Blanco humo a grisáceo
Uso: Para mejorar suelos ácidos y suelos sódicos. En construcción y marcado de campos.
Procedencia: Nacional
Tipo: Cal
Recomendaciones : Manténgase la bolsa herméticamente cerrada. No ingerir el producto. No mezclar con ácidos, puede liberar gases, si esto ocurre ventile el área.
Categoría: Cemento y complementos.

Representaciones "VIHERSA"
 Químicos para la industria cervecera

 Frank Angel Vicente Huerta
 D.N.I. 10585320
 REPRESENTANTE LEGAL

CAL HIDRATADA TIPO N	GRANULOMETRÍA
Retenido en Malla 100	Max. 10%
Retenido en Malla 200	Max. 4%
Retenido en Malla 325	Max. 2%
Fondo (Pasante Malla 325)	Min. 85%

REQUISITO	UNIDAD	ESPECIFICACION	METODO ANALITICO
		TIPO N	
Ca(OH) ₂ Disponible	% m/m	81.8 – 89.7	NTC 1398
CaO Disponible	% m/m	62 – 68	NTC 1398
Material insoluble en ácido	% m/m	5.0 Máx.	NTC 1398 I-GP-07
Fe ₂ O ₃	% m/m	0.5 Máx.	ASTM C – 25 – 72
Al ₂ O ₃	% m/m	0.5 Máx.	ASTM C – 25 – 72
MgO	% m/m	2.0 Máx.	ASTM C – 25 – 72
SiO ₂	% m/m	1.0 Máx.	ASTM C – 25 – 72
Humedad Libre	%m/m	2.0 Máx.	I-GP-17