



UNIVERSIDAD ANDINA
NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS A NIVEL DE
SUBRASANTE CON APLICACIÓN DE CAL Y CENIZA
DE CÁSCARA DE QUINUA EN EL DISTRITO
DE SAN MIGUEL, SAN ROMÁN PUNO**

TESIS PRESENTADA POR:
Bach. DIMAR ENRIQUE FLORES CALLA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO CIVIL

JULIACA - PERÚ

2024



UNIVERSIDAD ANDINA
NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS A NIVEL DE
SUBRASANTE CON APLICACIÓN DE CAL Y CENIZA
DE CÁSCARA DE QUINUA EN EL DISTRITO
DE SAN MIGUEL, SAN ROMÁN PUNO

TESIS PRESENTADA POR:

Bach. DIMAR ENRIQUE FLORES CALLA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO CIVIL

APROBADA POR EL JURADO REVISOR:

PRESIDENTE

:


Dr. LEONEL SUASACA PELINCO

PRIMER MIEMBRO

:


Dr. EFRAIN PARILLO SOSA


SEGUNDO MIEMBRO

:


Dr. ARNALDO YANA TORRES

ASESOR DE TESIS

:


Dr. MILTON QUISPE HUANCA

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

:

TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN – P17

**RESOLUCIÓN DECANAL N° 1483-2024-D-UI-FICP-UANCV**

Juliaca, 11 de noviembre del 2024

VISTO: El expediente N° 2024- 15995 presentado por el (la) Bachiller: **DIMAR ENRIQUE FLORES CALLA** estudiante de la Escuela Profesional de **Ingeniería Civil** de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras quien solicita **NOMINACIÓN DE JURADOS Y PROGRAMACIÓN DE FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN**.

CONSIDERANDO:

Que, el (la) Bach. **DIMAR ENRIQUE FLORES CALLA**, quien solicita **NOMINACIÓN DE JURADOS Y PROGRAMACIÓN DE FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN** de la Tesis Titulado: **ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS A NIVEL DE SUBRASANTE CON APLICACIÓN DE CAL Y CENIZA DE CÁSCARA DE QUINUA EN EL DISTRITO DE SAN MIGUEL, SAN ROMÁN PUNO**, la misma que pertenece a la línea de investigación **TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN** para optar el Título Profesional de **Ingeniero Civil**.

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el reglamento interno de trabajos de investigación conducente a grados y títulos mediante Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R. y en concordancia con el dictamen de similitud.

De conformidad al Reglamento Interno de Trabajos de Investigación Conducente a Grados y Títulos aprobado con Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R. y en merito al Art. 24, Art. 28 del reglamento, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales, y en uso a las atribuciones, que le concede la ley Universitaria N° 30220, ley de creación de la UANCV N° 23738 y modificatoria N° 24661, y el Estatuto de la UANCV, el Decano y el Director de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras.

RESUELVE:

ARTÍCULO PRIMERO.- APROBAR, la **NOMINACIÓN DE JURADOS** integrado por los siguientes docentes:

- * **Presidente** : Dr. LEONEL SUASACA PELINCO
- * **1er Miembro** : Dr. EFRAIN PARILLO SOSA
- * **2do Miembro** : Dr. ARNALDO YANA TORRES

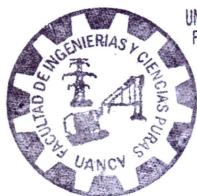
ARTICULO SEGUNDO. - RECONOCER como asesor de la propuesta de investigación (tesis) de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras al (a la) docente, **Dr. MILTHON QUISPE HUANCA**.

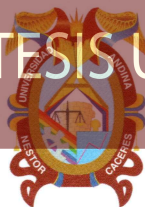
ARTICULO TERCERO. - APROBAR, la **FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS** de el (la) bachiller: **DIMAR ENRIQUE FLORES CALLA**; del informe final de la investigación (tesis) titulado: **ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS A NIVEL DE SUBRASANTE CON APLICACIÓN DE CAL Y CENIZA DE CÁSCARA DE QUINUA EN EL DISTRITO DE SAN MIGUEL, SAN ROMÁN PUNO** para optar el Título Profesional de **Ingeniero Civil**. de acuerdo al siguiente detalle:

- * **FECHA** : Jueves 14 de noviembre del 2024
- * **HORA** : 10:30 a.m.
- * **LUGAR** : Aula 406 - FICP

ARTÍCULO CUARTO.- DISPONER que, la Unidad de Investigación, Responsables del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y el Director de la Escuela Profesional de **Ingeniería Civil** quedan encargados del cumplimiento de la presente Resolución.

Regístrese, Comuníquese, Archívese.

UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y Cs. PURASDr. MILTHON QUISPE HUANCA
DECANO
CIP. 47790UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURASDr. Efraín Parillo Sosa
DIRECTOR
UNIDAD DE INVESTIGACIÓNcc.
Archivo
interesado (a)



RESOLUCIÓN DECANAL N° 584-2024-D-UI-FICP-UANCV

Juliaca, 09 de julio del 2024

VISTO: El expediente N° 2024-CU - 7943 por el señor (a): **DIMAR ENRIQUE FLORES CALLA** quien solicita **REVISIÓN DEL INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (borrador de tesis)**, el PROVEIDO - N° 629- 2024-UI-FICP-UANCV/J, y la **FICHA DE OPINIÓN DEL INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (BORRADOR DE TESIS)** formato N° 124 - 2024 del integrante del comité de investigación **EPIC** de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, según al reglamento interno de trabajos de investigación conducente a grados y títulos.

CONSIDERANDO:

Que, el señor (a): **DIMAR ENRIQUE FLORES CALLA**, ha presentado su informe final de la investigación (borrador de tesis) Titulado: **ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS A NIVEL DE SUBRASANTE CON APLICACIÓN DE CAL Y CENIZA DE CÁSCARA DE QUINUA EN EL DISTRITO DE SAN MIGUEL, SAN ROMÁN PUNO**, para optar el Título Profesional de **Ingeniero Civil**.

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales; el integrante del comité de investigación **Mgtr. Arnaldo Yana Torres** de la Escuela Profesional de **Ingeniería Civil** de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, emitió la ficha de opinión del informe final de la investigación (borrador de tesis) formato N° 124 - 2024 **aprobando** el informe final de la investigación (borrador de tesis) titulado: **ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS A NIVEL DE SUBRASANTE CON APLICACIÓN DE CAL Y CENIZA DE CÁSCARA DE QUINUA EN EL DISTRITO DE SAN MIGUEL, SAN ROMÁN PUNO**, Correspondiente a la línea de investigación **TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN**.

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el reglamento interno de trabajos de investigación conducentes a grados y títulos mediante Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R. y estando a la opinión favorable del comité de investigación respecto al informe final de la investigación (borrador de tesis).

Estando, con la opinión favorable del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y en concordancia al Reglamento Interno de Trabajos de Investigación Conducente a Grados y Títulos aprobado con Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R. y en merito al Art. 27 del reglamento, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales, y en uso a las atribuciones, que le concede la ley Universitaria N° 30220, ley de creación de la UANCV N° 23738 y modificatoria N° 24661, y el Estatuto de la UANCV, el Decano y el Director de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras.

RESUELVE:

ARTÍCULO PRIMERO.- APROBAR, el **INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (BORRADOR DE TESIS)**, para la **REVISIÓN DE SIMILITUD TURNITIN**, presentado por el señor (a): **DIMAR ENRIQUE FLORES CALLA**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil, con el Tema Titulado: **ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS A NIVEL DE SUBRASANTE CON APLICACIÓN DE CAL Y CENIZA DE CÁSCARA DE QUINUA EN EL DISTRITO DE SAN MIGUEL, SAN ROMÁN PUNO** correspondiente a la línea de investigación **TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN**, en virtud a los considerandos expuestos.

ARTÍCULO SEGUNDO.- RATIFICAR como **ASESOR DE INVESTIGACIÓN** al (a) la), **Dr. MILTHON QUISPE HUANCA**.

ARTÍCULO TERCERO.- DISPONER que, la Unidad de Investigación, Responsables del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y el Director de la Escuela Profesional de **Ingeniería Civil** quedan encargados del cumplimiento de la presente Resolución.

Regístrese, Comuníquese, Archívese.



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y Cs. PURAS

Dr. MILTHON QUISPE HUANCA
DECANO
CIP. 47790



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

Dr. Efraín Parillo Sosa
DIRECTOR
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

cc.
Archivo
interesado (a)



“NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ”

RESOLUCIÓN DECANAL N° 081-2023-D-UI-FICP-UANCV

Juliaca, 11 de diciembre del 2023

VISTO: El expediente N° 2023-CU-16397, presentado por el señor (a) **DIMAR ENRIQUE FLORES CALLA** solicitando **APROBACIÓN DE LA PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN**, el **PROVEIDO - N° 261-2023-UI-FICP-UANCV/J**, y la **FICHA DE OPINIÓN DE LA PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN** formato N° 027 - 2023 del integrante del comité de investigación **EPIC** de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, según al reglamento interno de trabajos de investigación conducente a grados y títulos.

CONSIDERANDO:

Que, el (la) estudiante: **DIMAR ENRIQUE FLORES CALLA**, ha presentado su propuesta de investigación Titulado: **ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS A NIVEL DE SUBRASANTE CON APLICACIÓN DE CAL Y CENIZA DE CÁSCARA DE QUINUA EN EL DISTRITO DE SAN MIGUEL, SAN ROMÁN PUNO**, para optar el Título Profesional de **Ingeniero Civil**.

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales; el integrante del comité de investigación **Mgtr. Arnaldo Yana Torres** de la Escuela Profesional de **Ingeniería Civil** de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, emitió la ficha de opinión de la propuesta de investigación formato N° 027-2023 **aprobando** la propuesta de investigación titulado: **ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS A NIVEL DE SUBRASANTE CON APLICACIÓN DE CAL Y CENIZA DE CÁSCARA DE QUINUA EN EL DISTRITO DE SAN MIGUEL, SAN ROMÁN PUNO**.

Que, es requisito indispensable contar con un asesor docente ordinario y/o contratado de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras con un mínimo de cinco años de docencia, grado de doctor o magister y experiencia en la línea a investigar, o deberá estar acreditado por Resolución 0989-2022-UANCV-CU-R, quien asumirá como asesor de la propuesta de investigación, según el área o grado.

Estando, con la opinión favorable de la propuesta de investigación del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y en concordancia al Reglamento Interno de Trabajos de Investigación Conducente a Grados y Títulos aprobado con Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R. y en merito al Art. 25 del reglamento, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales, y en uso a las atribuciones, que le concede la ley Universitaria N° 30220, ley de creación de la UANCV N° 23738 y modificatoria N° 24661, y el Estatuto de la UANCV, el Decano y el Director de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras.

RESUELVE:

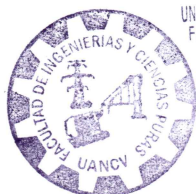
ARTÍCULO PRIMERO.- APROBAR, la **PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN**, presentado por el o (la) Bachiller: **DIMAR ENRIQUE FLORES CALLA**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil, con el Tema Titulado: **ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS A NIVEL DE SUBRASANTE CON APLICACIÓN DE CAL Y CENIZA DE CÁSCARA DE QUINUA EN EL DISTRITO DE SAN MIGUEL, SAN ROMÁN PUNO** correspondiente a la línea de investigación **TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN**.

La misma que deberá proceder con la ejecución de la propuesta de Investigación aprobado de acuerdo a lo establecido en el Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales.

ARTÍCULO SEGUNDO.- RECONOCER como **ASESOR DE INVESTIGACIÓN** al (a) la), **Dr. MILTHON QUISPE HUANCA**.

ARTÍCULO TERCERO.- DISPONER que, la Unidad de Investigación, Responsables del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y el Director de la Escuela Profesional de **Ingeniería Civil** quedan encargados del cumplimiento de la presente Resolución.

Regístrese, Comuníquese, Archívese.



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
Dr. MILTHON QUISPE HUANCA
DECANO
CIP. 47790



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
DIRECTOR
Dr. Efraín Parillo Sosa
DIRECTOR
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

cc.
Archivo 2023
Interesado (a)



ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS A NIVEL DE SUBRASANTE CON APLICACIÓN DE CAL Y CENIZA DE CÁSCARA DE QUINUA EN EL DISTRITO DE SAN MIGUEL, SAN ROMÁN PUNO

INFORME DE ORIGINALIDAD

17%

INDICE DE SIMILITUD

17%

FUENTES DE INTERNET

3%

PUBLICACIONES

8%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	8%
2	Submitted to Universidad Andina Nestor Caceres Velasquez Trabajo del estudiante	2%
3	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	1%
4	repositorio.uns.edu.pe Fuente de Internet	1%
5	repositorio.unheval.edu.pe Fuente de Internet	<1%
6	repositorio.uancv.edu.pe Fuente de Internet	<1%
7	www.dspace.unitru.edu.pe Fuente de Internet	<1%

repositorio.unap.edu.pe



Título de la tesis	
ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS A NIVEL DE SUBRASANTE CON APLICACIÓN DE CAL Y CENIZA DE CÁSCARA DE QUINUA EN EL DISTRITO DE SAN MIGUEL, SAN ROMÁN PUNO	
Datos de autor	
Nombres y apellidos	Dimar Enrique Flores Calla
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	44605726
URL de ORCID	https://orcid.org/0009-0006-8447-6293
Datos de asesor	
Nombres y apellidos	Milthon Quispe Huanca
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	02424528
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0002-4219-1007
Datos del jurado	
Presidente del jurado	
Nombres y apellidos	Leonel Suasaca Pelinco
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	40865558
Miembro del jurado 1	
Nombres y apellidos	Efrain Parillo Sosa
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	02416058
Miembro del jurado 2	
Nombres y apellidos	Arnaldo Yana Torres
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	41414676



Datos de investigación	
Línea de investigación	Tecnología de la construcción - P17
Grupo de investigación	No aplica.
Agencia de financiamiento	Sin financiamiento
Ubicación geográfica de la investigación	<p>Dirección: Circunvalación 2 País: Perú Departamento: Puno Provincia: San Román Distrito: San Miguel Localidad: San Miguel Latitud: S 15°27'27.3" Longitud: O 70°07'58.1" https://maps.app.goo.gl/pptKEDRoWXUHTSfB9</p>
Año o rango de años en que se realizó la investigación	Marzo 2024 - Noviembre 2024
URL de disciplinas OCDE https://concytec-pe.github.io/Peru-CRIS/vocabularios/ocde_ford.html - Librería	<p>Ingeniería civil https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.01 Ingeniería de la construcción https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.03</p>

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
DIRECTOR
Dr. Efraín Parillo Sosa
DIRECCIÓN
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN



DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD Y RESPONSABILIDAD

Yo DIMAR ENRIQUE FLORES CALLA, identificado con DNI Nro. 44605726, en mi condición de egresado de:

- Escuela Profesional**
- Programa de Segunda Especialidad,**
- Programa de Maestría o Doctorado**

INGENIERIA CIVIL

informo que he elaborado el/la **Tesis** o **Trabajo de Investigación,** **Trabajo Académico** denominada:

ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS A NIVEL DE SUBRASANTE CON APLICACIÓN DE CAL Y CENIZA DE CÁSCARA DE QUINUA EN EL DISTRITO DE SAN MIGUEL, SAN ROMÁN PUNO

Asesorado por: Dr. MILTHON QUISPE HUANCA

Es un tema original.

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

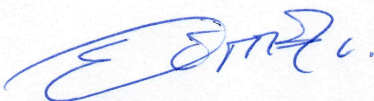
Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

El incumplimiento de lo declarado da lugar a responsabilidad del declarante, en consecuencia; a través del presente documento asumo frente a terceros, la Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez y/o la Administración Pública toda responsabilidad que pueda derivarse por el trabajo final presentado. Lo señalado incluye responsabilidad pecuniaria incluido el pago de multas u otros por los daños y perjuicios que se ocasionen.

Juliaca 05 de DICIEMBRE del 2024


Firma del Asesor
(obligatoria)


Firma del Estudiante
(obligatoria)


Huella



DEDICATORIA

A mi querido padre Jacinto Flores que está en el cielo, por ser mi mayor motivación e inspiración, aunque físicamente ya no esté conmigo, sus enseñanzas y ejemplos me dejaron una huella profunda; a mi amada madre Hilda, por su respaldo incondicional en cada paso de este arduo proceso, su comprensión y respaldo fueron fundamentales; a mis hermanos David, Lizeth y Beatriz, por estar siempre dándome ánimos durante este proceso. A mis docentes de la Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez, por darme la oportunidad de formarme profesionalmente. Con profundo cariño y gratitud, dedico esta tesis a todos ustedes.



AGRADECIMIENTO

Mi agradecimiento extensivo y mi gratitud a la Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez en especial a la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, por darme la oportunidad de cursar mis estudios y proveer los recursos necesarios para realizar esta investigación. Expresar también mi agradecimiento a mi asesor de tesis, el Dr. Milthon Quispe Huanca, por su disposición brindada. Asimismo, mi entero agradecimiento a los jurados evaluadores, por el tiempo dedicado a la revisión de la investigación y por las valiosas sugerencias que permitieron enriquecerlo. Finalmente, el más grande y sincero agradecimiento a mi familia, por su confianza y su inagotable paciencia.



ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTO	ii
ÍNDICE GENERAL.....	iii
ÍNDICE DE TABLAS	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
ACRÓNIMOS.....	xi
RESUMEN.....	xii
ABSTRACT.....	xiii
INTRODUCCIÓN	xiv

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Análisis de la situación problemática	1
1.2. Planteamiento del problema	3
1.2.1. Problema General	3
1.2.2. Problemas Específicos	3
1.3. Objetivos	4
1.3.1. Objetivo general	4
1.3.2. Objetivos específicos.....	4
1.4. Justificación de la investigación	4
1.4.1. Justificación técnica.....	4



1.4.2. Justificación económica.....	5
1.4.3. Justificación ambiental.....	6
1.5. Hipótesis de la investigación.....	7
1.5.1. Hipótesis general.....	7
1.5.2. Hipótesis específicas.....	7
1.6. Variables e indicadores.....	7
Variable dependiente.....	7
Variables independientes.....	7

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

2.1. Antecedentes de la investigación.....	8
2.1.1. Antecedentes internacionales.....	8
2.1.2. Antecedentes nacionales.....	10
2.1.3. Antecedentes locales.....	19
2.2. Marco teórico.....	21
2.2.1. Suelos.....	21
2.2.2. Tipos de suelos.....	22
2.2.3. Propiedades esenciales de los suelos.....	24
2.2.4. Categorización de los suelos.....	28
2.2.5. Estabilización de suelos.....	29
2.2.6. Procesos de estabilización de suelos.....	31
2.2.7. Características mecánicas de los suelos en estudio.....	35



2.2.8. Compactación de suelos	36
2.2.9. Incidencia de la cal en las particularidades del suelo.....	41
2.2.10. Subrasante	42
2.2.11. Producción de la quinua	43
2.3. Marco conceptual	43
2.3.1. Cal.....	43
2.3.2. Grado de resistencia del suelo	44
2.3.3. Permeabilidad del suelo	44

CAPÍTULO III

PROCEDIMIENTOS METODOLÓGICOS DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Diseño de la investigación	45
3.1.1 Tipo de investigación	45
3.1.2 Método de investigación	47
3.1.3 Nivel de investigación	47
3.1.4 Variables y operacionalización	47
3.2. Ámbito de investigación.....	48
3.3. Población y muestra	50
3.3.1 Población.....	50
3.3.2 Muestra	50
3.4. Técnicas e instrumentos de investigación.....	51
3.4.1 Técnicas	51
3.4.2 Instrumentos.....	53



3.4.3 Fuente de recolección de datos54

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados de la investigación.....55

 4.1.1 Granulometría del suelo55

 4.1.2 Ensayos de límites de consistencia57

 4.1.3 Resultados del ensayo Proctor modificado67

 4.1.4 CBR (California Bearing Ratio)73

4.2. Discusión.....89

CONCLUSIONES91

RECOMENDACIONES93

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS94

ANEXOS.....99



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Categorización de suelo según su tamaño	24
Tabla 2 Categorización de suelos según su plasticidad.....	25
Tabla 3 Categorización de suelos según índice de grupo.....	28
Tabla 4 Correspondencia de tipologías de suelos AASHTO-SUCS.....	28
Tabla 5 Categorías de subrasante para CBR	40
Tabla 6 Identificación y proceso de un experimento	46
Tabla 7 Operacionalización de variables	48
Tabla 8 Número de ensayos requeridos	51
Tabla 9 Granulometría del suelo cohesivo.....	56
Tabla 10 cálculos de límite líquido suelo control.....	57
Tabla 11 Cálculos de límite líquido tratamiento 1 (4% cal y 7% ceniza).....	58
Tabla 12 Cálculos límite líquido tratamiento 2 (5% cal y 10% ceniza).....	60
Tabla 13 Cálculos límite líquido tratamiento 3 (7% cal y 13% CCQ).....	61
Tabla 14 Cálculos de límite plástico del suelo control.....	62
Tabla 15 Cálculos límite plástico tratamiento 1 (4% cal y 7% CCQ).....	62
Tabla 16 Cálculos límite plástico tratamiento 2 (5% cal y 10% CCQ).....	62
Tabla 17 Cálculos límite plástico tratamiento 3 (7% cal y 13% CCQ).....	63
Tabla 18 Resumen del IP de las muestras con tratamientos	64
Tabla 19 Categorización de suelos: Norma AASHTO.....	67
Tabla 20 Cálculos de proctor modificado suelo control.....	68
Tabla 21 Cálculos de proctor modificado (Tratamiento 1).....	69



Tabla 22 Cálculos de proctor modificado (Tratamiento 2).....	70
Tabla 23 Cálculos de proctor modificado (Tratamiento 3).....	71
Tabla 24 Resumen contenido de humedad y máxima densidad seca.....	72
Tabla 25 Prueba de compactación (suelo control)	76
Tabla 26 Hinchamiento del suelo control	76
Tabla 27 Penetración y CBR del suelo control.....	77
Tabla 28 CBR del suelo control	78
Tabla 29 Prueba de compactación Tratamiento 1 (4% cal+7% CCQ).....	79
Tabla 30 Hinchamiento del suelo-Tratamiento 1 (4% cal+7% CCQ).....	79
Tabla 31 Penetración y CBR suelo tratamiento 1 (4% cal+7% CCQ)	80
Tabla 32 CBR del suelo con tratamiento 1.....	82
Tabla 33 Prueba de compactación-tratamiento 2 (5% cal+10% CCQ).....	82
Tabla 34 Hinchamiento del suelo-Tratamiento 2 (5% cal+10% CCQ).....	83
Tabla 35 Penetración y CBR suelo-tratamiento2 (5% cal+10% CCQ)	83
Tabla 36 CBR del suelo con Tratamiento 2	84
Tabla 37 Prueba de compactación tratamiento 3 (7% cal+13% CCQ)	85
Tabla 38 Hinchamiento del suelo-tratamiento 3 (7% cal+13% CCQ)	86
Tabla 39 Penetración y CBR-tratamiento 3 (7% cal+13% CCQ).....	86
Tabla 40 CBR Suelo con tratamiento 3.....	87
Tabla 41 Resumen CBR de diseño para suelos estabilizados	88



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Composición de los suelos y sus fases	22
Figura 2 Límites de plasticidad método casagrande.....	26
Figura 3 Componente para pruebas Proctor Modificado	37
Figura 4 instrumentos utilizados para el ensayo CBR	38
Figura 5 Equipo C.B.R. (California Bearing Ratio)	41
Figura 6 <i>Ubicación geográfica de la investigación</i>	49
Figura 7 Ubicación geográfica para la zona de intervención Av. Las torres	49
Figura 8 Clasificación de suelos SUCS	52
Figura 9 Curva granulométrica	56
Figura 10 Curva de Fluidez respecto del contenido de humedad	58
Figura 11 Curva de fluidez para el tratamiento 1 (4% cal y 7% ceniza)	59
Figura 12 Curva de fluidez para el tratamiento 2 (5% cal y 10% ceniza)	60
Figura 13 Curva de fluidez para el tratamiento 3 (7% cal y 13% CCQ)	61
Figura 14 Índice de plasticidad vs. estabilizantes	64
Figura 15 Carta de plasticidad del suelo control y su clasificación.....	65
Figura 16 Curva de compactación (suelo control)	69
Figura 17 Curva de compactación tratamiento 1 (4% cal + 7% CCQ)	70
Figura 18 Curva de compactación tratamiento 2 (5% cal + 10% CCQ)	71
Figura 19 Curva de compactación tratamiento 3 (7% cal + 13% ceniza)	72
Figura 20 Hinchamiento del suelo control a las 96 horas	77
Figura 21 Curva esfuerzo-penetración (suelo control)	78



Figura 22 Curvas CBR para el suelo control	78
Figura 23 Hinchamiento del suelo (4% cal+7% ceniza)	80
Figura 24 Curva esfuerzo penetración – tratamiento 1	81
Figura 25 Curva CBR al 95% MDS tratamiento 1 (4% cal+7%CCQ)	81
Figura 26 Curva de hinchamiento del suelo (5% cal+10% CCQ).....	83
Figura 27 Curva esfuerzo-penetración – tratamiento 2	84
Figura 28 Curvas CBR al 95%MDS (5% cal+10% CCQ)	84
Figura 29 Curva de hinchamiento suelo (7% cal+13% CCQ)	86
Figura 30 Curva Esfuerzo-penetración – Tratamiento 3	87
Figura 31 Curva CBR al 95% MDS (7% cal+13% ceniza)	87
Figura 32 CBR de diseño vs. Combinaciones de cal y CCQ	88



ACRÓNIMOS

ASTM	: American Society for Testing and Materials
AASHTO	: American Association of State Highway and Transportation Officials
CCQ	: Ceniza de cáscara de quinua
COH	: Contenido óptimo de humedad
CBR	: California Bearing Ratio
CP	: Centro poblado
DMS	: Densidad máxima seca
INIA	: Instituto Nacional de Innovación Agraria
IG	: Índice de grupo
IP	: índice de plasticidad
LL	: Límite líquido
LP	: Límite plástico
MTC	: Ministerio de Transportes y comunicaciones
NTP	: Norma técnica peruana
SUCS	: Sistema Unificado de Clasificación de Suelos.



RESUMEN

El distrito de San Miguel por lo general presenta problemas de inestabilidad de suelo ocasionados también por el clima en temporadas de lluvia ocasionando una mayor inundabilidad. La zona se caracteriza por tener suelos cohesivos con mínima capacidad de soporte lo que ha motivado la búsqueda de soluciones de estabilización. La investigación tiene por objeto, determinar los efectos de la añadidura de cal y ceniza de cáscara de quinua en la estabilización de suelos cohesivos a nivel de sub rasante en diferentes porcentajes de estos aditivos. Se empleó la metodología cuasi-experimental, realizando pruebas de Proctor, CBR y límites de Atterberg en los especímenes de suelo natural y estabilizado con proporciones de cal y ceniza realizadas para diferentes combinaciones de aditivos. Los resultados exponen que, la relación de plasticidad se redujo de 31.07% a 15.18%. La incorporación de una mezcla compuesta por 7% de cal y 13% de ceniza de cáscara de quinua produjo una disminución en la densidad seca máxima de la muestra, pasando de 1,82 g/cm³ a 1,46 g/cm³, incrementó el contenido de humedad óptimo de 15.13% a 28.20%, aumentó el CBR al 95% MDS de 5.40% a 29.35% a 0.1" de penetración. Se concluye que la añadidura de cal y ceniza de cáscara de quinua mejora de manera significativa las propiedades físico-mecánicas del suelo arcilloso, aumentando su capacidad portante, reduciendo su plasticidad y expansión, y mejorando su compactación. Estos resultados sugieren que esta técnica de estabilización es efectiva para optimizar las particularidades de los suelos cohesivos a nivel de sub rasante en la región.

Palabras clave: Cal, cenizas de quinua, dosificación, estabilización, sub rasante.



ABSTRACT

The San Miguel district generally has soil instability problems that are also caused by the climate during the rainy season, resulting in increased flooding. The area is characterized by cohesive soils with minimal bearing capacity, which has motivated the search for stabilization solutions. The purpose of this research is to determine the effects of the addition of lime and quinoa husk ash in the stabilization of cohesive soils at the subgrade level with different percentages of these additives. Quasi-experimental methodology was used, performing Proctor, CBR and Atterberg limits tests on specimens of natural and stabilized soil with proportions of lime and ash for different combinations of additives. The results show that the plasticity ratio was reduced from 31.07% to 15.18%. The incorporation of a mixture composed of 7% lime and 13% quinoa husk ash produced an increase in the maximum dry density of the sample from 1.82 g/cm³ to 1.46 g/cm³, increase the optimum moisture content from 15.13% to 28.20%, increased the CBR at 95% MDD from 5.40% to 29.35% to 0.1" penetration. It is concluded that the addition of lime and quinoa husk ash significantly improves the physical-mechanical properties of the clayey soil, increasing its bearing capacity, reducing its plasticity and expansion, and improving its compaction. These results suggest that this stabilization technique is effective in optimizing the particularities of cohesive soils at the subgrade level in the region.

Keywords: Lime, quinoa ash, dosage, stabilization, sub gradient.



INTRODUCCIÓN

El distrito de San Miguel presenta suelos con características inestables al que se adiciona el tema del clima con lluvias de noviembre a marzo, siendo diciembre y enero los meses más lluviosos. El área se distingue por la presencia de terrenos cohesivos con reducida capacidad portante, lo cual propicia una elevada susceptibilidad a inundaciones. Esta situación ha impulsado la exploración de alternativas para mejorar la estabilidad del suelo. Entre las variedades de terreno más desafiantes se encuentra el suelo arcilloso, susceptible a sufrir compactaciones cuando se le somete a presiones. Para abordar esta problemática, se plantea como alternativa el perfeccionamiento de sus características mediante la aplicación de procedimientos y tecnologías actuales de mejoramiento del suelo. De esta manera, podríamos obtener un suelo con mayor capacidad para soportar cargas. El proceso de estabilización de terrenos conlleva el incremento de su resistencia mecánica y la garantía de que dichas características perduren a través del tiempo. Esta técnica busca mejorar las propiedades del suelo de manera duradera, fortaleciendo su capacidad para soportar cargas y mantener su integridad estructural a largo plazo (Castro, 2017).

Estabilizar adecuadamente el suelo es fundamental para proyectos viales, aunque suelos no aptos como los arcillosos pueden sufrir asentamientos. Mejorar propiedades de estos suelos mediante técnicas disponibles aumenta su capacidad de soportar cargas. La estabilización de suelos en subrasantes resulta ser un tema de gran importancia a nivel global, puesto que la calidad y la resistencia de las capas inferiores de una estructura vial son fundamentales para asegurar la longevidad y el funcionamiento óptimo del pavimento bajo diversas condiciones de carga. Trabajos previos han explorado el potencial de la cal y otros agentes



estabilizantes, ya que la incorporación de estos materiales puede aumentar significativamente la cohesión y resistencia a la compresión de los estratos manejados; esto es primordial para diseñar y ejecutar infraestructura vial; estudios han corroborado la viabilidad de estas técnicas (Llano et al., 2020).

La relevancia de esta investigación radica en la estabilización del sustrato cohesivo de la sub rasante mediante el empleo de agentes estabilizadores, específicamente la cal y la ceniza derivada de la cáscara de quinua. El propósito es potenciar la resistencia a la compresión del suelo, optimizar su máxima densidad seca, reducir el nivel de humedad óptimo y, consecuentemente, incrementar la capacidad de carga del terreno analizado. Es así que, el presente estudio plantea un método de estabilización que combina eficacia y sostenibilidad ambiental. Se plantea el uso de ceniza derivada de la cáscara de quinua como estabilizador, con la intención de calcular su impacto en las particularidades del estrato arcilloso. Se recomienda llevar a cabo un experimento que utilice la variable independiente que son las proporciones de cal y ceniza derivada de la cáscara de quinua, así como la variable dependiente que es suelo de la sub rasante y su comportamiento físico-mecánico.

Este estudio también se introduce en el área de la tecnología de la construcción, abordando específicamente la estabilización de suelos cohesivos al nivel de subrasante mediante la incorporación de cal y ceniza de cáscara de quinua en el distrito de San Miguel, Puno. La investigación se propone evaluar el efecto de estos aditivos en la mejora de las propiedades de suelos cohesivos destinados a funcionar como subrasante, buscando establecer su eficacia como método de estabilización en condiciones locales. La estabilización se presenta como una estrategia enfocada en optimizar las particularidades ingenieriles del suelo, tanto



en aspectos físicos como mecánicos. Aunque el concepto abarca diversas metodologías, se asocia principalmente con la incorporación de elementos químicos o aditivos para potenciar sus propiedades. En particular, estabilización química emerge como una alternativa eficaz para modificar atributos cruciales del estrato en estudio, tales como su plasticidad, resistencia mecánica, compresibilidad y permeabilidad, ofreciendo soluciones adaptadas a las exigencias específicas (Llano et al., 2020).

El estudio se estructura inicialmente con un examen detallado de la problemática en cuestión, seguido por la formulación de objetivos específicos que abordan directamente los aspectos identificados en el análisis previo. Para establecer una correlación sólida y lógica entre la problemática identificada y los objetivos de investigación, la descripción del marco teórico revisando exhaustivamente la literatura sobre el tema, luego se presenta antecedentes relacionados para aprender de sus enfoques, conceptos, estudios previos, se exhibe también el diseño metodológico, resultados y, por último, las conclusiones que están en línea con los objetivos planteados.



CAPÍTULO I

EL PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Análisis de la situación problemática

A nivel mundial, la estabilización de suelos arcillosos en subrasantes representa un importante desafío en la ingeniería de pavimentos y su estructura. Las fallas estructurales son causadas por problemas de expansión, contracción y baja resistencia ante los cambios de humedad, los cuales son comunes en todo el mundo. Debido a los cambios de humedad, los suelos arcillosos también enfrentan graves problemas de expansión y contracción, lo que provoca grietas y asentamientos diferenciales en las estructuras construidas sobre ellos (Petry & Little, 2002).

En el Perú, los suelos arcillosos expansivos están muy extendidos en regiones como la costa, sierra y la selva, generando patologías frecuentes en carreteras, canales de riego y otras obras de infraestructura. Carbajal y Paul (2019). Cada año se construyen más carreteras en Perú, lo que hace que sea fundamental llevar a cabo proyectos viales de manera adecuada. Es necesario estudiar y estabilizar adecuadamente el suelo para lograrlo. Sin embargo, si un suelo en



particular no cumple con los requisitos para el propósito deseado, puede no ser adecuado, especialmente en suelos arcillosos que pueden sufrir asentamientos bajo cargas. Por lo tanto, mejorar las propiedades de estos suelos mediante métodos y técnicas disponibles para aumentar su capacidad portante es beneficioso (Huancoillo, 2017).

MTC (2014) indica que el 57% de la red vial tiene fallas por inestabilidad de los estratos arcillosos en subrasante. En la sierra peruana estos suelos arcillosos cubren un 60% del territorio y afectan la capacidad portante de carreteras (Morales, 2015). INIA (2017) en su estudio de caracterización de los suelos de la región Puno, se describe que aproximadamente el 65% de los suelos de la región presentan alto contenido arcilloso. La estabilización de suelos cohesivos en subrasantes también es un desafío importante en el ámbito local de la región de Puno. San Miguel, debido a sus características típicas de la zona de Puno, cuenta con suelos arcillosos que causan daños por hinchamiento-contracción por lo que dificulta el diseño adecuado de obras que mejoren la conectividad vial en esta zona (MTC, 2014).

A nivel local, las vías del distrito de San Miguel, evidencian problemas de inestabilidad del suelo. Esta situación se ve exacerbada por las condiciones climáticas propias de la región, caracterizada por su elevada propensión a inundaciones debido a su ubicación en la meseta del altiplano. La temporada de precipitaciones se concentra principalmente entre noviembre y marzo, alcanzando su punto máximo en diciembre y enero. Estas características geográficas y meteorológicas contribuyen significativamente a la vulnerabilidad de la infraestructura vial local, razón por lo que causa asentamientos y levantamientos de los suelos. El área se caracteriza por tener suelos cohesivos con mínima



capacidad de soporte, lo que implica un inconveniente a nivel de subrasante. En el transcurso del proceso expansivo, estos suelos absorben humedad, lo cual desencadena un aumento volumétrico y una disminución de las tensiones internas. Este fenómeno puede resultar en el derrumbamiento del mismo suelo, comprometiendo su funcionalidad y estabilidad estructural. Como consecuencia, se compromete la seguridad y durabilidad de las construcciones erigidas en obras de ingeniería asentadas sobre él.

1.2. Planteamiento del problema

1.2.1. Problema General

- ¿Cuáles son los efectos de la adición de cal y cenizas de cáscara de quinua en la estabilización de suelos arcillosos a nivel de subrasante en el distrito de San Miguel, San Román, Puno?

1.2.2. Problemas Específicos

- ¿Cuáles son los efectos que producen la adición de cal y ceniza de cáscara de quinua en los ensayos de límites de consistencia en suelos arcillosos a nivel de subrasante?
- ¿Cuáles son los efectos que producen las dosificaciones de cal y ceniza de cáscara de quinua en suelos arcillosos a nivel de subrasante mediante los ensayos de Proctor Modificado?
- ¿Cuáles son los efectos que producen las dosificaciones de cal y ceniza de cáscara de quinua en suelos arcillosos a nivel de subrasante mediante los ensayos de CBR?



1.3. Objetivos

1.3.1. *Objetivo general*

- Determinar los efectos de la adición de cal y cenizas de cáscara de quinua en la estabilización de suelos arcillosos a nivel de subrasante en el distrito de San Miguel, San Román, Puno.

1.3.2. *Objetivos específicos*

1. Evaluar los efectos que produce las dosificaciones de cal y ceniza de cáscara de quinua en los ensayos de límites de consistencia en suelos arcillosos a nivel de subrasante.
2. Evaluar los efectos que produce las dosificaciones de cal y ceniza de cáscara de quinua en suelos arcillosos a nivel de subrasante mediante los ensayos de Proctor Modificado.
3. Evaluar los efectos que produce las dosificaciones de cal y ceniza de cáscara de quinua en suelos arcillosos a nivel de subrasante mediante los ensayos de CBR.

1.4. Justificación de la investigación

1.4.1. *Justificación técnica*

Los suelos arcillosos son muy comunes en diferentes regiones de Perú, especialmente en la sierra y selva. Una de sus principales características es la expansividad, es decir, la tendencia a hincharse cuando absorben agua y a contraerse durante la aridez.

Los métodos tradicionales de tratamiento de suelos como el reemplazo o la adición de grava y arena no siempre son efectivos ni económicamente viables,



sobre todo cuando se requiere estabilizar grandes volúmenes de suelo. Por otro lado, el uso intensivo de productos químicos puede generar impactos ambientales. Ante este escenario, es prioritario investigar alternativas de estabilización mecánica, física o fisicoquímica de suelos arcillosos que sean sostenibles, de costos reducidos y fácil aplicación como la cal y la ceniza de diversos productos naturales. Esto permitiría mejorar la resistencia de dichos suelos, optimizar el diseño de fundaciones y estructuras de soporte y disminuir los efectos del daño por humedad.

El propósito del estudio de estabilización de suelos es mostrar cómo un residuo de baja importancia como la ceniza procedente de la cascarilla de quinua y que a su vez provienen de las grandes cosechas de quinua en nuestra región y la cal; remedian los problemas de las situaciones pobres de los estratos en términos ingenieriles y mejoran su estabilidad y su capacidad de soporte (Ramos et al., 2015).

Si bien la estabilización química con cal ha demostrado mejorar las propiedades de dichos suelos, faltan estudios sobre la optimización de parámetros de diseño y evaluación de la durabilidad a largo plazo. Por otro lado, los resultados de esta investigación contribuirían a elevar los estándares constructivos en zonas con presencia de suelos problemáticos, reduciendo los costos en su mantenimiento y ampliando la vida útil de obras.

1.4.2. Justificación económica

Los problemas derivados de la expansividad de los suelos arcillosos generan altos costos directos e indirectos para el Estado, empresas y la ciudadanía. Los daños en infraestructura vial por fisuración y agrietamiento de pavimentos requieren



costosas reparaciones periódicas. Ante este panorama, la investigación de alternativas económicamente viables para estabilizar mecánicamente suelos arcillosos permitiría reducir drásticamente los costos de mantenimiento de infraestructura y de reposición de construcciones a lo largo de su vida útil. Por lo tanto, el precio de la cal y la cáscara de quinua son aditivos que no afecta el costo de estabilizar el suelo como el de los otros materiales, lo que la convierte en una de las materias primas más económicas y accesibles.

1.4.3. Justificación ambiental

Las investigaciones actuales sobre estabilización de suelos a menudo implican métodos que consiguen generar impactos negativos tanto en el ecosistema como en las propiedades intrínsecas del terreno. Sin embargo, existe una carencia de estudios enfocados en técnicas de estabilización ecológica basadas en componentes naturales. En respuesta a esta brecha, la presente investigación se propone evaluar la utilización combinada con ceniza proveniente de la cáscara de quinua y cal en diversas proporciones. El propósito es determinar el porcentaje óptimo que mejore las propiedades fisicoquímicas y la resistencia del suelo a nivel de subrasante (Silva Bermejo, 2019). Ante esto, es prioritario investigar métodos de estabilización mecánicos, físicos o fisicoquímicos que no utilicen productos contaminantes ni alteren radicalmente las propiedades originales del suelo. En vista de este escenario, se hace imperativo explorar métodos de estabilización para suelos cohesivos en subrasantes que potencien su capacidad de carga y durabilidad de forma más sustentable.



1.5. Hipótesis de la investigación

1.5.1. Hipótesis general

- La aplicación de cal y cenizas de cáscara de quinua tiene influencia positiva, mejorando las propiedades físico-mecánicas del suelo a nivel de sub rasante en el distrito de San Miguel.

1.5.2. Hipótesis específicas

1. El incremento consecutivo de cal y cenizas de cáscara de quinua contribuirá a la disminución de su plasticidad, experimentando una mejora en la estabilización del suelo arcilloso.
2. La adición de cal al 7% y ceniza de cáscara de quinua al 13% en la muestra de suelo a nivel de subrasante, presentará una mejora en la densidad seca máxima en comparación a la muestra patrón.
3. El incremento de las proporciones de los componentes de cal y ceniza provenientes de la cáscara de quinua mejora la capacidad portante y su estabilización del suelo cohesivo a nivel de subrasante.

1.6. Variables e indicadores

Variable dependiente

- Propiedades físicomecánicas del suelo cohesivo.

Variables independientes

- Cal
- Ceniza proveniente de la cáscara de quinua.



CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. *Antecedentes internacionales*

Según Castillo (2016), en el transcurso de las obras de construcción del canal lateral de Macas, se identificaron formaciones arcillosas con características geotécnicas desafiantes de $LL > 100\%$ y $CBR < 5\%$. Dado que estos suelos son de menor calidad y no son aptos para su uso como firme, deben ser removidos y reemplazados con uno de los siguientes suelos: mejor calidad, lo que conlleva elevados costes y problemas medioambientales. Se llevó a cabo una caracterización exhaustiva del suelo mediante una serie de ensayos de laboratorio. Posteriormente, el material fue sometido a un proceso de tratamiento que implicó la adición de cal viva en diversas proporciones. Específicamente, se emplearon dosificaciones con crecimientos de 10% hasta llegar al 40% para el estabilizador de la cal, calculadas respecto del peso seco del material original. Se evaluaron cambios en LL, LP, hinchamiento, densidad, CBR y resistencia. Los resultados muestran que el uso de un 20% de cal reduce significativamente el LL, IP y la



expansión, además, el CBR aumenta significativamente con la adición de cal. Los hallazgos del estudio revelan que la incorporación de cal en 20% del peso del suelo conlleva a una notable disminución del LL, IP y la tendencia expansiva del material. Paralelamente, se observa un incremento sustancial en el CBR a medida que se aumenta la cantidad de cal, se obtienen valores $>10\%$ utilizando solo un 1% de cal, mientras que las propiedades compresivas de la cal se reducen ligeramente. mejorado. Este suelo puede estabilizarse con un 16% de cal y usarse como base de camino, evitando así el costo y los problemas de remoción y reposición de suelo. Un análisis a más largo plazo es recomendable para verificar el comportamiento a largo plazo.

Por otro lado, García Restrepo (2022) se centra en la disertación de beneficios técnicos, financieros, ecológicos y comunitarios del uso de cal (como producto químico) en sitio para estabilizar suelos naturales en caminos terciarios y rurales en Colombia, como tecnología que permite el uso de piedra caliza mediante la adición de aditivos. La estructura de la plataforma existente es objeto de un proceso de tratamiento del terreno, cuyo propósito es mejorar sus particularidades físicas, químicas y mecánicas. La finalidad de esta intervención es garantizar que la infraestructura vial satisfaga los parámetros técnicos esenciales para resistir eficazmente el flujo vehicular anticipado y lograr la durabilidad esperada de la vía. El beneficio obvio es la disminución del traslado de material en el lugar y la extracción de suelo aluvial para extraer la piedra. El análisis de este método constructivo aplicado a la red vial terciaria colombiana abarca una evaluación integral de sus beneficios estructurales, económicos y ambientales. La investigación se fundamenta en una exhaustiva revisión e interpretación técnica de la documentación nacional disponible, complementada con estudios de casos de



implementación en diversos países. Este enfoque comparativo y analítico proporciona valiosos insumos para la consideración y potencial adopción de esta práctica en el contexto específico de la infraestructura vial rural de Colombia.

2.1.2. Antecedentes nacionales

Castro (2017) propone evaluar la viabilidad de la ceniza proveniente de la cascarilla de arroz como medio estabilizador para estratos arcillosos en subrasantes. El estudio adopta un enfoque analítico orientado a la obtención de un producto estable, empleando este subproducto de la industria arrocera local como elemento estabilizante para las arcillas. Este planteamiento no solo busca mejorar las propiedades geotécnicas del suelo, sino también aprovechar un residuo agroindustrial disponible en la zona, ofreciendo una solución sostenible y económicamente viable para estabilizar estratos cohesivos. El protocolo cuasi-experimental propuesto inicia con la extracción y traslado de muestras al laboratorio geotécnico, donde se someten a una batería de ensayos para caracterizar el material en su estado original. Posteriormente, se procede a evaluar el efecto de la arcilla mezclada con la ceniza proveniente de la cascarilla de arroz en diversas proporciones. Este proceso sistemático tiene como propósito determinar la eficacia de la ceniza como agente estabilizador primario, analizando sus variaciones en las particularidades geotécnicas del estrato en estudio. También propuso el uso de cal en la mezcla, para analizar sus propiedades mecánicas para alcanzar resultados mejores, utilizando ceniza de cascarilla de arroz como estabilizador auxiliar, y finalmente se encontró que la compactación mostró buenos resultados. La incorporación de ceniza de cascarilla de arroz al suelo arcilloso produce efectos notables en sus propiedades geotécnicas. Al incrementarse la proporción de ceniza, se observa una reducción en la densidad seca máxima, acompañada de un



aumento en el contenido óptimo de humedad. Paralelamente, la adición progresiva de ceniza inhibe el potencial expansivo del suelo, llegando a anular completamente su hinchamiento. El índice CBR experimenta un incremento en ambas mezclas propuestas, no obstante, la mezcla de suelo cohesivo combinadas con ceniza de cascarilla de arroz y cal resulta particularmente efectiva. Esta última formulación eleva notablemente la capacidad portante del suelo, elevando el índice CBR al 100% de la densidad máxima seca del Proctor modificado desde un valor inicial de 5% hasta un 38,5%, lo que representa una mejora de más de seis veces el valor original. La incorporación del 20% de ceniza proveniente de la cascarilla de arroz resultó en una escalada sustancial en las propiedades fisco-mecánicas. Esta modificación generó cambios beneficiosos que validaron la utilización del material tratado como subrasante.

Por otro lado, Cajaleon y Mondragon (2018) llevaron a cabo un estudio para estudiar la eficacia de las cenizas provenientes de las cascarillas de arroz para estabilizar suelos cohesivos en la subrasante ubicada en el kilómetro 17 de Pimpingos. El marco teórico abarca temas como el origen de las cenizas, taxonomía de suelos y una variedad de pruebas mecánicas y físicas. Sin embargo, para este estudio específico, se enfatiza la importancia de cuatro ensayos clave: el análisis de granulometría, los límites de consistencia, el ensayo Proctor modificado y la determinación del CBR. Estos parámetros constituirán la base para el análisis de la variable dependiente en la fase experimental subsiguiente. El estudio se enfocó en un tramo de 37 kilómetros de la carretera Pimpingos, identificando el kilómetro 17 como punto crítico para estabilización. La investigación reveló que la adición de 10% y 15% de ceniza de cáscara de arroz elevó el CBR a 8.5% y 10.3% respectivamente, categorizando el suelo como apto para base de camino. Los



ensayos de compactación arrojaron una densidad máxima seca de 2.006 g/cm³ y un contenido óptimo de humedad del 9.4%. Curiosamente, las dosificaciones de 10% así como de 15% de ceniza produjeron resultados similares, atribuido a la baja proporción de componentes estables y su limitada capacidad de absorción de humedad. De manera similar, su resistencia se determinó mediante pruebas de CBR, utilizando suelo natural como referencia y agregando ceniza de cascarilla de arroz al suelo con una tasa de penetración del 95% de 0,1" su CBR fue de 6,2%. 15% significa un máximo de 10,3% al 95% CBR y una penetración de 0,1".

Asimismo, Aquino (2020) en su investigación, el propósito fue establecer los efectos de la adición de cenizas de bagazo en la estabilización del suelo de la carretera en el área de Laredo, donde el terreno se estabilizó con cenizas de bagazo en concentraciones graduadas del 5%, 10% y 15%, basado en el peso de la muestra seca. La incorporación de ceniza de bagazo en el suelo resultó en una mejora significativa de sus características geotécnicas. Se observó un incremento en el contenido óptimo de humedad y en la proporción de ceniza, mientras que se redujeron el índice de plasticidad, la tendencia al hinchamiento y la densidad seca máxima. Estos cambios contribuyeron a una estabilización más efectiva del suelo tratado. Con el aumento de CBR disminuye el IP, hinchamiento y densidad seca máxima. Se diseñaron secciones de pavimento utilizando la mezcla con propiedades de ingeniería óptimas, seguido de un análisis económico comparativo. Este estudio demostró que estabilizar la subrasante con ceniza de bagazo puede reducir costos de construcción y mantenimiento en pavimentos. En la región de Laredo, se observó un aumento gradual en la estabilidad del estrato en estudio a nivel de subrasante con la suma de ceniza de bagazo, determinándose el porcentaje ideal de añadidura es del 15%. La estabilización con ceniza proveniente



del bagazo mejoró significativamente las propiedades del suelo, con un aumento de hasta el 60% en el CBR y una disminución del 15% en el índice de plasticidad. Este proceso de solidificación también redujo la expansividad del suelo. Según la normativa AASHTO, estas mejoras permiten una disminución en el espesor de los estratos estructurales del pavimento. Esta modificación implica un descenso significativo de los costos asociados a la cimentación vial en el distrito de Laredo. Además, el estrato estabilizado cumple con las exigencias mínimas establecidas por el Manual de Carreteras del MTC para su uso como subrasante.

Del mismo modo, Silva Bermejo (2019) evaluó el impacto de una mezcla de ceniza y cal en las propiedades físico-mecánicas del suelo. Mediante ensayos de corte directo y el método Proctor modificado, se determinó que la adición de esta mezcla mejoró significativamente las características del suelo. La proporción óptima se estableció en 18% para el material de cal y 4% para el de ceniza de cascarilla de cebada, logrando una resistencia al corte directo que va en 0.76 Kg/cm². Sin embargo, el estudio también señala que una mezcla de 18% en cal y 6% en ceniza de cáscara de cebada produjo efectos notables en las propiedades del suelo. Específicamente, esta combinación generó un aumento del 9% en la densidad del material. Adicionalmente, esta misma proporción de aditivos demostró ser la más eficaz para optimizar otras características del suelo, logrando una capacidad de absorción del 5.10%, LL del 15.5% y un LP del 12.7%. Los resultados obtenidos indican que la proporción específica de cal y ceniza identificada en el estudio constituye la mezcla ideal para optimizar las características geotécnicas del suelo analizado.

En ese sentido, Hidalgo y Saavedra (2020) examinaron el potencial de los agentes como las cenizas provenientes de la cáscara de arroz y la bagazina de



caña de azúcar como estabilizadores de estratos arcillosos en aplicaciones de subrasante para pavimentación. Estos materiales, abundantes en lugares como La Libertad y San Martín, fueron seleccionados por ser desechos orgánicos comunes en la región. El estudio se centró en evaluar la viabilidad de utilizar estas cenizas a modo de una opción ecológica y barata para estabilizar estratos cohesivos, buscando métodos innovadores que puedan mejorar las propiedades de dichos estratos. Con el fin de demostrar la eficacia de estos agregados en la estabilización de subrasantes. Se ejecutó un conjunto exhaustivo de estudios de laboratorio, centrados en la evaluación de las características químicas y físico-mecánicas de los suelos modificados con distintas dosificaciones de los materiales estabilizantes. Estos experimentos tienen como propósito evaluar de manera exhaustiva la respuesta de los suelos a estos potenciales estabilizadores primarios, permitiendo así una valoración integral de su idoneidad como alternativas innovadoras en el ámbito de la estabilización de este tipo de suelos. Se concluye que la añadidura de cenizas de cascarilla de arroz y la bagazina de caña de azúcar reduce el contenido de humedad óptimo y aumenta la máxima densidad seca. Además, la adición de estas cenizas disminuyó el perfil expansivo del suelo de manera proporcional a su cantidad. La mezcla óptima, compuesta por un 5% de cada tipo de ceniza, logró aumentar el valor CBR a 20 unidades mientras reducía la expansión en un 30%, evidenciando su eficacia como agente estabilizante. Los hallazgos de este estudio manifestaron que el estrato estabilizado con bagazo de caña de azúcar y ceniza de cáscara de arroz produce cambios positivos, lo que permite el uso del material en niveles subrasantes.

Por su parte, Marcelo (2020) se centró en evaluar la eficacia de la combinación de cáscara de huevo y cal como agentes estabilizantes en estratos



cohesivos. La esencia fue mejorar la capacidad de soporte del terreno, buscando optimizar su rendimiento como base para estructuras de pavimentación. El estudio se clasifica como investigación aplicada, utilizando un enfoque experimental en su diseño metodológico. Un análisis sistemático del efecto de los añadidos naturales y químicos seleccionados sobre las propiedades físico-mecánicas del estrato en estudio fueron posibles gracias a esta estrategia. El propósito fue desarrollar estrategias donde se optimice la eficacia de las subrasantes en iniciativas de infraestructura vial. Se llevó a cabo una evaluación de la eficacia de los materiales propuestos, con el fin de establecer soluciones innovadoras y efectivas. Dos calicatas en la vía Cerro de Pasco, específicamente en Yanahuanca fueron las muestras, encontrándose que, el suelo sin tratamiento se categorizó como subrasante pobre. El suplemento de cáscara de huevo pulverizada en proporciones de 6% y 9% mejoró la clasificación a subrasante regular. Por su parte, la cal al 6% elevó la categoría a subrasante buena, mientras que al 9% mantuvo esta clasificación. Notablemente, se observó una disminución del CBR con la cal al 9% en comparación con el 6%, sugiriendo que una dosificación más precisa de cal es crucial para optimizar la resistencia en suelos cohesivos. El estudio reveló que la añadidura de cáscara de huevo pulverizada y cal tuvo un impacto positivo en la densidad seca máxima del suelo cohesivo, indicando una mejora en sus propiedades. Específicamente, la incorporación de cáscara de huevo pulverizada incrementó de 1.891 gr/cm³ a 1.902 gr/cm³ con una adición del 6%, y a 1.914 gr/cm³ con un 9% del peso seco del estrato en estudio. Estos resultados demuestran la eficacia de estos aditivos en la optimización de las características físicas del suelo tratado.



Por otro lado Almonacid (2019) en su estudio propuso valorar la incidencia de las cenizas provenientes de la quinua así como la cal en el proceso de estabilización en los suelos del C.P. Viñas, ubicado en Tayacaja perteneciente a Huancavelica. La investigación adoptó un enfoque dentro del nivel descriptivo diseñándose de modo no experimental. Este abordaje permitió examinar de manera sistemática los efectos de estos aditivos naturales y químicos en las propiedades del suelo, sin manipular directamente las variables, proporcionando así una comprensión detallada de su potencial para mejorar las tipologías de la subrasante en el contexto específico de la región estudiada. Se optó por la ruta progresiva Mariscal Cáceres – C.P. Viñas en los kilómetros 1+250, 1+500 y 1+750 para este informe. Los resultados de cada prueba de calicata y las diferentes dosificaciones aplicadas muestran datos alcanzados, junto con las diversas proporciones de estabilizantes aplicadas, indicando que dichas deducciones de pruebas Proctor cumplen con los parámetros de calidad establecidos. En las pruebas CBR, las variaciones en la dosificación mejoraron la resistencia del suelo teniendo un CBR al 95% MDS del 20.75% con la combinación de 7% de cal y 15% de ceniza de quinua. En el caso del índice de plasticidad, los valores no presentaron mayores variaciones al aumentar la dosificación. No obstante, al incorporar mayores cantidades de dicha combinación de estos estabilizantes hacen que el IP aumente significativamente, superando con creces el límite superior del 11%. Asimismo, tanto la cal, la ceniza de quinua o combinaciones de ambas permitieron elevar la capacidad portante del terreno por sobre el 6%, mejorando sus propiedades mecánicas.

De otra parte, Chilcon y Leon (2020), encontraron que la ceniza de carbón tiene un resultado favorable en la estabilización de los suelos arcillosos. Los



ensayos realizados de límites de Atterberg, Proctor modificado y CBR se utilizaron en la metodología del diseño experimental. A medida que acrecentaba la proporción de ceniza de carbón, ambas tesis tenían un impacto favorable en la estabilización. Los métodos de límites de Atterberg, Proctor modificado y resistencia CBR fueron parte de la metodología implementada en el diseño experimental. Conforme incrementaba la proporción de ceniza de carbón incorporado, dicha variable tuvo un resultado beneficioso en el proceso para estabilizar estratos cohesivos. Finalmente, se comprobó que el complemento de ceniza de carbón permite mejorar el proceso para estabilizar suelos de tipo arcilloso. Para lograr una estabilización más efectiva de este tipo de suelos, se propuso incrementar el porcentaje de ceniza de carbón utilizado.

Quispe y Tarifa (2022) en su investigación busca mejorar las características del estrato en estudio, para lo que se llevó a cabo la subrasante de la Av. Circunvalación, cuya superficie es principalmente de estrato arcilloso; en el cual se estabilizaron muestras de estratos en estudio mediante la adición de cal al 5% combinada con tres diferentes porcentajes de ceniza de cascara de castaña (CCC), específicamente el 10%, 15% y 20%. El estudio se configura bajo un diseño cuasi-experimental de corte transversal, adoptando una metodología cuantitativa con orientación de tipo aplicada, cuyo objetivo es determinar el efecto de las diferentes dosificaciones de cal y CCC sobre las propiedades mecánicas del estrato. El estudio toma como población, la circunvalación de la jurisdicción de Tambopata, realizando un muestreo no probabilístico mediante tres calicatas estratégicamente ubicadas en los puntos kilométricos 0+020, 0+520 y 0+970, con el fin de obtener muestras de suelo que fueron sometidas a pruebas en laboratorio antes y después de incorporar agentes estabilizantes, con el objetivo de evaluar el comportamiento



del terreno. Este procedimiento permitió establecer las características iniciales del suelo, proporcionando así una base de referencia para evaluar posteriormente los efectos de los materiales estabilizantes añadidos. Para obtener resultados concluyentes, los ensayos se realizaron siguiendo estándares nacionales e internacionales entre los que se encontraron normas NTP, ASTM, SUCS y AASHTO. Los índices de plasticidad obtenidos en las muestras C-1, C-2 y C-3 antes de la estabilización fueron 12.16%, 17.30% y 14.34% respectivamente. Luego de incorporar estabilizantes, dichos índices disminuyeron a 7.51%, 7.41% y 7.31% en cada caso, lo cual demuestra un mejoramiento en las propiedades del suelo. Las pruebas mostraron un incremento del contenido de humedad óptimo de los especímenes estabilizados de 11.17%, 11.18% y 11.60%, superando los valores iniciales sin estabilizar que fueron de 9.80%, 10.22% y 9.33% respectivamente. El CBR de las muestras estabilizadas fue del 23.20%, del 24% y del 25%, respectivamente. El CBR del suelo natural fue del 6.67%, del 6.31% y del 7.86%.

Del mismo modo Moale y Rivera (2019) tuvieron como propósito estabilizar químicamente un suelo arcilloso de la localidad de Villa Rica ubicada en el km 3 de la vía Oconal-Cedropampa en Pasco, mediante la adición controlada de cal, con el objeto de elevar la firmeza de la subrasante y reformar las condiciones de terreno para soportar pavimentos flexibles. Se buscó determinar la proporción óptima de cal que permita aumentar significativamente la resistencia del suelo, aprovechando las propiedades que posee este material al encapsular las partículas de arcilla y absorber el agua contenida en el mismo. El objetivo fue determinar el contenido ideal de cal que garantice una adecuada estabilización del estrato evaluado. Al mezclar la cal con las partículas arcillosas, éstas forman una doble capa difusa que incrementa la resistencia a la penetración y disminuye el potencial de hinchamiento



del terreno. Se efectuaron pruebas en granulometría, límites de Atterberg, gravedad específica y CBR a los estratos originarios y estratos estabilizados con cal al 9%, 15% y 21%. Las técnicas AASHTO y SUCS permitieron clasificar el suelo y efectuar los cálculos requeridos. El porcentaje ideal fue del 15%, logrando aumentar el CBR desde un 3.3% a un 5.9%. Asimismo, se analizó costos para diseñar pavimentos considerando la subrasante mejorada con el máximo contenido de cal factible.

2.1.3. Antecedentes locales

Huancoillo (2017) en su estudio empleó cal y ceniza volante para mejorar las particularidades mecánicas del estrato utilizado en la base de una carretera no pavimentada en Huancané-Chupa. Dicho estudio evaluó los efectos físico-mecánicos y costos de incorporar estas cenizas a un suelo arcilloso. Los resultados mostraron un avance en la estabilización volumétrica y firmeza del terreno. El trabajo analiza propiedades como LL y LP, expansión, densidad máxima seca según proctor modificado y capacidad portante CBR. Asimismo, se pudo corroborar que para afirmados el suelo arcilloso enriquecido con cenizas funciona de manera superior al natural. De esta manera, las normas peruanas (EG-2013) satisfacen las especificaciones técnicas requeridas. El alto IP y expansión encontrado en el estrato en estudio, permite concluir que estos parámetros mejoraron considerablemente luego de la añadidura controlada de ceniza volante y cal. En especial, la composición del estrato natural en 90%, cal y ceniza volante en proporciones de 5%, se redujo el IP a 4% y la expansión a 0.13%, obteniéndose un valor de capacidad portante CBR del 103%, clasificándose como apropiado para su uso en la creación de afirmado. Por lo tanto, esta investigación determina que la utilización de cenizas volantes de carbón para estabilizar este tipo de suelo resulta una alternativa tanto económica como técnicamente viable.



En ese sentido, Jara Hanco (2024) en su estudio realizado, afrontó el desafío de elevar la estabilidad del estrato cohesivo presentes en caminos, cuya deficiente condición obedecía principalmente a la presencia de dichos suelos que impedían alcanzar los parámetros óptimos exigidos en la normativa para estratos de subrasante en carreteras, buscando mitigar así las deficientes condiciones de las vías. Se propuso utilizar las cenizas de madera como estabilizante, utilizando su capacidad puzolánica debido a la presencia de aluminato y sílice. El estudio evaluó el efecto de incorporar cenizas de madera sobre el comportamiento mecánico y deformacional de estratos arcillosos, para mejorar los atributos del estrato en estudio. El método hipotético-deductivo fue utilizado para llevar a cabo el estudio, que fue de tipo aplicativo y de nivel correlativo. El material arcilloso extraído de dos calicatas fue la muestra que sirvió para su evaluación incorporando diferentes proporciones de cenizas de madera (5%, 12%, 18% y 25%) sobre suelos cohesivos, logrando mejorar su comportamiento mecánico y reducir la deformabilidad. Particularmente, se pudo distinguir un decrecimiento del IP en un 31% y un incremento en la resistencia a esfuerzos de entre 3.36% a 17.26% de CBR, valores este últimos que permitieron clasificar al terreno como subrasante. Asimismo, se redujo la deformación de un 29.82% a 21.75%. Una opción económicamente viable, beneficiosa y sostenible para el medio ambiente es el uso de la ceniza como estabilizante.

Livise Berrio (2023) en su estudio se centró en establecer la proporción óptima de cal para estabilizar químicamente la muestra de la cantera Alto Puno, con el fin de mejorar la capacidad portante de la subbase en la carretera Puno Mañazo. Para ello se implementó un diseño experimental con muestreo no probabilístico, analizando los datos obtenidos. Inicialmente, el suelo presentaba



características GP según SUCS y un valor CBR de 30%. Luego de agregar cal en proporciones de 2%, 4%, 6% y 8%, el CBR varió efectivamente entre 73%, 104%, 80% y 98% respectivamente. Como principal conclusión, se encontró que el 4% de cal era la proporción ideal, logrando un CBR óptimo de 104%. Por tanto, los hallazgos conseguidos se ubican dentro de los escenarios de la norma del MTC.

2.2. Marco teórico

2.2.1. Suelos

Terzaghi citado en Hurtado (1996) menciona que los suelos son mezclas sólidas con poros llenos de agua u otro fluido. Además, demostró que los suelos porosos saturados pueden analizarse en términos de esfuerzos eficaces. Los suelos soportan cargas a través de los esfuerzos efectivos, o la diferencia entre los esfuerzos totales y la presión de espacios, según el principio de los esfuerzos efectivos. Solo los esfuerzos efectivos pueden producir efectos medibles como compresión, distorsión o resistencia cortante.

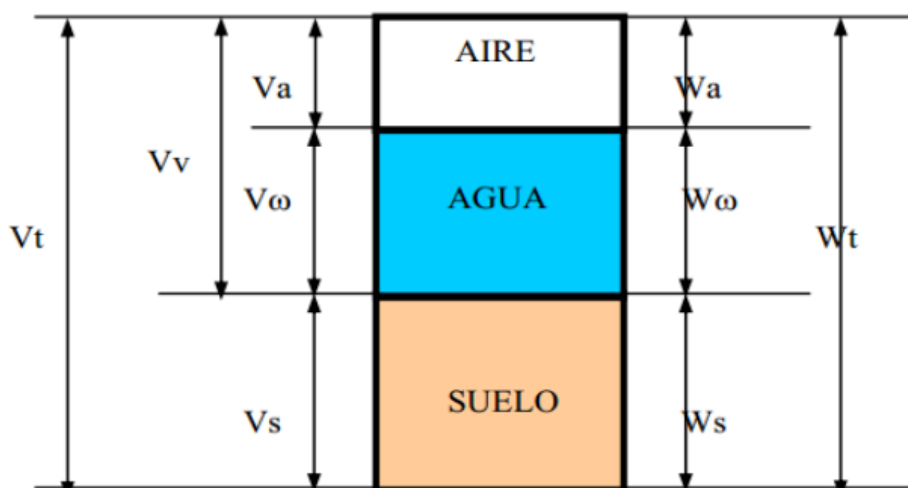
Duque (2014) señala que los suelos que constituyen los terraplenes viales y los taludes de corte desempeñan múltiples funciones en los proyectos de infraestructura. Estos suelos no solo son los elementos principales a estabilizar en el tratamiento de taludes, sino que también proporcionan soporte y estabilidad a otros componentes esenciales de la obra, tales como canales, bermas y diversas estructuras. Además de lo mencionado, estos suelos cumplen un rol de sustrato para el desarrollo de la vegetación, la cual cumple una función clave en el resguardo de la superficie del terreno. Esta perspectiva integral resalta la importancia crítica de los suelos en la estabilidad global y la funcionalidad de los proyectos viales. Se utilizan los laboratorios de granulometría y plasticidad para clasificar los suelos; Los

ensayos de laboratorio permiten determinar particularidades de los suelos finos en función de su plasticidad que presentan las partículas finas, así como el tamaño y distribución granulométrica de sus componentes.

Se define también que, “El suelo es un agregado de partículas orgánicas e inorgánicas, que no están sujetas a ninguna distribución. La palabra suelo representa todo tipo de material terroso, desde un relleno de desperdicio, hasta areniscas parcialmente cementadas y lulitas suaves” (Juárez, 2005).

Figura 1

Composición de los suelos y sus fases



Nota: Tomado de mecánica de suelos de (Juárez, 2005).

2.2.2. Tipos de suelos

Grava

Los bordes de la grava se disgregan y se redondean cuando el agua la arrastra. Con frecuencia puede observarse la presencia de un material suelto en las zonas de lechos fluviales, ribereñas y áreas de traslado de gravas, el cual suele ser depositado en dichos lugares como producto de la dinámica erosiva y sedimentaria natural de los cursos de agua. Con frecuencia incluye



cantidades similares de arcillas, arenas limos y cantos rodados. Este material se caracteriza por presentar unas dimensiones variables de sus partículas oscilando entre 0.2 cm. hasta 7.62 cm.

Arenas

Este material corresponde a granos finos procedentes del molimiento de rocas, con dimensiones comprendidas entre 2 y 0,05 mm. Generalmente, arena y grava son parte del mismo yacimiento rocoso y pueden encontrarse de forma conjunta, compartiendo origen.

Limos

Este tipo de arenas se caracterizan por presentar granos gruesos y baja o nula plasticidad. Pertenecen generalmente a materiales extraídos de canteras, como limos. Las trizas que componen la fracción de limo en el suelo se caracterizan por tener diámetros comprendidos en el rango de 0,05 mm a 0,005 mm. Dada su alta saturación y suelta condición, los limos se ven poco aptos para soportar cargas a través de cimientos superficiales. Su tono oscila entre un gris muy oscuro y un gris claro. Las limusinas orgánicas tienen una compresibilidad muy alta y una permeabilidad muy baja. Dada su escasa presencia en zonas urbanas consolidadas, los limos suelen ser considerados materiales poco recomendables para los cimientos de edificaciones.

Arcillas.

Las partículas submilimétricas que componen los limos adquieren plasticidad al mezclarse con agua, formando una masa maleable. La reacción observada es consecuencia de la hidratación de los componentes

silíceos, aluminicos, férricos y magnésicos que constituyen la estructura del material. Esta composición química, caracterizada por una configuración laminar, facilita la interacción con moléculas de agua. Dicha masa asume diferentes estados en respuesta a variaciones de humedad, desde árcos maleables hasta una consistencia más rígida al ser sometida a compresión, e inclusive una lenta deformación ante cargas aplicadas.

2.2.3. *Propiedades esenciales de los suelos*

Granulometría

Cualquier masa de un estrato tendrá una granulometría algo diferente. Para clasificarlo correctamente, es necesario comprender la granulometría del suelo encontrado en laboratorio. La granulometría a través de tamizado constituye el método habitual para determinar la composición de suelos granulares, mientras que un higrómetro permite establecerla en suelos finos. Dichas pruebas de laboratorio, junto con sus bases teóricas, son demostradas. La granulometría definida mediante tamizado siguiendo los lineamientos técnicos correspondientes, mide la distribución de tamaños de partícula en áridos. El objetivo del análisis granulométrico es clasificar los materiales acorde a su grado (MTC, 2014, p. 33).

Tabla 1

Categorización de suelo según su tamaño

Tipo	Tamaño
Grava	75.0 mm - 4.75 mm
Arena	Arena gruesa: 4.750 mm - 2.00 mm
	Arena media: 2.00 mm - 0.425 mm
	Arena fina: 0.425 mm - 0.075 mm
Material Fino	Limo 0.075 mm - 0.005 mm
	Arcilla menor a 0.005 mm.

Nota. Extraído de (MTC, 2014, p. 33)

Maleabilidad

Según el MTC (2014) llamada también plasticidad de un estrato, obedece únicamente a sus componentes finos, no de los gruesos; es la condición de estabilidad que representa los suelos hasta un límite de humedad sin disgregarse (p. 33).

Los límites de consistencia son indicadores clave de la reacción de un estrato estudiado a variaciones en cuanto al contenido de humedad. Estos parámetros establecen los puntos de transición entre tres fases de consistencia en los que un estrato de estudio puede exhibir: sólido, maleable y líquido. La transición entre estos estados está determinada por niveles específicos de humedad, proporcionando una valiosa información sobre el desempeño y las características mecánicas del terreno en diversas situaciones de contenido hídrico.

El IP se define como la diferencia entre el Límite Líquido y el Límite Plástico y es otra característica que se puede adquirir. Según el MTC (2014) este índice "indica la magnitud del intervalo de humedades en el cual el suelo posee consistencia plástica y permite clasificar bastante bien un suelo" (p. 33).

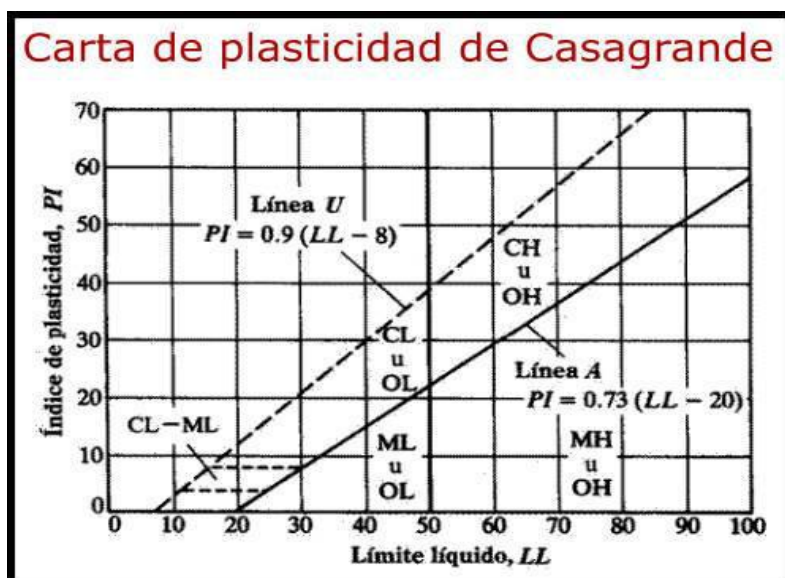
Tabla 2

Categorización de suelos según su plasticidad

Índice de plasticidad	Plasticidad	Característica
$IP > 20$	Alta	Suelos muy arcillosos
$IP \leq 20$	Media	Suelos arcillosos
$IP > 7$	Media	Suelos arcillosos
$IP < 7$	baja	Suelos poco arcillosos
$IP = 0$	No plástico	Suelos exentos de arcilla

Nota. Extraído de (MTC, 2014)

Figura 2

Límites de plasticidad método casagrande

Nota. Fuente: Extraído de mecánica de suelos de (Juárez, 2005).

Límite líquido (LL): El porcentaje de agua que la muestra puede contener se define como porcentaje de humedad en comparación con un estado semisólido, ésta puede moldearse cuando está en un estado plástico. En la interfase líquido aire, el suelo tiene esencialmente cero cohesividad. El ensayo Casagrande (ASTM D-4318 y MTC E 110) permite calcular el contenido de humedad de manera precisa, considerando el punto en el que una abertura de 12,70 mm de diámetro consigue obturarse completamente aplicando un total de 25 golpes.

Límite plástico (LP): El procedimiento para establecer el umbral de plasticidad (ASTM D-4318, MTC E 111) conlleva el modelado a mano de un filamento de tierra de 3,180 mm de grosor, empleando una porción de suelo con la hidratación apropiada. Para ello, se toma una porción elipsoidal del mismo que se va inscribiendo repetidamente sobre una placa de vidrio.



Índice de plasticidad (IP): El contenido de humedad del estrato estudiado se determina cuando éste alcanza un estado de plasticidad tal que permite moldear sencillamente un cilindro de 3.180 mm de grosor. Este punto específico de humedad marca una condición crítica en las propiedades físicas del suelo, siendo un indicador clave para su caracterización y clasificación geotécnica.

Índice de Grupo

El índice en cuestión constituye un criterio fundamental en la categorización de suelos, específicamente en el marco del sistema de clasificación AASHTO. Este parámetro establece una correlación entre las propiedades de plasticidad del suelo, determinadas mediante los límites de Atterberg, y su distribución granulométrica, proporcionando una indicación de la calidad del material para su uso en subrasantes de carreteras. La fórmula para determinar el valor del índice de grupo de un suelo es:

$$IG = (F - 35)[0.2 + 0.005(LL - 40)] + 0.01(F - 15)(IP - 10)$$

Donde:

F = Porcentaje que pasa por la malla N° 200

LL = Límite líquido

IP = Índice de plasticidad.

El Índice de Grupo (IG) es un valor entero que puede ir de 0 a 20 o más. Se designa como cero cuando el IG calculado es negativo. Un índice nulo indica un suelo de excelentes características, mientras que valores superiores a 20 dan cuenta de un terreno no adecuado para elaborar carreteras.

Tabla 3*Categorización de suelos según índice de grupo*

IG	Categoría
IG > 9	Inadecuado
IG está entre 4 a 9	Insuficiente
IG está entre 2 a 4	Regular
IG está entre 1 a 2	Bueno
IG está entre 0 a 1	Muy bueno

Nota. recopilación de artículos científicos

2.2.4. Categorización de los suelos

Según lo establecido por el MTC (2014), la caracterización precisa del comportamiento de los suelos se logra principalmente mediante el análisis de tres parámetros clave: la granulometría, la maleabilidad y el IG. Una vez evaluadas las propiedades fundamentales, es posible realizar una estimación confiable del desempeño del suelo y proceder a su clasificación adecuada. El sistema que se ilustra en el cuadro se empleará para clasificar los suelos. La clasificación ayuda a encontrar áreas geotécnicamente homogéneas al pronosticar el comportamiento próximo del suelo. La correspondencia entre los sistemas de clasificación AASHTO y ASTM (SUCS), que son los más utilizados:

Tabla 4*Correspondencia de tipologías de suelos AASHTO-SUCS*

Clasificación AASHTO M-145	Clasificación SUCS ASTM –D-2487
A-1-a	GW, GP, GM, SW, SP, SM
A-1-b	GM, GP, SM, SP
A – 2	GM, GC, SM, SC
A – 3	SP
A – 4	CL, ML
A – 5	ML, MH, CH
A – 6	CL, CH
A – 7	OH, MH, CH

Nota: Elaboración propia en base a bibliografía revisada.



2.2.5. Estabilización de suelos

Mendoza et al., (2022) menciona que estabilizar los estratos arcillosos es una práctica que se remonta a civilizaciones antiguas. Esta técnica se ha empleado históricamente en la construcción de caminos y pisos de edificaciones, dado que mejora significativamente las propiedades del suelo. Entre los beneficios que ofrece se encuentran una mayor trabajabilidad, un incremento en la dureza y una mejora en las condiciones higiénicas. En la actualidad, hay una variedad de tipos diferentes de cal disponibles para su uso en este procedimiento. El tipo más conocido es la cal de construcción, pero también se puede utilizar cal química o de alta pureza. Lo que los diferencia es el contenido de hidróxido de calcio.

Para Fonseca et al., (2019) estabilizar un suelo implica aumentar sus características, como la densidad, plasticidad, resistencia, durabilidad, permeabilidad, entre otras. Se incorporan aditivos en cantidades adecuadas al suelo cohesivo con el fin de generar reacciones químicas que cohesionan los componentes del suelo e incrementan su capacidad de resistencia. En la generalidad de los casos, el proceso de estabilización exige una proporción más elevada de aditivo en comparación con la requerida para la modificación.

El proceso para poder estabilizar suelos, permite mejorar diversas características como su resistencia a esfuerzos cortantes, capacidad de deformación y compresión, estabilidad volumétrica cuando incorporan agua, así como su capacidad portante; logrando así dotarlos de aptitud para soportar diferentes cargas de forma adecuada. En todos los casos, el objetivo primordial es lograr una respuesta óptima del suelo ante la relación esfuerzo-deformación, así



como garantizar un desempeño adecuado de las construcciones y obras que se levanten encima del suelo durante todo su periodo de servicio.

Las razones por la cual se llevan a cabo la estabilización son:

- De acuerdo con los criterios establecidos en el Manual de Carreteras, se consideran como suelos de calidad deficiente o inapropiada a nivel de subrasante aquellos que exhiben un valor de CBR (California Bearing Ratio) igual o inferior a 6. Estos suelos son catalogados como pobres o inadecuados para su uso directo como base de la estructura vial.
- Por tanto, se debe prestar especial atención cuando la capa de subrasante está compuesta por materiales arcillosos o limosos, ya que estos, al absorber humedad, representan el peligro de colarse en los mantos de mayor tamaño los que a su vez componen el pavimento.
- Es fundamental determinar el tipo de material en cuestión para definir el método de estabilización más adecuado. Las arenas limosas, los limos y arcillas son suelos que predominan en esta región.

La estabilización del suelo ofrece beneficios significativos en la ingeniería vial. La mayor ventaja radica en la posibilidad de sacar partido del terreno disponible en el lugar, para la construcción de pavimentos, lo que posibilita el desarrollo de infraestructura vial en áreas que anteriormente se consideraban impracticables. Esta técnica no solo optimiza el uso de recursos locales, sino que también amplía las posibilidades de conectividad en regiones con condiciones de suelo desafiantes. Este proceso genera un emplazamiento estructuralmente estable y funcional, evitando la necesidad



de importar materiales de préstamo al sitio de construcción. Esta técnica se enfoca en la promoción claramente de la sostenibilidad, combinando beneficios ambientales y técnicos con ventajas económicas importantes, constituyéndose así en un recurso sistémico para la ingeniería vial.

2.2.6. Procesos de estabilización de suelos

Según Fonseca et al., (2019) la posibilidad de incrementar las condiciones del terreno puede lograrse a través de diversos métodos, cada uno de los cuales puede proporcionar diferentes grados de estabilización. Entre las técnicas disponibles se encuentran los procedimientos mecánicos, químicos, eléctricos y térmicos, todos ellos capaces de optimizar las propiedades del terreno. Es importante señalar que el nivel de estabilización alcanzado puede variar no solo entre los distintos métodos, sino también dentro de un mismo enfoque. Esta variabilidad se debe en gran medida a la amplia gama de tipos de suelos existentes, cada uno con características propias y respuestas particulares a las diferentes técnicas de estabilización. En consecuencia, la diversidad de métodos de estabilización y la variabilidad en los resultados obtenidos reflejan la complejidad inherente al tratamiento de los diferentes tipos de suelos, cuyas propiedades y reacciones a los distintos procedimientos pueden diferir significativamente. Estas técnicas son las que se muestran:

a. Estabilidad Física y Mecánica

Este enfoque se centra con el propósito de optimizar la resistencia del estrato en estudio mediante modificaciones de carácter físico, no induciendo a actuaciones químicas en el proceso. Estas se pueden categorizar de la siguiente forma:



Estabilización por compactación: Es un proceso que implica la compresión del material húmedo para reducir su porosidad, incrementar la fricción interna y mejorar su capacidad de carga. Este procedimiento resulta en un aumento en la densidad, estabilidad y resistencia a la retracción del estrato en cuestión, esto con el fin de garantizar una compactación adecuada, se llevan a cabo pruebas sobre muestras, donde se establecen parámetros clave como el equipo adecuado, el grosor de las capas y la cantidad de pasadas necesarias.

Estabilización por coalición de suelos: El proceso implica integrar materia prima in situ con aquellos materiales provenientes de préstamo, complementando esta acción con una compactación adecuada. Previo a la incorporación del material de préstamo, es necesario efectuar un escarificado del suelo existente a una profundidad de 15 centímetros. Es crucial asegurar que todos los materiales involucrados alcancen el nivel óptimo de humedad para su compactación eficiente.

Estabilización por reemplazo: Esta técnica de mejoramiento implica la sustitución de material inadecuado por otro con propiedades físicas y mecánicas superiores. Este proceso puede abordarse mediante dos estrategias constructivas: la primera radica en poner una capa del estrato en estudio sobre el terreno natural existente, mientras que la segunda involucra la labor de vaciado del suelo original en el área y su reemplazo por otro estrato de aporte externo. Ambos métodos buscan optimizar las características del terreno para proporcionar una base más estable y resistente en proyectos de ingeniería civil.



b. Estabilidad por medios químicos

Se refiere al proceso de mezclar productos químicos con la muestra en estudio, generando reacciones que modifican sus propiedades, mejorando así sus características.

Estabilización con cal: Su aplicación se da para terrenos que tienen cierta plasticidad, tanto que sea fina su granulometría. Se producen dos componentes cuando se combinan suelo y cal. El suelo se altera por dos reacciones rápidas en la primera parte: floculación e intercambio iónico. En la fase subsiguiente del proceso, se desarrollan dos reacciones graduales de significativa importancia: la carbonatación y una reacción de carácter puzolánico. Estas interacciones químicas resultan en la formación de nuevos compuestos que desempeñan un rol crucial en la estabilización del suelo. Dichas reacciones, al modificar la composición química del material, mejoran sustancialmente los rasgos físico-mecánicos del terreno, consolidando así el proceso de estabilización. Esta estabilización con cal aprovecha la interacción entre el calcio aportado por este compuesto y los elementos aluminosos y silíceos del terreno, resultando en la formación de silicatos cálcicos y aluminatos que exhiben características aglutinantes y reforzantes. La resistencia final dependerá de la disponibilidad de dichos componentes en el suelo. Generalmente se emplea cal viva (CaO) o cal apagada (Ca(OH)_2), cumpliendo especificaciones técnicas correspondientes para su uso en la estabilización de los estratos estudiados, así como en la construcción vial (B. Das, 2015).

El resultado que provoca la cal en estos estratos es:



- El tratamiento produce una alteración notable en las características de plasticidad del suelo. Particularmente, los suelos con un IP inicial inferior a 15 tienden a experimentar un ligero aumento de este parámetro al ser estabilizados químicamente. Por el contrario, en suelos con un IP original superior a 15, se evidencia una disminución de este parámetro tras el tratamiento.
- Permite incrementar la humedad óptima en la estabilización, posibilitando densificar el estrato de manera natural cuando se halla en estado húmedo.
- Disminuye el potencial de contracción, así como del hinchamiento.
- Mejora las propiedades de firmeza y resistencia a la tracción.
- La reducción del contenido hídrico en la matriz del suelo conlleva a la obtención de un material que exhibe mayor resistencia y fiabilidad en sus propiedades mecánicas.

El estrato en estudio estabilizado con cal implica adicionar un porcentaje óptimo de este producto al suelo, de forma tal que mejore su capacidad portante, disminuya el IP y reduzca la resistencia del estrato al agua. Dicho porcentaje debe ser el adecuado para que las reacciones entre la cal y el suelo continúen desarrollándose a lo largo del tiempo (Castillo, 2016).

c. Estabilidad por medios eléctricos

Electrosmótica: La estabilización eléctrica, también conocida como electroósmosis, supone aplicar una corriente eléctrica a un sustrato mediante conductores de electricidad. Dichos conductores están compuestos por conductos que recogen el agua para ser impulsada mediante

bombas. La tensión de corriente hace que los iones migren y el agua fluya hacia el cátodo en el sistema. Este proceso reduce la presión poros, consolida el suelo en estudio y aumenta su capacidad de soporte. Como consecuencia, la estabilización de suelos finos y húmedos con cal se está consolidando como una técnica muy empleada.

2.2.7. Características mecánicas de los suelos en estudio

Según Fonseca et al. (2019) las características de las muestras que se ensayan con mayor frecuencia en temas de estabilidad son:

- Firmeza en el volumen del estrato
- Resistencia
- Filtración
- Compresibilidad
- Conservación en el tiempo.

Se trata de distinguir la viabilidad para aplicar tratamientos que optimicen a la vez muchas de esas propiedades, no obstante, es importante estar dispuesto para detectar cambios que se contradigan en la enumeración, para que la mejora de una propiedad pueda provocar el deterioro de otras. La estabilización no solo debe percibirse como una medida remedial, sino que algunas de sus mejores aplicaciones involucran acciones preventivas frente a posibles condiciones desfavorables que podrían manifestarse nuevamente en el futuro.

La implementación de técnicas de estabilización trasciende su función correctiva, constituyendo también una estrategia preventiva eficaz. Estas metodologías no solo abordan las problemáticas actuales del suelo, sino que

además proporcionan una protección anticipada contra potenciales condiciones desfavorables que podrían manifestarse posteriormente. Es posible implementar tratamientos que optimicen múltiples propiedades simultáneamente; no obstante, es crucial estar listos para identificar cambios contradictorios en dicha enumeración, ya que la mejora de una propiedad podría perjudicar a otras. La estabilización no debe considerarse únicamente como una acción correctora, dado que las aplicaciones más efectivas de estas técnicas incluyen medidas proactivas para prevenir la reaparición de condiciones adversas en el futuro.

2.2.8. Compactación de suelos

Hace referencia al procedimiento de eliminar aire de la muestra estudiada con el propósito de incrementar su densidad, lo cual a menudo demanda energía. El grado de compactación de la muestra con una determinada proporción de humedad se establece mediante su peso seco. En los procesos de compactación, los líquidos actúan como agentes humectantes, separando y desplazando las partículas del suelo para generar mayor densidad. Tras la compactación, el peso seco se eleva debido al incremento en la proporción de agua o humedad (Oviedo, 2023).

a) Ensayo Proctor modificado

Es un método crucial en la mecánica de suelos que establece la correlación entre la densidad seca de una muestra en compactación y el nivel de humedad. En Estados Unidos, este procedimiento se rige por la norma ASTM D1557, mientras que en nuestro país se aplica la NTP 339.141, equivalente a la anterior. Este procedimiento aplica una fuerza de compresión modificada equivalente a 2,700 kN-m/m³ con el propósito de

identificar los parámetros ideales de consolidación de la muestra estudiada bajo circunstancias controladas. La prueba busca replicar condiciones óptimas para evaluar la respuesta de la muestra ante una energía de compactación específica.

El propósito del ensayo es determinar la cantidad y humedad ideales para que las muestras de suelo se compacten adecuadamente. El ensayo se realizará conforme a las normativas ASTM D-1557, MTC E 115 y la NTP 339.141, e incluirá diversas técnicas de compactación de laboratorio para determinar gráficamente la parábola que resulta de la compactación, es decir, la analogía entre la cantidad de humedad y su peso por unidad de suelo seco, aplicándose a suelos correctamente compactados con diámetros de 101.600 mm. o 152.400 mm. (4" o 6") y un pistón de 4.453 Kg. (10.01 libras) el cual va cayendo desde una elevación de hasta 0.50 m. Esta prueba está destinada a suelos que contienen menores iguales al 30% de trizas detenidas en la malla de 3/4 de pulgada.

Figura 3

Componente para pruebas Proctor Modificado



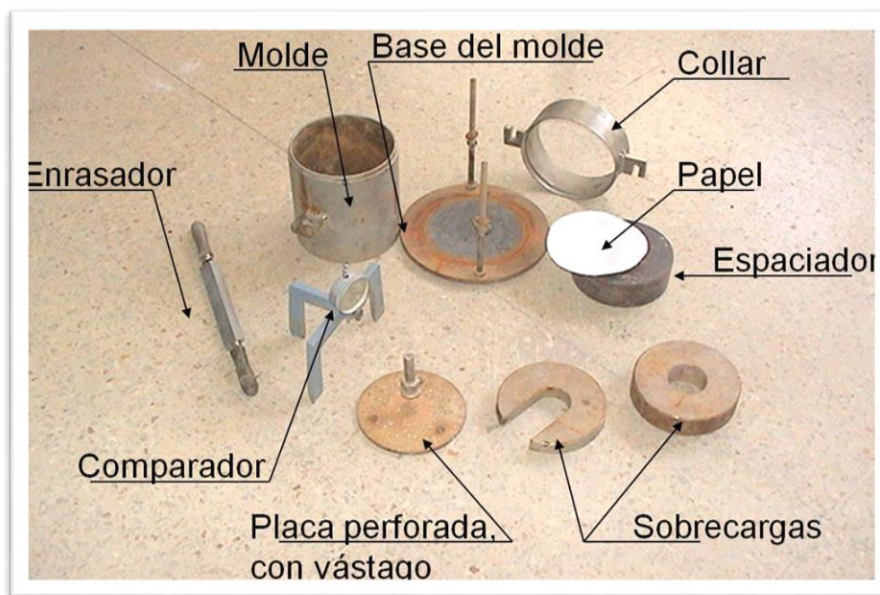
Nota: instrumentos de laboratorio

b) Ensayo CBR (ensayo MTC E 132)

El MTC (2014) establece que la determinación del CBR se realiza conforme a las normas E-132, ASTM D1883 y la NTP 339.145. Para los proyectos viales, se emplean los sistemas de clasificación AASHTO y SUCS en cada tramo homogéneo del estudio. Basándose en esta clasificación, se desarrolla un esquema de ensayos para obtener el CBR, parámetro que define la capacidad de soporte del suelo, referenciado al 95% de la MDS y a una deformación de 0.254 cm. El CBR se calcula comparando el esfuerzo necesario para que un pistón de 4.45 Kg penetre 0.1 y 0.2 pulgadas en la muestra, con el esfuerzo requerido en una muestra estándar de piedra chancada californiana. La norma peruana establece un valor mínimo de CBR del 6% para considerar un suelo apto para uso vial.

Figura 4

instrumentos utilizados para el ensayo CBR



Nota: instrumentos de laboratorio

Para determinar correctamente el valor CBR de diseño de la subrasante, es necesario considerar:



- Para sectores que presentan seis o más valores de CBR, ya sea por tipo de suelo representativo o por sección de características semejantes, se establece el CBR de diseño de la subrasante utilizando la media aritmética de todos los valores estudiados en dicho sector, En segmentos que exhiben seis o más mediciones de CBR, ya sea por la tipología edáfica preponderante o por tramos de propiedades uniformes, se establece el CBR de diseño del terreno de fundación empleando la media aritmética de todos los valores evaluados en dicha zona, permitiendo obtener un valor representativo de la capacidad portante del suelo en áreas con condiciones geotécnicas similares, proporcionando una base sólida para la concepción y dimensionamiento de los componentes estructurales del pavimento en el segmento analizado.
- En los tramos donde se dispone de menos de seis ensayos CBR por categoría de estrato representativo de propiedades uniformes, la determinación del valor CBR de diseño para la subrasante se efectuará aplicando los subsiguientes parámetros:
 - Si los valores CBR de los ensayos son similares, se debe tomar el promedio de los mismos.
 - En caso de que las pruebas CBR presenten disparidades significativas, se adoptará el valor inferior. Alternativamente, se puede optar por segmentar el tramo en subsecciones con resultados CBR similares, estableciendo un promedio para cada una. Es imperativo que la extensión de cada subsector no



sea inferior a 100 metros, asegurando así una representatividad adecuada de las condiciones del suelo.

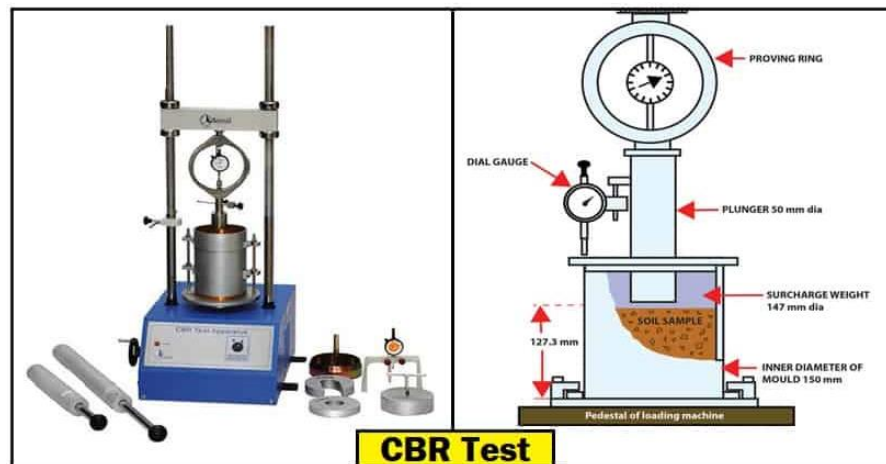
- Se consideran valores de CBR semejantes aquellos que se ubican dentro de un mismo rango de categoría de subrasante, conforme a lo establecido en la tabla de referencia. Esta clasificación permite agrupar los resultados de CBR en categorías específicas, facilitando la caracterización y evaluación de la capacidad portante de la subrasante en diferentes tramos.
- Luego de determinar el resultado CBR para el diseño de cada segmento con características uniformes, se procede a categorizar dicho sector o subtramo en una categoría de subrasante. Esta clasificación se realiza conforme a intervalos predeterminados, permitiendo una evaluación estandarizada.

Tabla 5

Categorías de subrasante para CBR

Categorías	Rango de CBR
S0 : Sub rasante Inadecuada	CBR < 3%
S1 : Sub rasante insuficiente	De CBR ≥ 3% A CBR < 6%
S2 : Sub rasante Regular	De CBR ≥ 6% A CBR < 10%
S3 : Sub rasante Buena	De CBR ≥ 10% A CBR < 20%
S4 : Sub rasante Muy Buena	De CBR ≥ 20% A CBR < 30%
S5 : Sub rasante Excelente	CBR ≥ 30%

Nota. Elaboración propia en base a bibliografía revisada

Figura 5*Equipo C.B.R. (California Bearing Ratio)**Nota: instrumentos de laboratorio*

2.2.9. Incidencia de la cal en las particularidades del suelo

La estabilización con cal se atribuye a tres mecanismos fundamentales: Primero, la modificación de la membrana de agua que envuelve los componentes arcillosos. Segundo, la coagulación de las partículas de la muestra en estudio, facilitada por el exceso de iones de calcio provenientes de la adición de cal a razones del 4 al 12% del peso del suelo seco. Tercero, la reacción química que genera nuevos compuestos a partir de la interacción entre la cal y los componentes de la muestra. Estos procesos combinados resultan en una mejora significativa de las propiedades geotécnicas del material tratado. La alúmina y la sílice son ambas componentes primordiales que reaccionan con la cal. La reacción depende del grado en que reacciona con la cal según la cuantía, el tipo de suelo y el tiempo que se estima para el curado de la mezcla de tierra y cal (Fonseca et al., 2019).

Cal viva: Constituida predominantemente por componentes del óxido de calcio (CaO) junto con óxido de magnesio (MgO).



Estabilización con cal: La adición de cal a un suelo en cantidades adecuadas para promover reacciones puzolánicas sostenibles que se traduzcan en incrementos de resistencia y mejoras permanentes de la estabilidad.

Modificación con cal: Es la transformación de la textura de la muestra en estudio, que implica una reducción de la plasticidad, la cual se logra mediante la adición de cantidades de cal menores a las solicitadas para una estabilización duradera, pudiendo ser este efecto solo transitorio.

2.2.10. Subrasante

El MTC (2014) establece que un suelo es adecuado como subrasante si su CBR es igual o superior a 6%. Si el valor es inferior, se procede a estabilizar el terreno mediante diversas técnicas, considerando las características del suelo. Entre las opciones se encuentran la estabilización mecánica, el reemplazo del suelo, el tratamiento químico, la utilización de geo sintéticos, el aumento de la rasante o la reforma del diseño vial. La elección final se basa en la solución más eficiente tanto técnica como económicamente.

Según el manual para suelos y pavimentos del MTC (2014) la subrasante se especifica como la zona vertical final de la vía tras el movimiento de tierras, destinada a soportar la estructura del pavimento. Esta capa también puede ser la parte superficial del terraplén, debe componerse de suelos cuidadosamente seleccionados y compactados por niveles. Su función es proporcionar una base sólida y en medios óptimos, capaz de mantener las cargas de tránsito previstas sin sufrir desviaciones significativas. La resistencia de la subrasante en situaciones operativas, en conjunto con el flujo vehicular y las particularidades de materiales manejados en la capa de rodadura, son factores fundamentales para diseñar la

estructura del pavimento superpuesto. Aunque la capacidad portante de la subrasante se determina mediante el ensayo CBR, el diseño del pavimento emplea el módulo resiliente como variable de entrada principal.

2.2.11. Producción de la quinua

Ramos et al., (2015) en su estudio indica que la producción mundial de quinua mantiene un crecimiento constante, impulsado por la demanda de un mercado internacional que aún ofrece numerosas oportunidades para este grano de alto valor. La expansión sostenida refleja el continuo interés y potencial comercial de la quinua en el ámbito global. Esto consolidará la posición de Perú como la principal proveedora de este producto durante los próximos diez años debido al alto rendimiento de sus suelos. En consecuencia, para satisfacer el incremento previsto en la producción nacional, se requerirá una expansión promedio anual de 7.200 hectáreas de nuevas áreas de cultivo hasta el año 2021. Esta proyección tiene en cuenta el supuesto de que el rendimiento aumentará a un modesto 2,1% anual. El análisis recomienda implementar iniciativas para la recuperación de tierras, preservación de superficies agrícolas, mejora de la producción y reconversión de cultivos. Estas medidas buscan respaldar al sector privado en la ampliación de áreas destinadas al cultivo de quinua, facilitando así el crecimiento sostenible de la producción y respondiendo a la creciente demanda del mercado.

2.3. Marco conceptual

2.3.1. Cal

La cal viva, también conocida como óxido de calcio, es un producto resultante de la combustión de carbonato de calcio (CaCO_3) presente en rocas



calizas a temperaturas que superan los 900°C, provocando su descomposición. Se presenta como un compacto de color blanco que tiene una densidad específica de 3.300 kg/m³. Este proceso de calcinación transforma la calcita en cal viva, un compuesto ampliamente utilizado en diversas aplicaciones industriales y de construcción.

2.3.2. Grado de resistencia del suelo

Se refiere a su capacidad para soportar cargas sin deformarse o fallar significativamente, siendo generalmente menor cuando el contenido de hídrico es elevado. Los estratos arcillosos destacan por su baja resistencia y alta sensibilidad a la humedad, lo que los hace especialmente vulnerables a cambios en las condiciones hídricas del terreno.

2.3.3. Permeabilidad del suelo

El suelo posee poros interconectados que pueden contener agua, definiéndolo como permeable. No obstante, cuando los vacíos son mínimos, el agua no puede transportarse, volviéndolo impermeable. La permeabilidad se vincula a dos aspectos a resolver, la presión de fluidos en los poros y la circulación de agua por medio del terreno. La compactación de suelos arcillosos a bajos niveles de humedad produce una elevada filtración debido a la presencia de numerosos vacíos intersticiales. Sin embargo, al incrementar la humedad, se observa una disminución en la permeabilidad del suelo. Una de las opciones propuestas para estratos cohesivos es la aplicación de floculantes, los cuales pueden disminuir de manera significativa esta permeabilidad.



CAPÍTULO III

PROCEDIMIENTOS METODOLÓGICOS DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Diseño de la investigación

3.1.1. *Tipo de investigación*

La presente investigación tiene un enfoque desde una perspectiva cuantitativa, definido por la aplicación de herramientas y procedimientos que posibilitan la acumulación de información, así como el estudio de datos numéricos. Este abordaje incluye la realización de ensayos específicos para examinar las variables involucradas en el estudio, las cuales son predominantemente de naturaleza cuantitativa. Dentro de las variables relevantes se encuentran las razones de cal y ceniza proveniente de la cáscara de quinua incorporados al estrato en estudio, así como las propiedades físico-mecánicas del estrato estabilizado, como resistencia a compresión, límites de Atterberg y capacidad portante CBR. En el ámbito de nivel cuantitativo, el presente estudio se categoriza específicamente como cuasi-experimental. Como tal, presenta las siguientes características distintivas:

- El grupo de manipulación: En el cual se manejan variables independientes (porcentajes de cal y ceniza de cascarilla de quinua) intencionalmente en los tratamientos del grupo de estudio, analizándose los resultados de la intervención, antes y después del experimento.
- El grupo control: Así mismo se controla las variables intervinientes o factores. Existen un subgrupo de control para nuestro caso:
 - Control externo: denominado también grupo blanco, es un grupo comparativo al cuál no se le somete ningún tipo de manipulación (suelo arcilloso).

Tabla 6

Identificación y proceso de un experimento

Proceso experimental	
Características	Ejecución
Existencia del grupo patrón (_)	✓
Elección fortuita de unidades experimentales (R)	✓
Designación fortuita de unidades experimentales a los grupos (G)	✓
Asignación aleatoria de tratamientos a grupos (X)	✓
Estado de observación sobre variables externas	✓

Nota. Elaboración propia en base a bibliografía estudiada.



3.1.2. Método de investigación

En el proceso de la presente investigación de tipo cuasi-experimental, se manipulan deliberadamente las variables independientes (proporciones de cal y ceniza de cascarilla de quinua), ya sea incrementándolas o reduciéndolas, con el fin de analizar su efecto. Se utiliza también porque se requiere analizar los posibles efectos en la variable no interviniente propuesta, a causa de la manipulación de las variables independientes en el proceso del estudio de los grupos de control y manipulación, para posteriormente poder abordar los problemas de investigación y validar las hipótesis mediante las mediciones adecuadas (Hernández Sampieri et al., 2014).

3.1.3. Nivel de investigación

El presente estudio tiene un nivel explicativo, la cual es fundamentada en encontrar relaciones causales, por lo que, se enfoca en comprender las razones y factores subyacentes que los generan; ya que, aparte de detallar lo ocurrido, intenta explicar el comportamiento de las variables, cuya influencia se verificará a través de los efectos de las pruebas de laboratorio, cuyos resultados muestran la funcionalidad esperada (Hernández Sampieri et al., 2014).

3.1.4. Variables y operacionalización

Se identificó los elementos y datos que expresan y especifican el fenómeno en cuestión describiéndola en términos observables las cuales se expresan en el consiguiente cuadro de la operacionalización de variables:

Se detallan los elementos y datos que caracterizan el fenómeno en cuestión, describiéndolo en términos observables expresados en el siguiente cuadro:

Tabla 7*Operacionalización de variables*

VARIABLE	INDICADORES	VALORES/ESCALA	TIPO
VARIABLES INDEPENDIENTES	INDICADORES	VALOR FINAL	TIPO DE VARIABLE
1. Cantidad de Cal	1. Porcentaje	(4%,5%, 7% de la muestra)	Numérica Continua
2. Cantidad de ceniza de cáscara de Quinoa	2. Porcentaje	(7%,10%, 13% de la muestra)	Numérica Continua
VARIABLE DEPENDIENTE	INDICADOR	VALOR FINAL	TIPO DE VARIABLE
3. Propiedades físico-mecánicas del suelo arcilloso	3.1. Límites de Atterberg	- Kg/cm ²	Numérica Continua
	3.2. Análisis granulométrico	- Tamaño (mm)	Numérica Continua
	3.3. Proctor modificado	- MDS - W (%)	Numérica ordinal
	3.4. CBR	- LL, LP (%)	Numérica discreta

Nota. Elaboración propia en base a bibliografía estudiada.

3.2. Ámbito de investigación

Abarca el ámbito geográfico, específicamente la Avenida las Torres conocido como segunda circunvalación en el distrito de San Miguel, Provincia de San Román, ya que es una de las principales vías de conexión que une dos avenidas importantes de flujo de vehículos (vía hacia cusco y la vía hacia la provincia de Huancané), con el fin de evaluar el resultado de las diferentes dosificaciones de cal y ceniza sobre las propiedades físico-mecánicas del sustrato cohesivo, con el fin de mejorar su capacidad portante y poder ser utilizado como plataforma para la subrasante vial.

Figura 6

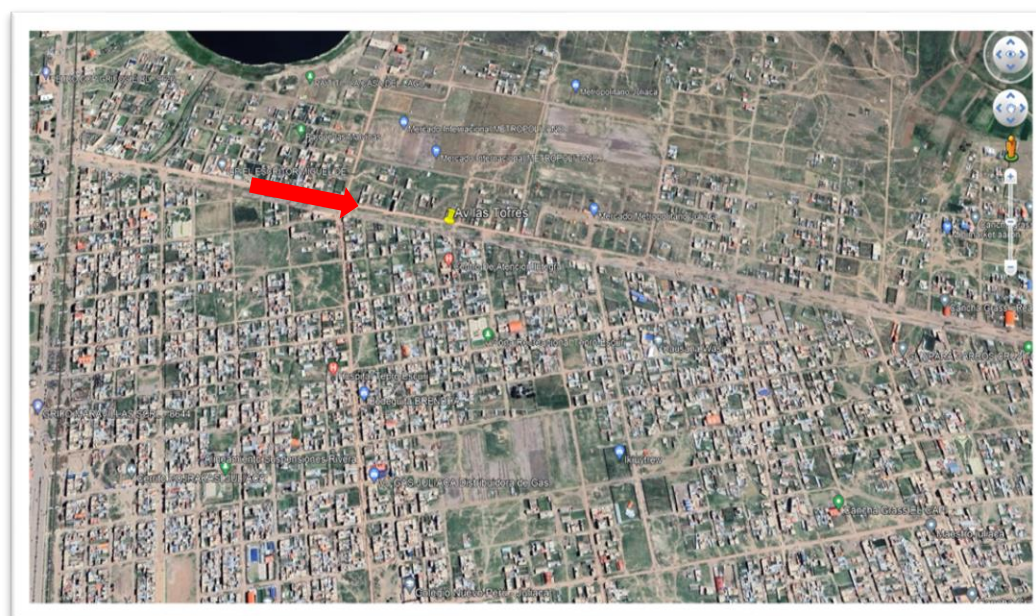
Ubicación geográfica de la investigación



Nota. Extraído de fuentes secundarias

Figura 7

Ubicación geográfica para la zona de intervención Av. Las torres



Nota. Extraído de fuentes secundarias (google earth)



3.3. Población y muestra

3.3.1. Población

El enfoque de estudio son unidades de estrato a nivel de subrasante, el cual serán empleados para analizar el efecto de la incorporación de la composición de ceniza y cal sobre las propiedades físicas y mecánicas del terreno en dicho nivel. Específicamente, se llevarán a cabo exámenes de los suelos presentes a lo largo de la Avenida Las Torres, situada entre las demarcaciones del ámbito de competencia del distrito de San Miguel.

3.3.2. Muestra

El proceso de selección muestral empleado en este estudio se caracteriza por ser de naturaleza probabilística y no intencional. Las unidades representativas del estrato a nivel de suelo en estudio han sido seleccionados mediante un procedimiento aleatorio, asegurando así la imparcialidad en la recolección de datos. Es importante señalar que esta muestra se clasifica como finita, dado que está circunscrita al área específica de estudio previamente delimitada.

Para el grupo de control se tendrán las mismas cantidades requeridas a fin de evaluarlas y analizarlas antes y después del estudio de éstas. Las muestras del estrato de estudio serán combinadas con cal y ceniza de cascarilla de quinua en relaciones porcentuales de 4%, 5% y 7% para cal y 7%, 10%, 13% para ceniza con respecto a la muestra en estudio, empleándose las cantidades respectivas requeridas según se detalla en la tabla adjunta para la realización del presente estudio.

**Tabla 8***Número de ensayos requeridos*

ENSAYOS	NORMA	Nº ENSAYOS	CANTIDAD REQUERIDA (Kg)
CBR	D1883- NTP 339.127	4	6-10
<i>Contenido de Humedad</i>	ASTM D 2216 – NTP 339.127	4	0.5-1
<i>Límite Líquido</i>	ASTM D 4318 – NTP 339.127	2	0.5-1
<i>Límite Plástico</i>	ASTM D 4319 – NTP 339.127	2	0.5-1
<i>Peso Específico</i>	ASTM D 854 – NTP 339.127	4	0.5-0.8

Nota. Elaboración propia en base a bibliografía estudiada.

3.4. Técnicas e instrumentos de investigación

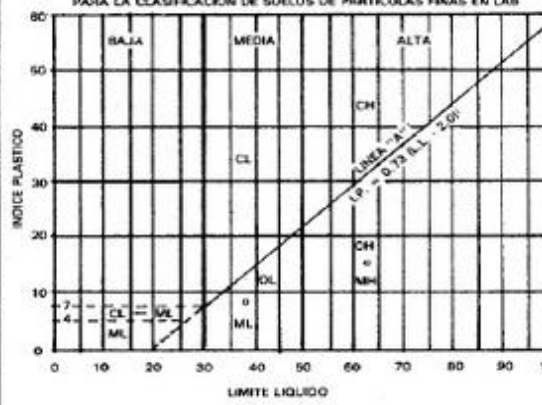
3.4.1. Técnicas

Con el propósito de llevar a cabo un estudio sobre el sometimiento de suelo cohesivo mediante la añadidura de cal y ceniza proveniente de la cáscara de quinua. Para ello, se analizan muestras representativas de este tipo de suelo siguiendo los protocolos y normativas vigentes. Las deducciones de esta investigación permitirán desarrollar el proceso a escala real realizándose mediante el siguiente detalle:

Análisis documental: Para recopilar información, a través un examen minucioso del estrato en cuestión, se obtiene información relevante para determinar la resistencia en este suelo arcilloso.

Figura 8

Clasificación de suelos SUCS

DIVISION MAYOR		SÍMBOLO	NOMBRES TÍPICOS	CRITERIO DE CLASIFICACION EN EL LABORATORIO			
SUELOS DE PARTICULAS GRUESAS	Más de la mitad del material es retenido en la malla n.ºm. 200 son, aproximadamente, las más pequeñas visibles a simple vista.	GRAVAS	GW	Gravas bien graduadas, mezclas de grava y arena con poco o nada de finos.	Coeficiente de uniformidad C_u : mayor de 4 Coeficiente de curvatura C_c : entre 1 y 3 $C_u = (D_{60}) / (D_{10})$ $C_c = (D_{30})^2 / (D_{10} \cdot D_{60})$ NO SATISFACEN TODOS LOS REQUISITOS DE GRADUACION PARA GW Límites de Atterberg abajo de la "Línea A" o I.P. menor que 4 Límites de Atterberg arriba de la "Línea A" con I.P. mayor que 7 $C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$ mayor de 6, $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \cdot D_{60}}$ entre 1 y 3 No satisfacen todos los requisitos de graduación para SW Límites de Atterberg abajo de la "Línea A" con I.P. menor que 4 Límites de Atterberg arriba de la "Línea A" con I.P. mayor que 7		
			GP	Gravas mal graduadas, mezclas de grava y arena con poco o nada de finos.			
		ARENAS	GM	Gravas limosas, mezclas de grava, arena y limo.			
			GC	Gravas arcillosas, mezclas de grava, arena y arcilla.			
		MAS DE LA MITAD DE LA FRACCIÓN GRUESA ES RETENIDA POR LA MALLA No. 4 PARA CLASIFICACION VISUAL. PUEDE USARSE % CM. COMO EQUIVALENTE ABERTURA MALLA No. 4.	ARENAS	SW		Arenas bien graduadas, arena con gravas, con poco o nada de finos.	
				SP		Arenas mal graduadas, arena con gravas, con poco o nada de finos.	
	ARENAS		SM	Arenas limosas, mezclas de arenas y limo.			
			SC	Arenas arcillosas, mezclas de arenas y arcilla.			
	SUELOS DE PARTICULAS FINAS		Más de la mitad del material pasa por la malla número 200 Las partículas de 0.074 mm. de diámetro (malla no. 200) son, aproximadamente, las más pequeñas visibles a simple vista.	LIMOS Y ARCILLAS LÍMITE LÍQUIDO MENOR DE 50%	ML	Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos.	EQUIVALENCIA DE SÍMBOLOS G = GRAVAS, M = LIMO, S = ARENAS, C = ARCILLAS, O = SUELOS ORGÁNICOS, W = BIEN GRADUADOS, F = MAL GRADUADOS, Pt = TURBA, L = BAJA COMPRESIBILIDAD, H = ALTA COMPRESIBILIDAD CARTA DE PLASTICIDAD PARA LA CLASIFICACION DE SUELOS DE PARTICULAS FINAS EN LAB 
					CL	Arcillas inorgánicas de bajo o media plasticidad, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas pobres.	
		OL			Limos orgánicos y arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad.		
		LIMOS Y ARCILLAS LÍMITE LÍQUIDO MAYOR DE 50%			MH	Limos inorgánicos, limos micáceos o diatomáceos, limos elásticos.	
CH					Arcillas inorgánicas de alta plasticidad, arcillas francas.		
OH			Arcillas orgánicas de media o alta plasticidad, limos orgánicos de media plasticidad.				
SUELOS ALTAMENTE ORGÁNICOS		Pt	Turbas y otros suelos altamente orgánicos.				

Nota. Tomado de mecánica de suelos de (Juárez, 2005).

Observación: Se realiza a través de un proceso metódico y controlado de compilación de datos cuantitativos, basado en la observación inmediata y el registro sistemático de los cambios en muestras de estrato cohesivo estabilizado con cal y ceniza de cascarilla de quinua. Este enfoque implica el uso de equipos



especializados y la percepción sensorial para medir y analizar las propiedades físico-mecánicas del estrato en estudio, incluyendo su respuesta a la compresión, modificaciones en la plasticidad y su potencial de expansión.

Pruebas en laboratorio: Comprenden una serie de protocolos normalizados y monitoreados que se ejecutan para cuantificar las particularidades físico-mecánicas del estrato en estudio modificado con cal y ceniza de cáscara de quinua. Estos procedimientos permiten una evaluación rigurosa y objetiva de las propiedades del material tratado, proporcionando datos precisos sobre su comportamiento y rendimiento bajo diversas condiciones de prueba. Para los ensayos de proctor modificado, se realizó según indica la norma ASTM D-1557 y la norma AASHTO T 180, Se utilizó el método A, por tratarse de un suelo arcilloso y que, por normativa menos del 20% del peso de la muestra es retenida en el tamiz número 4.

Estos procedimientos involucran la aplicación de métodos estandarizados conforme a las normativas vigentes de ASTM, AASHTO y el MTC peruano, destinados a la caracterización físico-mecánica de este tipo de estratos estudiados. Empleando instrumentación especializada, se cuantifican y examinan propiedades como la resistencia, plasticidad, potencial expansivo y capacidad portante del terreno, siguiendo protocolos rigurosos establecidos por estas entidades reguladoras del sector de infraestructura y transporte.

3.4.2. Instrumentos

- Libros, artículos científicos, tesis y demás documentos de recopilación de fuente secundaria.
- Fotos como demostración visual para el estudio.



- Pruebas en el laboratorio correspondiente para la obtención de elementos que son objeto de la investigación.
- Ensayo de límites de consistencia, conforme a la Norma Técnica Peruana 339.129, que proporciona información crucial sobre su comportamiento, manejabilidad y propiedades plásticas en distintas condiciones hídricas.
- Ensayo de proctor modificado que proporciona información trascendental sobre densidad seca máxima y contenido de humedad óptimo.
- El ensayo CBR (California Bearing Ratio), conforme a la NTP 339.145, que no proporciona información sobre la capacidad portante del estrato en estudio, en las cuales están condicionadas por la humedad y densidades reguladas, proporcionando un índice de la calidad estructural del suelo para su uso en obras viales.
- Ensayos de caracterización de calidad de subrasante.

3.4.3. Fuente de recolección de datos

Según Arias (2012) la metodología de recopilación de datos proporciona información variada y relevante. Por consiguiente, el estudio se lleva a cabo a lo largo de la vía principal considerada como avenida las Torres del distrito de San Miguel, conocido como segunda circunvalación, donde se realiza la implementación de ensayos y la extracción de muestras del estrato en estudio a nivel de subrasantes. La investigación incluye la estabilización de las muestras y su posterior evaluación mediante pruebas de determinación físico-mecánica, permitiendo así un análisis comprensivo de las propiedades del terreno tratado en base a los efectos que tiene las variables independientes sobre la variable dependiente.



CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados de la investigación

Los especímenes obtenidos fueron de calicatas ejecutadas a lo largo de la Av. Las Torres para posteriormente llevarlas a laboratorio juntamente con las cenizas de la cáscara de quinua y cal. Todas las pruebas que se efectuaron fueron en las instalaciones del laboratorio y se desarrollaron considerándose de la siguiente manera:

4.1.1 *Granulometría del suelo*

El análisis granulométrico del suelo revela una distribución de partículas predominantemente finas, con un 88.39% del material que pasa la malla #200 (0.075 mm), indicando una significativa presencia de material cohesivo. En la figura 9 se muestra, la curva granulométrica que, exhibe una pendiente moderada y uniforme, con ausencia notable de partículas gruesas, donde el 99.72% del material pasa el tamiz #4 (4.75 mm), presentando propiedades geotécnicas típicas como permeabilidad relativamente baja, susceptibilidad a cambios volumétricos y compresibilidad media a alta.

Tabla 9

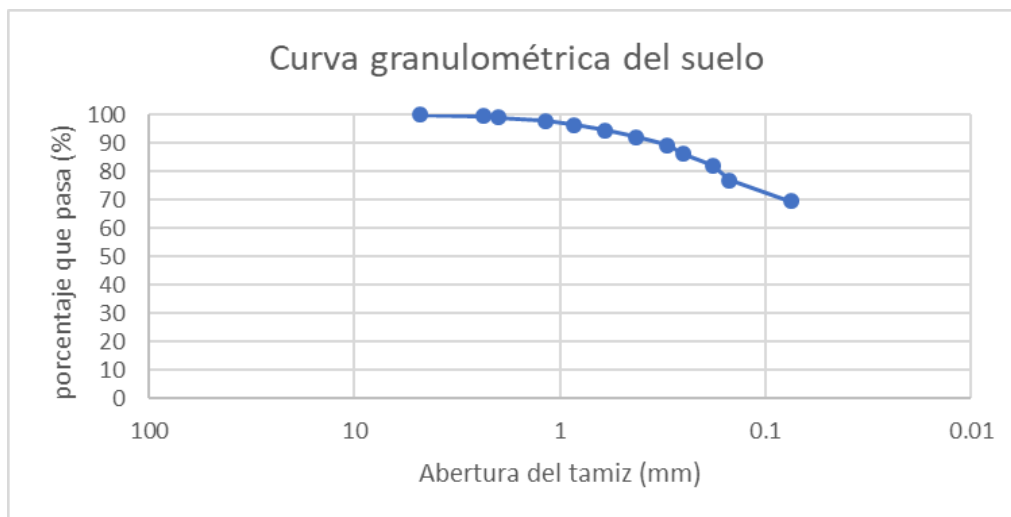
Granulometría del suelo cohesivo

Número de Malla (ASTM)	Abertura (mm)	Peso retenido (gr)	% retenido	% retenido acumulado	% que Pasa en Tamiz
3"	75.000				
2 1/2"	63.000	0.00	0.00	0.00	100.00
2"	50.000	0.00	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	38.100	0.00	0.00	0.00	100.00
1"	25.000	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.000	0.00	0.00	0.00	100.00
1/2"	12.500	0.00	0.00	0.00	100.00
3/8"	9.500	0.00	0.00	0.00	100.00
1/4"	6.300				
4	4.750	1.39	0.28	0.28	99.72
8	2.360				
10	2.000	8.34	1.67	1.95	98.05
16	1.180				
20	0.850	5.34	1.07	3.01	96.99
30	0.600				
40	0.425	4.02	0.80	3.82	96.18
50	0.300	3.15	0.63	4.45	95.55
60	0.250				
80	0.180				
100	0.150	12.84	2.57	7.02	92.98
200	0.075	22.95	4.59	11.61	88.39
Fondo	--	441.97	88.39	100.00	0.00
Total		500.00	100.00		

Nota. Elaboración propia

Figura 9

Curva granulométrica



Nota. Elaboración propia

4.1.2 Ensayos de límites de consistencia

Los ensayos se efectuaron cumpliendo los lineamientos de la NTP 339.129 en referencia al tema expansión de suelos y los límites de Atterberg. Para dicha determinación se utilizó el LL, LP y el IP.

a. Límite líquido

Se ejecutó rigurosamente el protocolo establecido conforme a la normativa vigente ASTM D4318. Los efectos obtenidos, exhibidos en la tabla adjunta, revelan que el nivel hídrico en la muestra analizada alcanza un 59,22%. proporcionando datos sobre las características hídricas de la muestra que corresponde al suelo control. En el gráfico de curva de fluidez mostrando el valor del contenido de humedad para los golpes del cual define el LL del suelo control y que, según la ecuación semi-logarítmica nos da un valor de 59.22% para 25 golpes.

Tabla 10

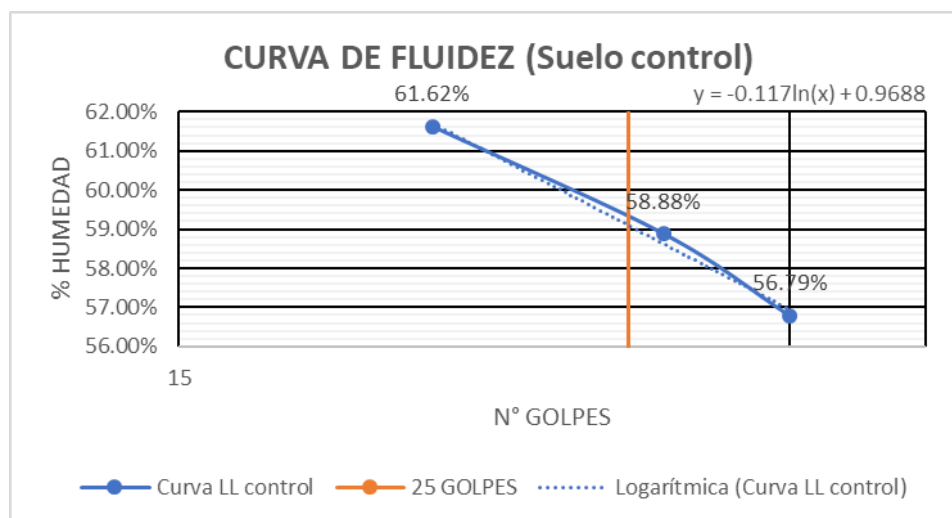
cálculos de límite líquido suelo control

Número de ensayos	1	2	3
N° Golpes	20	26	30
Peso de tara (gr)	53.08	53.36	55.14
Peso de tara + suelo húmedo (gr)	71.23	68.12	70.85
Peso de tara + suelo seco (gr)	64.31	62.65	65.16
Peso de agua (gr)	6.92	5.47	5.69
Peso del suelo seco (gr)	11.23	9.29	10.02
% Humedad	61.62%	58.88%	56.79%
% Humedad promedio		59.10%	
Límite Líquido		59.22%	

Nota. Elaboración propia

Figura 10

Curva de Fluidez respecto del contenido de humedad



Nota. Elaboración propia

Para el caso de la estabilización con el primer tratamiento, el límite líquido (LL) se obtiene a 25 golpes, siendo este valor clave para evaluar la plasticidad del suelo, en este caso para este tratamiento que consta de la adición del 4% de cal y 7% de ceniza proveniente de la cáscara de quinua, el límite líquido comienza a disminuir a 48.36%, debido a las reacciones de estos aditivos produciendo un intercambio de cationes y una floculación de partículas lo que reduce la capacidad de retener agua de la arcilla.

Tabla 11

Cálculos de límite líquido tratamiento 1 (4% cal y 7% ceniza)

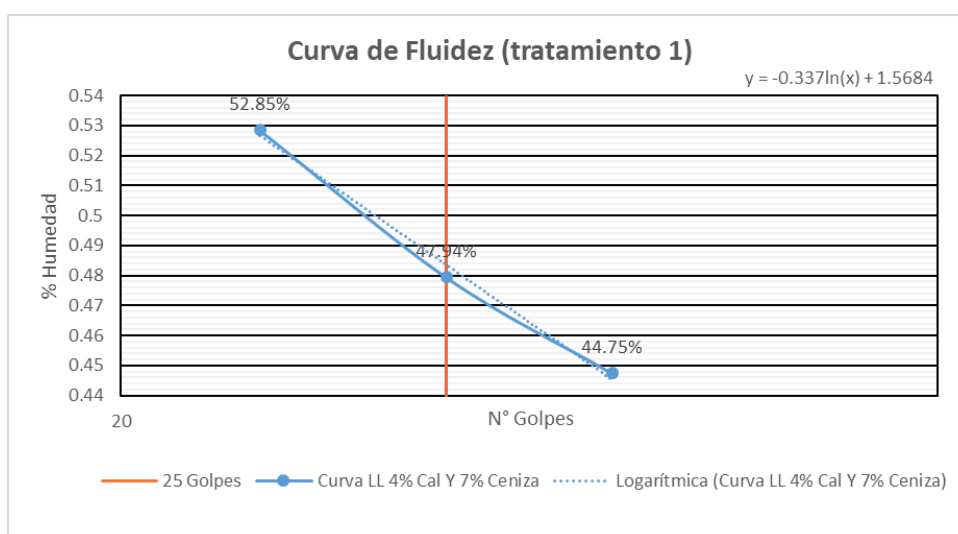
Número de pruebas	1	2	3
N° Golpes	22	25	28
Peso de tara (gr)	52.13	54.06	51.36
Peso de tara + suelo húmedo (gr)	70.35	72.02	69.83
Peso de tara + suelo seco (gr)	64.05	66.20	64.12
peso de agua (gr)	6.3	5.82	5.71
Peso del suelo seco (gr)	11.92	12.14	12.76
% Humedad	52.85%	47.94%	44.75%
% Humedad promedio		48.51%	
Límite Líquido		48.36%	

Nota. Elaboración propia

La forma de la curva y su pendiente ayudan a identificar la plasticidad y sensibilidad al agua de este tipo de suelo. En el gráfico de curva de fluidez de la curva semi-logarítmica nos muestra el valor del contenido de humedad para 25 golpes el cual define el límite líquido (LL) del suelo bajo el tratamiento 1 (4% cal y 7% de ceniza de cáscara de quinua) y que según la ecuación semi-logarítmica para 25 golpes nos da un valor de 48.36%. Permitiendo visualizar mejor la tendencia no lineal típica de suelos de alta plasticidad.

Figura 11

Curva de fluidez para el tratamiento 1 (4% cal y 7% ceniza)



Nota. Elaboración propia

Para el segundo tratamiento que consta de adicionar el 5% de cal y 10% de ceniza de cáscara proveniente de la quinua, el límite líquido disminuye con respecto al primer tratamiento siendo esta por medio de la curva semi-logarítmica de la curva de fluidez de 40.85%, observándose la reducción de la capacidad de retención de agua de la arcilla. En este cálculo se realizó ensayos donde las ranuras de las muestras cerraron en media pulgada a los 23, 27 y 30 golpes según normativa.

Tabla 12

Cálculos límite líquido tratamiento 2 (5% cal y 10% ceniza)

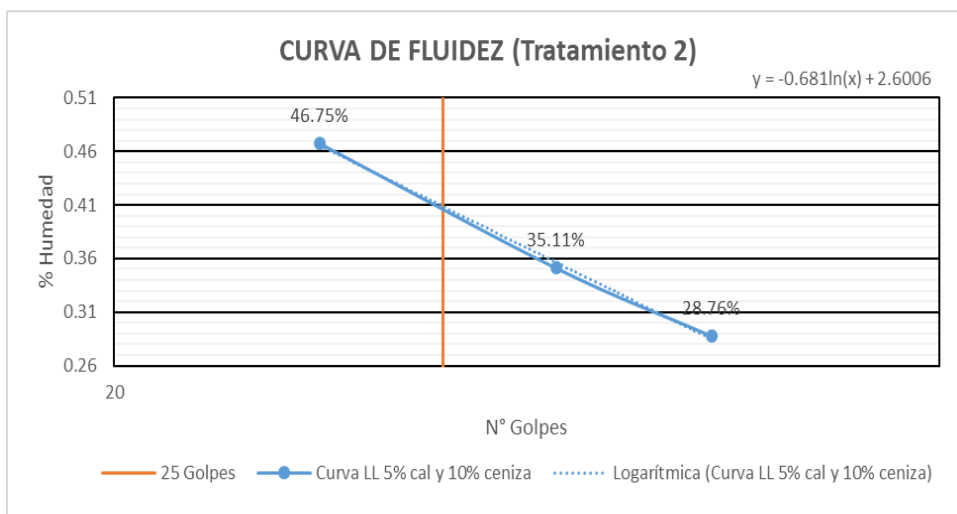
Número de pruebas	1	2	3
N° Golpes	23	27	30
Peso de tara (gr)	53.35	49.74	50.18
Peso de tara + suelo húmedo (gr)	71.62	75.83	70.73
Peso de tara + suelo seco (gr)	65.8	69.05	66.14
peso de agua (gr)	5.82	6.78	4.59
Peso del suelo seco (gr)	12.45	19.31	15.96
% Humedad	46.75%	35.11%	28.76%
% Humedad promedio		36.87%	
Límite Líquido		40.85%	

Nota. Elaboración propia

Del mismo modo se representa en el gráfico de curva de fluidez semi-logarítmica el valor del contenido de humedad para 25 golpes el cual define el límite líquido (LL) del suelo bajo el tratamiento 2 (5% cal y 10% de ceniza de cáscara de quinua) con un valor de 40.85%.

Figura 12

Curva de fluidez para el tratamiento 2 (5% cal y 10% ceniza)



Nota. Elaboración propia

Para el tercer tratamiento, siguió el mismo patrón que el tratamiento anterior disminuyendo el límite líquido por medio de la curva semi-logarítmica para 25 golpes a 33.68% realizándose a los 23, 24 y 27 golpes, de tal manera

que se logró disminuir la capacidad de retención de líquido por parte de la arcilla.

Tabla 13

Cálculos límite líquido tratamiento 3 (7% cal y 13% CCQ)

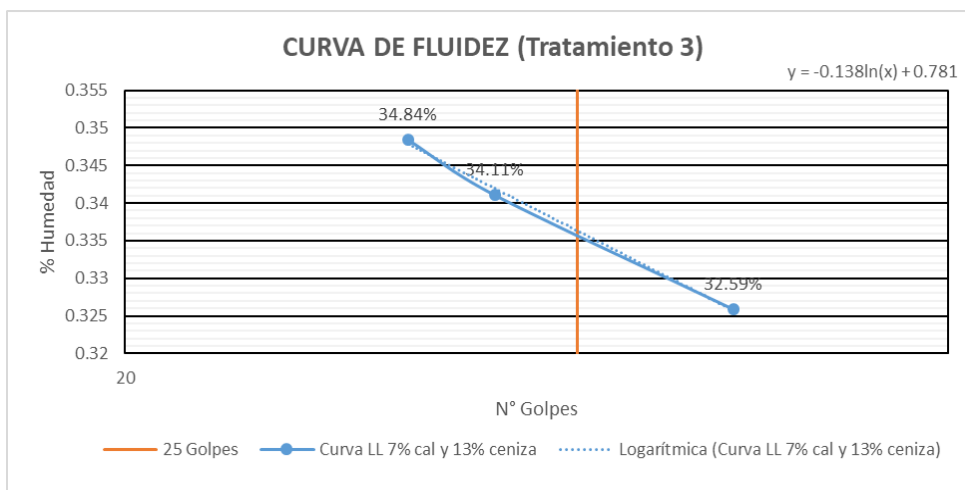
Número de pruebas	1	2	3
N° Golpes	23	24	27
Peso de tara (gr)	48.76	51.05	52.4
Peso de tara + suelo húmedo (gr)	68.42	75.23	71.97
Peso de tara + suelo seco (gr)	63.34	69.08	67.16
peso de agua (gr)	5.08	6.15	4.81
Peso del suelo seco (gr)	14.58	18.03	14.76
% Humedad	34.84%	34.11%	32.59%
% Humedad promedio		33.85%	
Límite Líquido		33.68%	

Nota. Elaboración propia

La curva de fluidez que está dada en base a la curva semi-logarítmica, nos muestra el valor del contenido de humedad para 25 golpes el cual define el límite líquido (LL) del suelo bajo el tratamiento 3 (7% cal y 13% de ceniza de cáscara de quinua) y que según la ecuación semi-logarítmica para 25 golpes nos da un valor de 33.68%.

Figura 13

Curva de fluidez para el tratamiento 3 (7% cal y 13% CCQ)



Nota. Elaboración propia

b. Límite plástico

La añadidura de cal y CCQ, reduce la plasticidad del suelo, haciéndolo menos susceptible a deformaciones según se incrementa los estabilizantes mencionados.

Tabla 14*Cálculos de límite plástico del suelo control*

Número de pruebas	1	2
Peso de tara (gr)	54.26	51.88
Peso de tara + suelo húmedo (gr)	61.15	58.52
Peso de tara + suelo seco (gr)	59.78	56.93
peso de agua (gr)	1.37	1.59
Peso de suelo seco (gr)	5.52	5.05
% Humedad	0.2482	0.3149
% Humedad promedio	28.15%	

Nota. Elaboración propia

Tabla 15*Cálculos límite plástico tratamiento 1 (4% cal y 7% CCQ)*

Número de pruebas	1	2
Peso de tara (gr)	53.42	50.75
Peso de tara + suelo húmedo (gr)	60.95	58.26
Peso de tara + suelo seco (gr)	59.26	56.96
peso de agua (gr)	1.69	1.3
Peso de suelo seco (gr)	5.84	6.21
% Humedad	0.2894	0.2093
% Humedad promedio	24.94%	

Nota. Elaboración propia

Tabla 16*Cálculos límite plástico tratamiento 2 (5% cal y 10% CCQ)*

Número de pruebas	1	2
Peso de tara (gr)	50.64	52.25
Peso de tara + suelo húmedo (gr)	58.37	61.87
Peso de tara + suelo seco (gr)	56.89	60.16
peso de agua (gr)	1.48	1.71
Peso de suelo seco (gr)	6.25	7.91
% Humedad	0.2368	0.2162
% Humedad promedio	22.65%	

Nota. Elaboración propia

Tabla 17*Cálculos límite plástico tratamiento 3 (7% cal y 13% CCQ)*

Número de pruebas	1	2
Peso de tara (gr)	53.6	54.7
Peso de tara + suelo húmedo (gr)	60.7	63.8
Peso de tara + suelo seco (gr)	59.5	62.5
peso de agua (gr)	1.2	1.3
Peso de suelo seco (gr)	5.9	7.8
% Humedad	0.2034	0.1667
% Humedad promedio	18.50%	

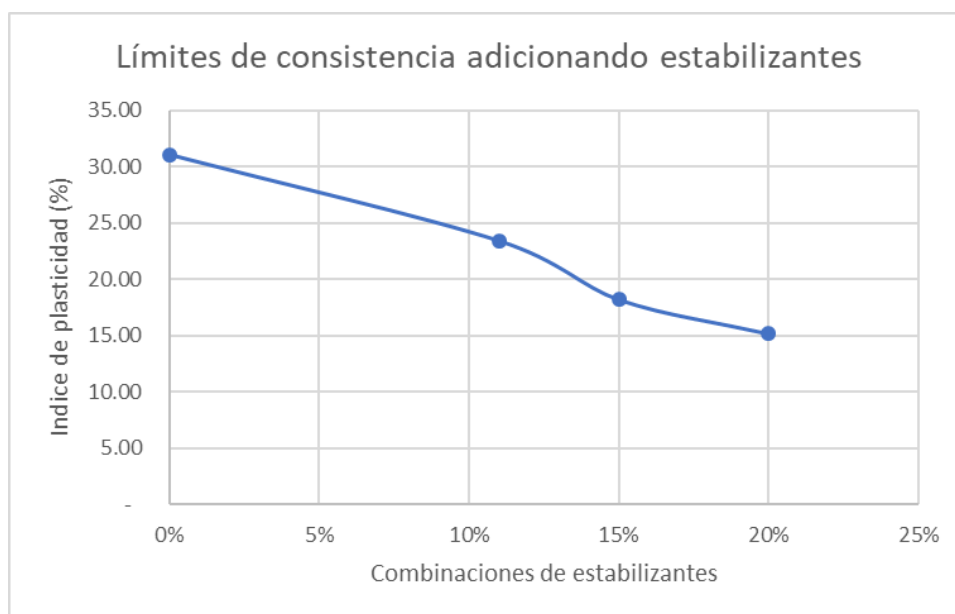
Nota. Elaboración propia

c. Índice de plasticidad

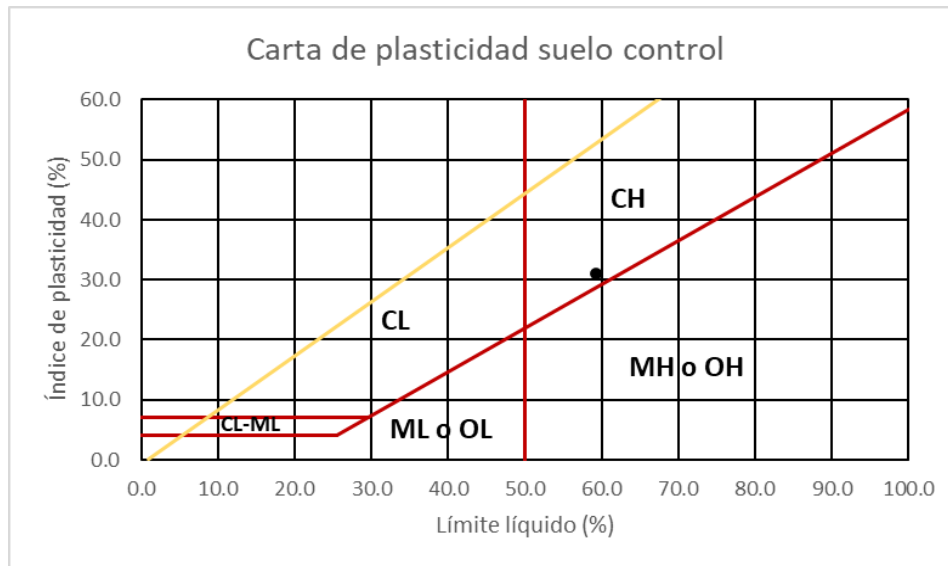
El IP cuantifica el intervalo hídrico por el cual un suelo exhibe una conducta plástica. Este parámetro se obtiene calculando el contraste numérico entre el LL y LP del material. En la tabla 18 se aprecia el IP del suelo sin tratamiento el cuales de 31.07% y que, a medida que se incrementa los estabilizantes con cada tratamiento, se reduce la plasticidad debido a la floculación y estabilización de las partículas del suelo cohesivo, observándose un claro progreso en las propiedades del suelo, así como la baja deformabilidad con la aplicación del tercer tratamiento llegando finalmente a 15.18% de IP. Esta disminución refleja una mejora notable en la estabilidad del suelo, atribuible a la reacción puzolánica de la cal y la CCQ,. Del mismo modo se puede apreciar la disminución del índice de plasticidad en la figura 14.

Tabla 18*Resumen del IP de las muestras con tratamientos*

Muestras	Límite líquido (%)	Límite plástico (%)	Índice de plasticidad (%)
Suelo control	59.22	28.15	31.07
4% cal + 7% ceniza	48.36	24.94	23.43
5% cal + 10% ceniza	40.85	22.65	18.21
7% cal + 13% ceniza	33.68	18.50	15.18

Nota. Elaboración propia**Figura 14***Índice de plasticidad vs. % estabilizantes combinados**Nota:* Elaboración propia

En el gráfico siguiente se muestra la clasificación del suelo natural en la carta de plasticidad de suelos en función del LL y el IP de acuerdo a la normativa SUCS, donde al suelo natural o suelo control se le clasifica como un suelo CH o de alta plasticidad.

Figura 15*Carta de plasticidad del suelo control y su clasificación*

Nota. Elaboración propia según parámetros de carta de plasticidad.

Según los cálculos realizados para clasificar el tipo de suelo, este corresponde a uno de alta plasticidad o suelo de tipo CH con un LL de 59.22% y un IP del 31.07%.

Clasificación del suelo SUCS

La clasificación se efectuó conforme a la NTP 339.134. Técnica de categorización de suelos en el ámbito de Ingeniería. Esta normativa, que implementa el SUCS, proporciona un enfoque estandarizado para categorizar los suelos según sus propiedades geotécnicas. Se detalla el procedimiento estándar operativo para la clasificación de suelos. Para este proceso es fundamental contar con los resultados de las pruebas de consistencia. El procedimiento tiene varias etapas clave:

- Es importante establecer si el tipo de muestra es granular o arcilloso, mediante la medición de la proporción de partículas que atraviesan un tamiz N°200, permitiendo su clasificación.



- Seguidamente, se procede a catalogar el suelo basándose en el LL. Si este es menor al 50%, se clasifica como ML, CL u OL. Si es mayor al 50%, se clasificará como MH, CH u OH.
- Los datos específicos de LL e IP se presentan en una tabla incluida en el procedimiento.

Categorización del suelo originario AASHTO

Tanto las deducciones y pruebas de consistencia como la granulometría son indispensables para clasificar el suelo bajo esta norma, también determina el índice de similitud de grupo.

$$IG = (F - 35)[0.2 + 0.005(LL - 40)] + 0.01(F - 15)(IP - 10)$$

Sustituyendo los valores dados:

- $F_{200} = 88.39\%$
- $LL = 59.22\%$
- $IP = 31.07\%$

$$IG = (88.39 - 35)[0.2 + 0.005(59.22 - 40)] + 0.01(88.39 - 15)(31.07 - 10)$$

$$IG = 31.27 > 9$$

Por lo tanto, el índice de grupo (IG) calculado con estos nuevos valores es 31.27 y está en la categoría de suelo inadecuado por ser mayor a 9 según clasificación del suelo el cual se indica en la tabla 3. Según Skempton (1953) indica que para clasificar un suelo por el índice de Actividad (IA) se debe dividir el LL por el IP, para nuestro caso del suelo el $IA = 1.91$ el cual está en el rango de 1.25 y 2 según señala el autor, para lo cual el suelo se clasifica como CH.

$$IA = \frac{LL}{IP} = \frac{59.22}{31.07} = 1.91$$

$$1.25 \leq IA \leq 2.0, \text{ Clasificación Grupo CH}$$

Según la clasificación AASHTO correspondiente al suelo estudiado tiene características encontradas según cálculos. Por la granulometría donde el 88.39% de material pasa el tamiz #200, por lo que el tipo de material pertenece a un tipo de suelo arcilloso puesto que, según el índice de plasticidad del suelo que es de 31.07%, según la categorización AASHTO, este pertenece al grupo A-7-6 por tener el $LL > 30$

Tabla 19

Categorización de suelos: Norma AASHTO

Clasificación general	Materiales granulares (35% o menos pasa el tamiz #200)							Materiales limoarcillosos (más de 35% pasa el tamiz #200)			
	A-1		A-3 ^A	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7 A-7-5 A-7-6
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				
Tamizado, % que pasa											
No. 10 (2.00mm)	50 máx.	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
No. 40 (425µm)	30 máx.	50 máx.	51 mín.	...	...	...	...	...	...	...	...
No. 200 (75µm)	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	36 mín.	36 mín.	36 mín.
Consistencia											
Límite líquido	...	...	...	B				40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.
Índice de plasticidad	6 máx.	N.P.	N.P.	B				10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín. ^B
Tipos de materiales característicos	Cantos, grava y arena		Arena fina	Grava y arena limoarcillosas				Suelos limosos		Suelos arcillosos	
Calificación	Excelente a bueno							Regular a malo			

^A La colocación de A3 antes de A2 en el proceso de eliminación de izquierda a derecha no necesariamente indica superioridad de A3 sobre A2.

^B El índice de plasticidad del subgrupo A-7-5 es igual o menor que LL-30. El índice de plasticidad del subgrupo A-7-6 es mayor que LL-30.

Nota. Extraído de (AASHTO, 2018)

4.1.3 Resultados del ensayo Proctor modificado

El procedimiento se efectuó de acuerdo a la normativa:

- Preparación de la muestra: (secado al aire) para luego zarandear el material por el tamiz N° 4. Para la preparación de las probetas se utiliza un molde cilíndrico de 4", rellenándolo en 5 capas y compactándolo debidamente. De esta forma se logra la adecuada conformación de las muestras.



- Compactación: Los moldes se conformó en 5 niveles, aplicando para la primera capa 25 impactos con un pisón de 4,54 kg. que baja desde 45 cm de altura. Este procedimiento se repite de igual forma para los siguientes estratos, hasta alcanzar el tope del molde cilíndrico.
- Determinación del nivel de humedad óptimo: Siguiendo el protocolo establecido en la norma NTP 339.127, se procede a extraer una fracción del espécimen compactado y depositarla en un contenedor apropiado. A continuación, se registra su peso inicial y se somete a un proceso de secado en una estufa calibrada a una temperatura de 110°C, con un margen de tolerancia de $\pm 5^\circ\text{C}$.
- Calcular la densidad máxima seca (peso volumétrico húmedo / (1 + contenido de humedad)).
- Cálculos y gráfica: Curva de compactación (densidad seca máxima vs. nivel de humedad).

Los datos iniciales para el ensayo de proctor modificado se tiene el peso del molde el cual es de 4146 gr, la altura interior de 11.7 cm, el diámetro de 9.86 cm y un volumen interior del molde de 893.37 cm³.

Tabla 20

Cálculos de proctor modificado suelo control

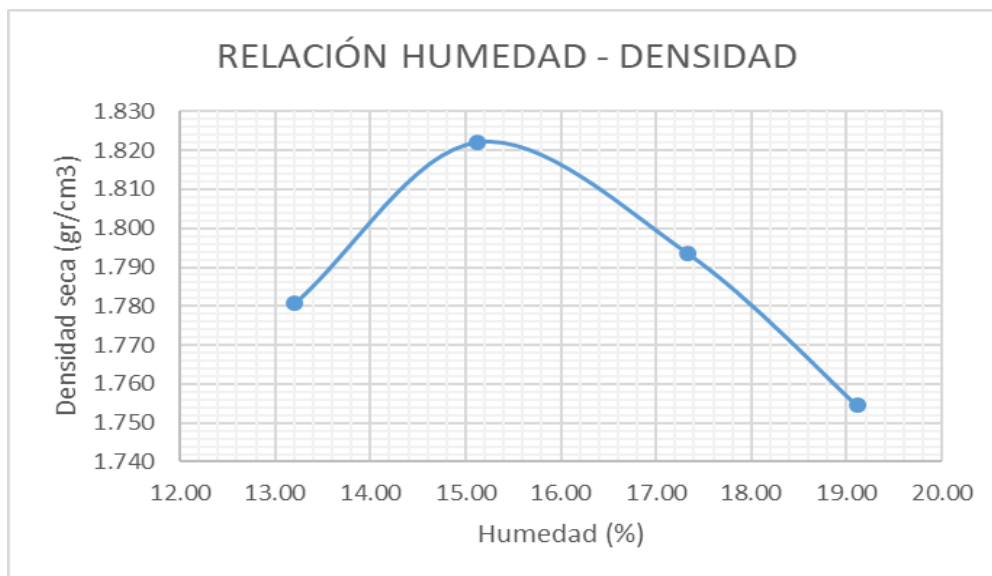
N° molde	U.M.	1	2	3	4
Peso suelo húmedo+molde	gr.	5947	6020	6026	6013
Peso molde	gr.	4146	4146	4146	4146
Peso suelo húmedo	gr.	1801	1874	1880	1867
Densidad suelo húmedo	gr/cm ³	2.02	2.10	2.10	2.09
promedio de humedad	%	13.20	15.13	17.33	19.11
Densidad del suelo seco	gr/cm³	1.781	1.822	1.794	1.755

Nota. Elaboración propia

Según cálculos efectuados para el suelo control se encontró que, el CHO es de 15.13% y una MDS de 1.82 gr/cm³ el cual se puede apreciar en la figura 16.

Figura 16

Curva de compactación (suelo control)



Nota. Elaboración propia

Tabla 21

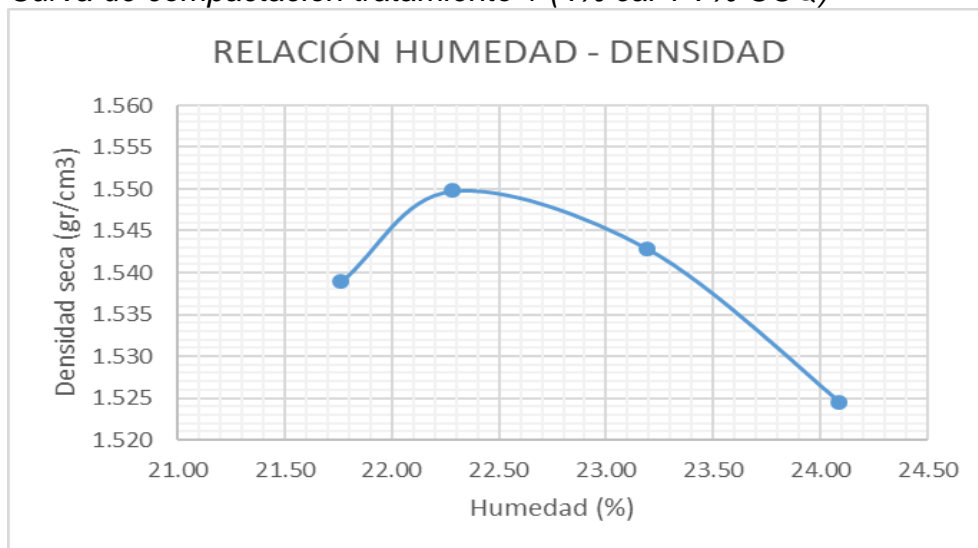
Cálculos de proctor modificado (Tratamiento 1)

N° molde	U.M.	1	2	3	4
Peso suelo húmedo+molde	gr.	5820	5839	5844	5836
Peso molde	gr.	4146	4146	4146	4146
Peso suelo húmedo	gr.	1674	1693	1698	1690
Densidad suelo húmedo	gr/cm ³	1.87	1.90	1.90	1.89
promedio de humedad	%	21.76	22.28	23.19	24.09
Densidad del suelo seco	gr/cm³	1.539	1.550	1.543	1.524

Nota. Elaboración propia

Figura 17

Curva de compactación tratamiento 1 (4% cal + 7% CCQ)



Nota. Elaboración propia

Se encontró para el suelo bajo el tratamiento 1 que, el COH es de 22.28% y una máxima densidad seca de 1.55 gr/cm³, el cual se aprecia a través de la curva de compactación en la figura17.

Para el segundo tratamiento y según los cálculos realizados en laboratorio y en gabinete se pudieron encontrar para la muestra bajo el tratamiento con combinación de 5% de cal y 10% de CCQ, el CHO es de 26.10% y una máxima densidad seca de 1.49 gr/cm³ el cual también se puede apreciar en la figura18.

Tabla 22

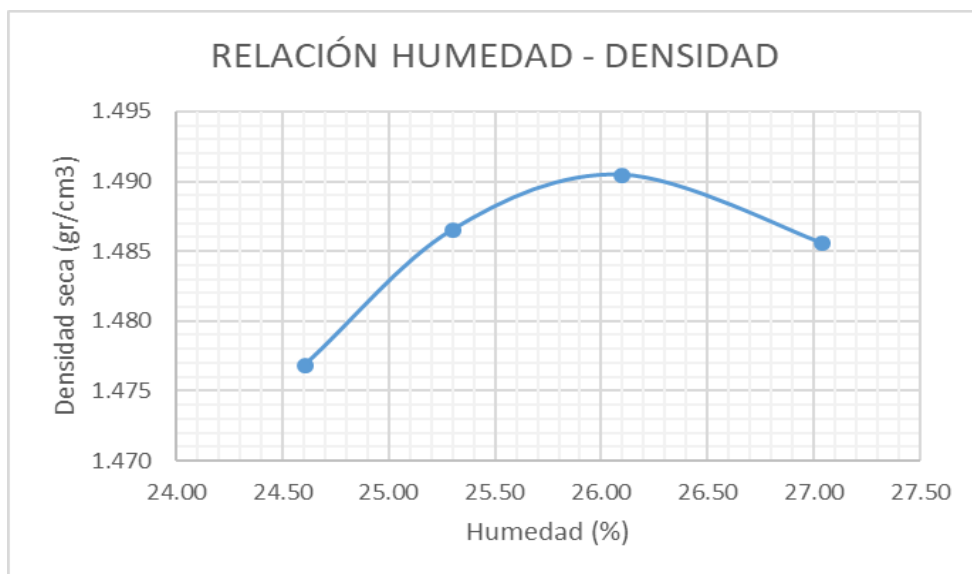
Cálculos de proctor modificado (Tratamiento 2)

N° molde	U.M.	1	2	3	4
Peso suelo húmedo+molde	gr.	5790	5810	5825	5832
Peso molde	gr.	4146	4146	4146	4146
Peso suelo húmedo	gr.	1644	1664	1679	1686
Densidad suelo húmedo	gr/cm ³	1.84	1.86	1.88	1.89
promedio de humedad	%	24.61	25.30	26.10	27.04
Densidad del suelo seco	gr/cm³	1.477	1.487	1.491	1.486

Nota. Elaboración propia

Figura 18

Curva de compactación tratamiento 2 (5% cal + 10% CCQ)



Nota. Elaboración propia

Según los cálculos realizados en laboratorio y en gabinete se encontró para el suelo bajo el tratamiento 3 con combinación de 7% de cal y 13% de ceniza de cáscara de quinua, el contenido de humedad óptimo de 28.20% y MDS de 1.46 gr/cm³ el cual también se puede apreciar en la figura 19.

Tabla 23

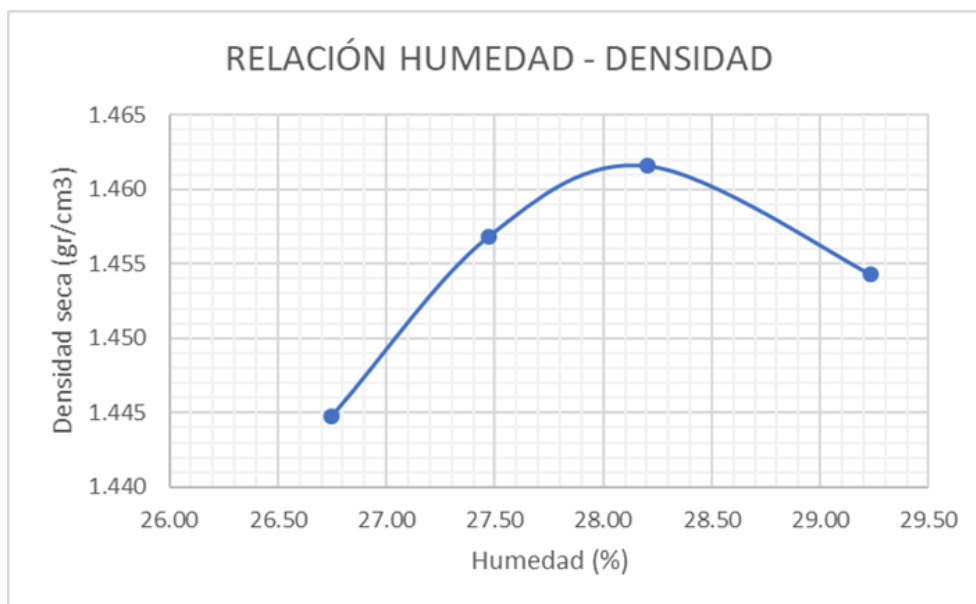
Cálculos de proctor modificado (Tratamiento 3)

N° molde	U.M.	1	2	3	4
Peso suelo húmedo+molde	gr.	5782	5805	5820	5825
Peso molde	gr.	4146	4146	4146	4146
Peso suelo húmedo	gr.	1636	1659	1674	1679
Densidad suelo húmedo	gr/cm ³	1.83	1.86	1.87	1.88
promedio de humedad	%	26.75	27.47	28.20	29.23
Densidad del suelo seco	gr/cm³	1.445	1.457	1.462	1.454

Nota. Elaboración propia

Figura 19

Curva de compactación tratamiento 3 (7% cal + 13% ceniza)



Nota. Elaboración propia

Tabla 24

Resumen contenido de humedad y máxima densidad seca

Muestras	Contenido óptimo de humedad (%)	Densidad máxima seca (g/cm ³)
Suelo control	15.13	1.82
4% cal + 7% ceniza	22.28	1.55
5% cal + 10% ceniza	26.10	1.49
7% cal + 13% ceniza	28.20	1.46

Nota. Elaboración propia

Los resultados revelan que, al incorporar mezclas de cal y CCQ al suelo control, hace que el COH aumente significativamente (de 15.13% a 28.20% en la mezcla con 7% cal y 13% ceniza), mientras que la densidad máxima seca disminuya progresivamente (de 1.82 g/cm³ en el suelo control a 1.46 g/cm³ con el tratamiento máximo de estabilizante). Este comportamiento indica que la añadidura de cal y la CCQ induce una reacción de floculación y aglomeración en las partículas de arcilla, lo que incrementa la demanda de agua necesaria para compactar el suelo y reduce la densidad seca lo que sugiere que, el proceso de estabilización está



modificando la estructura interna del suelo, haciéndolo más resistente a la deformación y mejorando su comportamiento mecánico.

4.1.4 CBR (*California Bearing Ratio*)

Este ensayo constituye un método crucial para evaluar la resistencia y capacidad portante de diversos sustratos y materiales en este caso para subrasantes, el ensayo se efectúa siguiendo normativas internacionales. Las normas técnicas más empleadas para este tipo de ensayos son la ASTM D1883 de los Estados Unidos y la NTP 339.145 para nuestro país.

Equipo:

- Comprende tres moldes de forma cilíndrica con sus placas de carga, anillos de retención, discos separadores y trípodes para cada molde calibrados para soportar cargas de 4,5 kg cada uno.
- Pisón de compactación
- Horno con graduación de temperatura.
- Espátula, tamices, bandejas.
- Balanza de precisión.
- Taras para muestras.

Procedimiento del ensayo CBR:

- Preparación de la muestra: El proceso de secado de la muestra se llevará a cabo al aire libre, desgrumando la muestra sin disminuir el tamaño originario de sus partículas. En seguida tamizar el material por la malla de 3/4" (19 mm).



- **Determinación de la DMS y CHO:** La ejecución de la prueba Proctor Modificado, conforme a la NTP 339.141, es un procedimiento estandarizado. En este contexto, la DMS representa el valor máximo de masa por unidad de volumen que un terreno puede adquirir bajo condiciones óptimas de compactación, expresándose en g/cm^3 . Por otro lado, el CHO hace referencia a la medida de agua que debe tener el estrato estudiado para alcanzar la densidad máxima seca.
- **Preparación de especímenes:** Preparación al menos tres especímenes con diferentes fuerzas de compactación (12, 25 y 56 golpes por capa). Compactándose el CBR en cinco capas con el pistón de 10 lbs (4.54 kg) cayendo de 18" (457 mm) de altura.
- **Inmersión de los especímenes:** Colocar una lámina ahuecada con vástago ajustable y pesas sobre la muestra para luego sumergir los moldes en agua durante 96 horas (4 días). Medición del hinchamiento cada 24 horas usando un deformímetro.
- **Ensayo de penetración:** Se ubica el molde en el dispositivo de compresión, alineando el pistón de penetración para ejercer cargas a una tasa uniforme de 1,27 mm por min, equivalente a 0,05 pulgadas. A lo largo de este proceso, se documentó sistemáticamente los valores de fuerza aplicada en relación con los diversos niveles de hundimiento logrados, permitiendo obtener datos precisos sobre la resistencia del suelo bajo condiciones controladas de compresión.
- **Determinación del CHO:** realizada conforme a la NTP 339.127.
- **Cálculos:** densidad húmeda y seca de cada espécimen, valores de esfuerzo para 2.54 mm. (0.1") y 5.08 mm. (0.2") de penetración,



comparando los esfuerzos obtenidos con los esfuerzos estándar de 1000 psi y 1500 psi respectivamente.

- Gráficas: Curva esfuerzo-penetración.
- Cada muestra de molde tuvo tres curvas de esfuerzo- deformación. Los resultados de penetración se consignaron en el eje de las abscisas y los de deformación en el de las ordenadas.
- Los esfuerzos concernientes a una penetración de 0,1 mm de depresión se calcularon en curvas de esfuerzo vs. deformación.
- Para comprobar los índices CBR a 0,1 mm de penetración, se efectúa una división entre los valores obtenidos en la muestra analizada y las desviaciones típicas de la muestra de referencia.
- Los índices CBR a 0,1 pulgadas de penetración se calculan mediante la comparación de los datos alcanzados en la muestra ensayada con los de la muestra de referencia. Este proceso implica dividir las lecturas de carga de la muestra estudiada entre las cargas estándar correspondientes a la muestra de control. La relación resultante, expresada en porcentaje, provee una medida de la capacidad portante del estrato estudiado.

Según cálculos realizados en base a ensayos de CBR elaborados en laboratorio de suelos, se tuvo como datos iniciales, un volumen del molde de 2104.92 cm³, un total de 5 capas con 12, 25 y 56 golpes por cada capa. El peso de la muestra fue de 5200 gr. para cada molde. En los resultados de densidad seca se trabajó con el valor de 1.82 gr/cm³ el cual es la MDS del ensayo de proctor modificado. Esto se puede apreciar en los siguientes cuadros:

Tabla 25*Prueba de compactación (suelo control)*

Contenido de humedad y densidad seca (Suelo control)			
Ensayo N°	1	2	3
número de capas	5	5	5
N° golpes	12	25	56
Peso suelo+molde (gr)	12014	12306	11162
Peso molde (gr)	7998	7962	6761
Peso suelo húmedo compactado (gr)	4016	4344	4401
Volumen del molde (cm ³)	2104.92	2104.92	2104.92
Densidad húmeda (gr/cm ³)	1.91	2.06	2.09
Peso tara (gr.)	52.55	56.65	54.4
Tara + suelo húmedo (gr.)	203.8	196.45	248.55
Tara + suelo seco (gr.)	183.1	179.75	229.95
Peso de agua (gr.)	20.7	16.7	18.6
Peso de suelo seco (gr.)	130.55	123.1	175.55
Humedad (%)	15.86	13.50	10.59
Densidad seca (gr/cm ³)	1.65	1.82	1.89
% Compactación	90.48%	99.93%	103.92%

Nota. Elaboración propia**Tabla 26***Hinchamiento del suelo control*

Lectura acumulada/molde	1		2		3	
	mm	%	mm	%	mm	%
Lectura 0 horas	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Lectura 24 horas	2.94	2.53	0.89	0.77	1.14	0.99
Lectura 48 horas	3.08	2.66	1.27	1.09	1.22	1.05
Lectura 72 horas	3.12	2.69	1.35	1.16	1.27	1.09
Lectura 96 horas	3.13	2.70	1.37	1.18	1.29	1.11

Nota. Elaboración propia

Figura 20

Hinchamiento del suelo control a las 96 horas

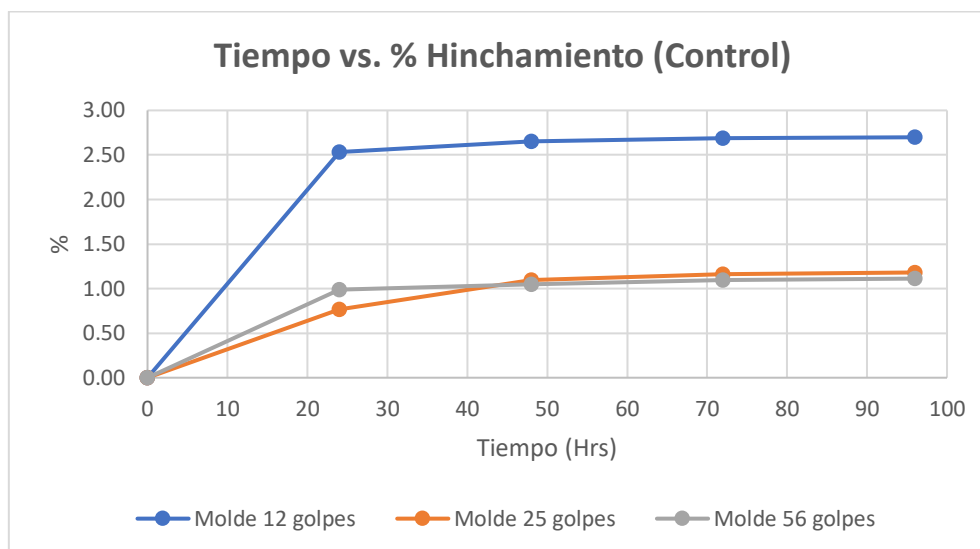


Tabla 27

Penetración y CBR del suelo control

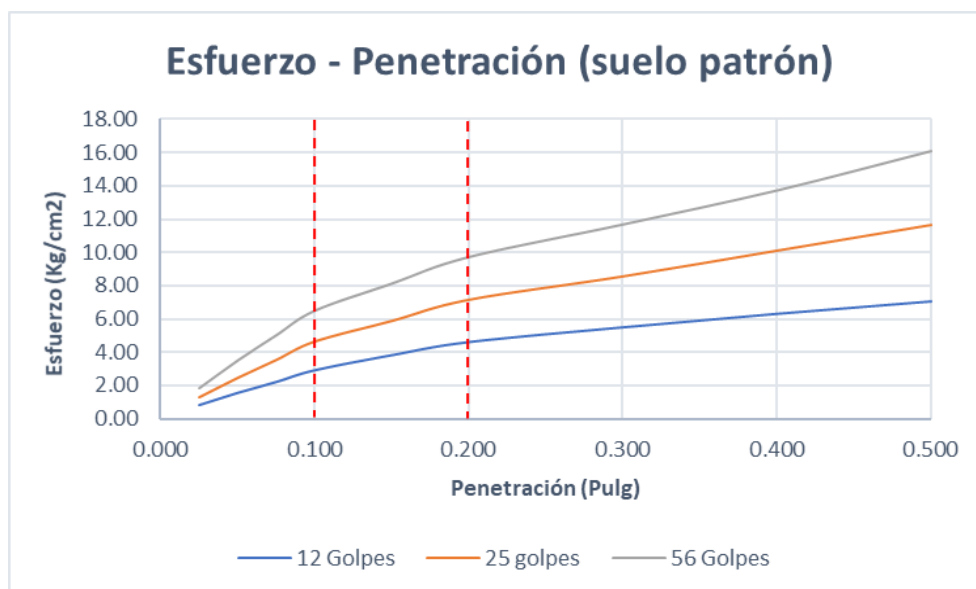
Penetración (Pulg.)	Esfuerzo patrón (kg/cm ²)	Molde N° 1 (12 golpes)			Molde N° 2 (25 golpes)			Molde N° 3 (56 golpes)		
		kg	kg/cm ²	CBR	kg	kg/cm ²	CBR	kg	kg/cm ²	CBR
0.025	17.58	15.4	0.80	4.53	24.8	1.28	7.30	35.2	1.82	10.36
0.050	35.15	29.6	1.53	4.36	47.4	2.45	6.98	67.4	3.49	9.92
0.075	52.73	42.3	2.19	4.15	68.2	3.53	6.69	96.8	5.01	9.50
0.100	70.31	55.8	2.89	4.11	89.7	4.64	6.60	125	6.49	9.22
0.150	87.89	73.3	3.79	4.32	114	5.88	6.69	157	8.12	9.23
0.200	105.46	88.5	4.58	4.34	138	7.15	6.78	188	9.71	9.21
0.300	133.58	106	5.47	4.09	165	8.56	6.41	225	11.67	8.73
0.400	161.71	121	6.28	3.88	195	10.11	6.25	265	13.71	8.48
0.500	182.80	136	7.02	3.84	225	11.65	6.37	311	16.08	8.79

Nota. Elaboración propia

En las curvas de esfuerzo penetración tienen un comportamiento no lineal, típico de suelos arcillosos, donde la resistencia aumenta más rápidamente al inicio y luego la pendiente se suaviza, lo cual es característico en este tipo de suelos.

Figura 21

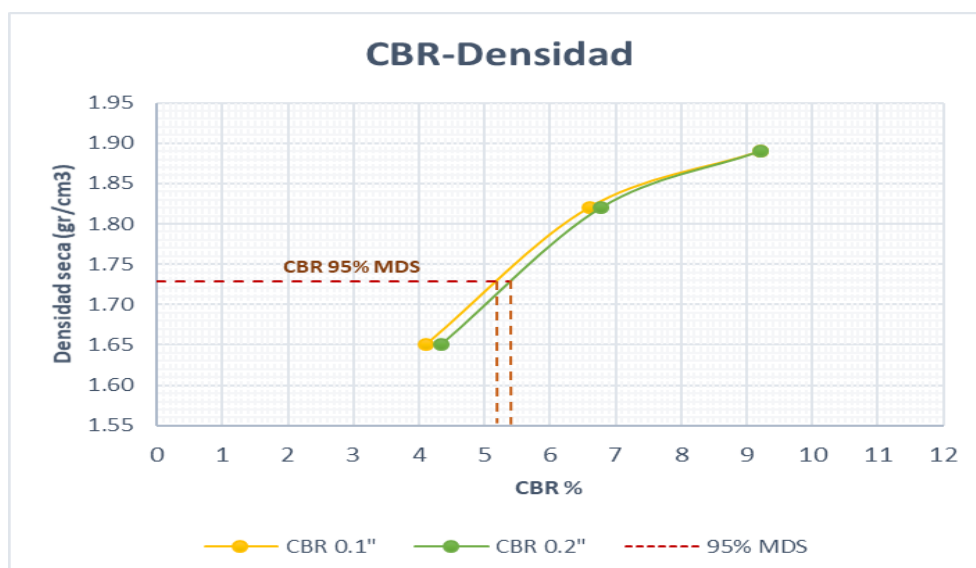
Curva esfuerzo-penetración (suelo control)



Nota. La figura muestra el esfuerzo-penetración a 0.1" y 0.2"

Figura 22

Curvas CBR para el suelo control



Nota. La figura muestra el CBR de diseño al 95% MDS a 0.1" y 0.2"

Tabla 28

CBR del suelo control

Penetración	CBR 95% MDS
0.1"	5.20
0.2"	5.40

Nota. Elaboración propia

Tabla 29*Prueba de compactación Tratamiento 1 (4% cal+7% CCQ)*

Contenido de humedad y densidad seca (Tratamiento 1)			
Ensayo N°	1	2	3
número de capas	5	5	5
N° golpes	12	25	56
Peso suelo+molde (gr)	11796	11947	10746
Peso molde (gr)	7999	7963	6765
Peso suelo húmedo compactado (gr)	3797	3984	3981
Volumen del molde (cm ³)	2104.92	2104.92	2104.92
Densidad húmeda (gr/cm ³)	1.80	1.89	1.89
Peso tara (gr.)	47.6	57.4	55.7
Tara + suelo húmedo (gr.)	191.25	205.7	188.7
Tara + suelo seco (gr.)	163.15	178.65	170.75
Peso de agua (gr.)	28.1	27.05	17.95
Peso de suelo seco (gr.)	115.55	121.25	115.05
Humedad (%)	24.32	22.27	15.59
Densidad seca (gr/cm ³)	1.45	1.55	1.64
% Compactación	93.61%	99.87%	105.57%

Nota. Elaboración propia

Según las anotaciones de los deformímetros, y los cálculos realizados, el nivel de hinchamiento a los 4 días para el tratamiento 1 nos muestra que, para el molde de 12 golpes llegó a un 2.56% respecto de la altura inicial de la muestra, el molde de 25 golpes alcanzó 1.72% de hinchamiento y el molde de 56 golpes alcanzó un hinchamiento de 0.61% respecto de altura inicial, evidenciándose la tendencia a la disminución del hinchamiento con este primer tratamiento. Dicha tendencia también se puede evidenciar en la figura 23.

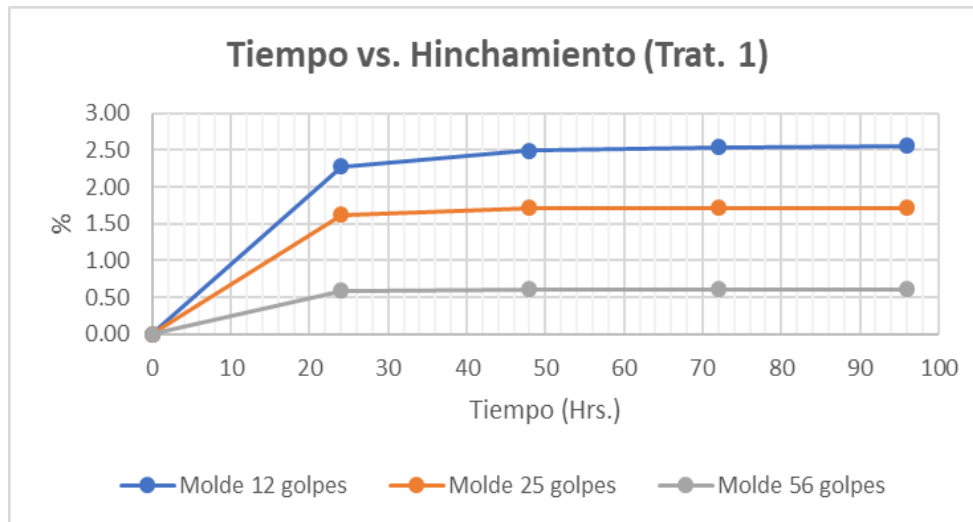
Tabla 30*Hinchamiento del suelo-Tratamiento 1 (4% cal+7% CCQ)*

Lectura acumulada/molde	1		2		3	
	mm	%	mm	%	mm	%
Lectura 0 horas	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Lectura 24 horas	2.64	2.28	1.88	1.62	0.69	0.59
Lectura 48 horas	2.89	2.49	1.94	1.72	0.71	0.61
Lectura 72 horas	2.95	2.54	1.92	1.72	0.71	0.61
Lectura 96 horas	2.97	2.56	1.92	1.72	0.71	0.61

Nota. Elaboración propia

Figura 23

Hinchamiento del suelo (4% cal+7% ceniza)



Nota. Elaboración propia

Tabla 31

Penetración y CBR suelo tratamiento 1 (4% cal+7% CCQ)

Esfuerzo patrón (kg/cm2)	Molde N° 1 (12 golpes)			Molde N° 2 (25 golpes)			Molde N° 3 (56 golpes)		
	kg	kg/cm2	CBR	kg	kg/cm2	CBR	kg	kg/cm2	CBR
17.58	38.5	1.99	11.34	62	3.21	18.25	88.3	4.57	26.00
35.15	74.2	3.84	10.93	119.5	6.19	17.60	168.4	8.72	24.80
52.73	105.8	5.48	10.39	170.2	8.81	16.71	242.2	12.54	23.77
70.31	138.5	7.17	10.20	223.4	11.56	16.45	316.5	16.38	23.30
87.89	182.5	9.45	10.75	294.7	15.25	17.36	417	21.58	24.56
105.46	220.3	11.40	10.81	354.5	18.35	17.40	503.8	26.08	24.73
133.58	262	13.56	10.15	422	21.84	16.35	598.5	30.98	23.19
161.71	301.5	15.61	9.65	485.6	25.13	15.54	688.6	35.64	22.04
182.80	337.1	17.45	9.54	543.6	28.14	15.39	772.4	39.98	21.87

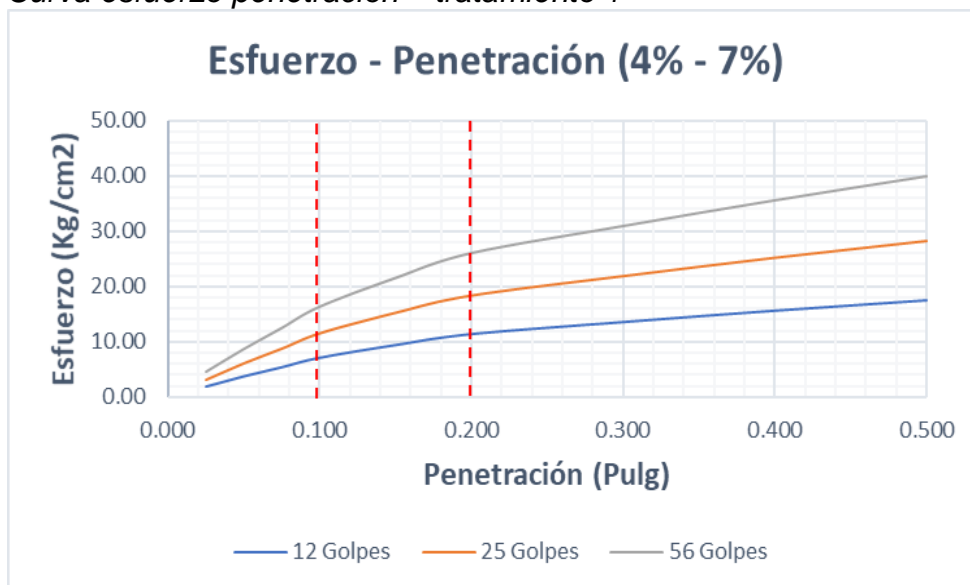
Nota. Elaboración propia

A medida que la penetración aumenta de 0 a 0.5 pulgadas que es todo el rango, el esfuerzo o tensión requerida se eleva de manera constante para los tres niveles de compactación. Esto indica que, a medida que aumenta la profundidad de penetración, se requiere más fuerza para penetrar aún más el suelo estabilizado. En ese sentido, mayores niveles de compactación, representados por el aumento

en el número de golpes por capa, dan como resultado mayores valores de CBR a los mismos niveles de penetración.

Figura 24

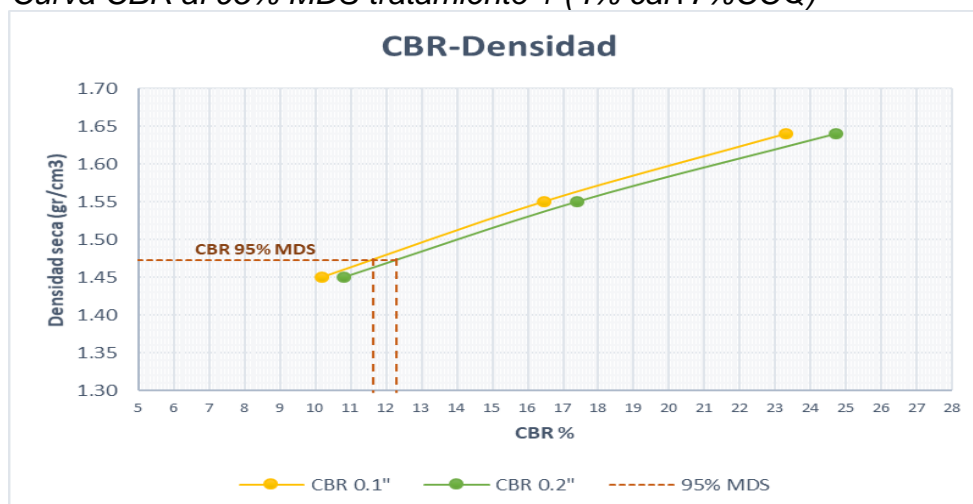
Curva esfuerzo penetración – tratamiento 1



Nota. La figura muestra el esfuerzo-penetración a 0.1" y 0.2

Figura 25

Curva CBR al 95% MDS tratamiento 1 (4% cal+7%CCQ)



Nota. La figura muestra el CBR de diseño al 95% MDS a 0.1" y 0.2"

Según la normativa ASTM D1883, recomienda escoger el mayor valor entre los CBR a 0.1" y 0.2" de penetración, por lo que se selecciona 12.30% como CBR

de diseño, ya que representa mejor la capacidad de soporte del suelo bajo condiciones de carga.

Tabla 32*CBR del suelo con tratamiento 1*

Penetración	CBR al 95% MDS
0.1"	11.65%
0.2"	12.30%

Nota. Elaboración propia

Tabla 33*Prueba de compactación-tratamiento 2 (5% cal+10% CCQ)*

Contenido de humedad y densidad seca (Tratamiento 2)			
Ensayo N°	1	2	3
número de capas	5	5	5
N° golpes	12	25	56
Peso suelo+molde (gr)	11472	11741	10645
Peso molde (gr)	7963	8000	6765
Peso suelo húmedo compactado (gr)	3509	3741	3880
Volumen del molde (cm ³)	2104.92	2104.92	2104.92
Densidad húmeda (gr/cm ³)	1.67	1.78	1.84
Peso tara (gr.)	49.6	53.15	49.4
Tara + suelo húmedo (gr.)	186.65	190.5	190.1
Tara + suelo seco (gr.)	162.75	167.75	176.5
Peso de agua (gr.)	23.90	22.75	13.60
Peso de suelo seco (gr.)	113.15	115.1	121.6
Humedad (%)	21.12	19.35	15.71
Densidad seca (gr/cm ³)	1.38	1.49	1.59
% Compactación	92.38%	99.94%	106.92%

Nota. Elaboración propia

Los niveles de hinchamiento a los 4 días para el segundo tratamiento nos muestran que, para el molde de 12 golpes llegó a un 0.09%, para el molde de 25 golpes alcanzó 0.024% y para el molde de 56 golpes alcanzó un 0.018% de hinchamiento respecto de altura inicial de la muestra, evidenciándose la tendencia aún más a la disminución del hinchamiento con este segundo tratamiento. Dicha tendencia también se puede evidenciar para cada molde en la figura 26.

Tabla 34

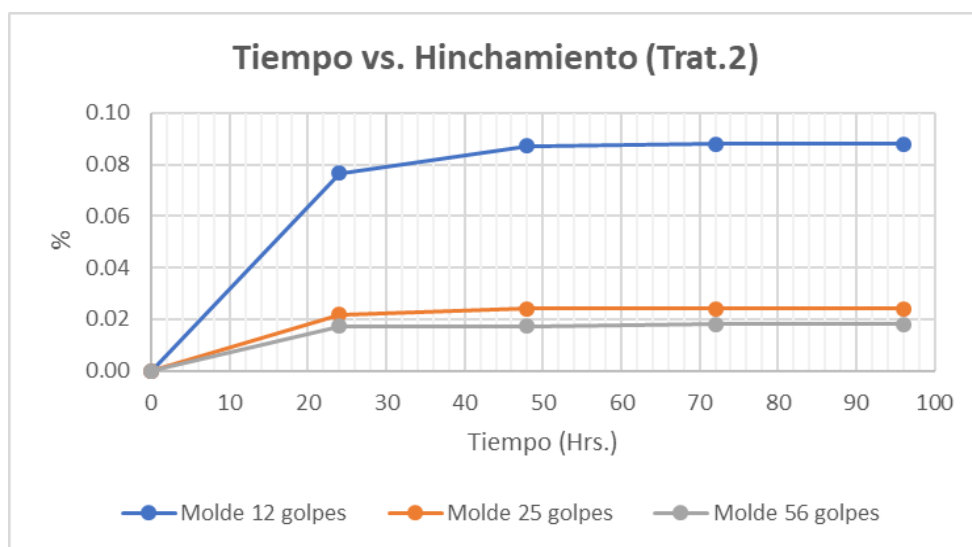
Hinchamiento del suelo-Tratamiento 2 (5% cal+10% CCQ)

Lectura acumulada/molde	1		2		3	
	mm	%	mm	%	mm	%
Lectura 0 horas	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.000
Lectura 24 horas	0.089	0.08	0.03	0.022	0.02	0.017
Lectura 48 horas	0.101	0.09	0.03	0.024	0.02	0.017
Lectura 72 horas	0.102	0.09	0.03	0.024	0.02	0.018
Lectura 96 horas	0.102	0.09	0.03	0.024	0.02	0.018

Nota. Elaboración propia

Figura 26

Curva de hinchamiento del suelo (5% cal+10% CCQ)



Nota. Elaboración propia

Tabla 35

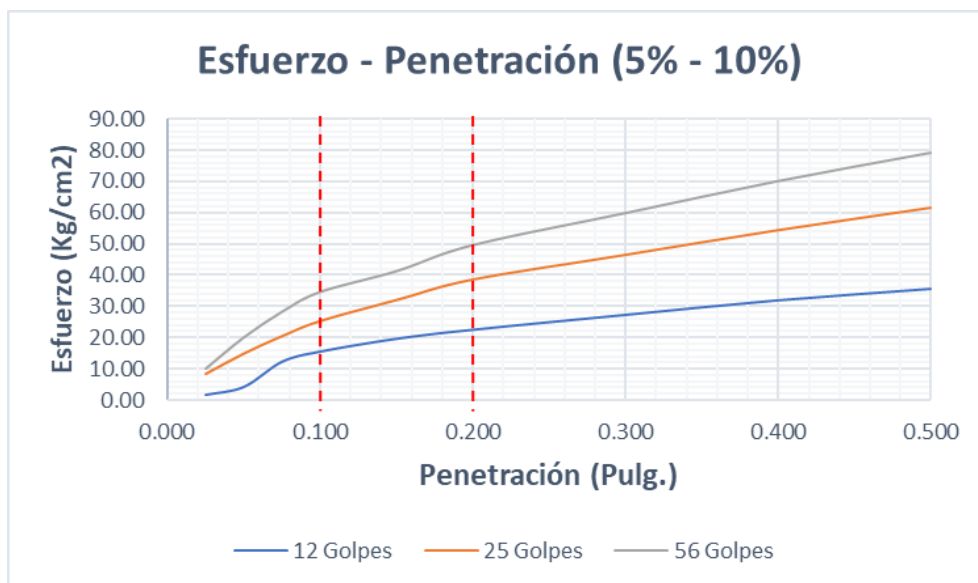
Penetración y CBR suelo-tratamiento2 (5% cal+10% CCQ)

Esfuerzo patrón (kg/cm2)	Molde N° 1 (12 golpes)			Molde N° 2 (25 golpes)			Molde N° 3 (56 golpes)		
	kg	kg/cm2	CBR	kg	kg/cm2	CBR	kg	kg/cm2	CBR
17.58	30.3	1.57	8.92	158.4	8.20	46.64	195.7	10.13	57.62
35.15	79.8	4.13	11.75	284.6	14.73	41.91	389.2	20.14	57.31
52.73	236.5	12.24	23.21	392.5	20.32	38.53	547.4	28.33	53.73
70.31	299.4	15.50	22.04	485.7	25.14	35.76	669.3	34.64	49.27
87.89	379.1	19.62	22.33	615.8	31.87	36.27	798.4	41.33	47.02
105.46	435.5	22.54	21.37	742.3	38.42	36.43	958.6	49.62	47.05
133.58	527.9	27.32	20.46	895.4	46.35	34.70	1156.8	59.88	44.82
161.71	618.1	31.99	19.78	1048.2	54.25	33.55	1354.2	70.09	43.34
182.80	689.3	35.68	19.52	1186.5	61.41	33.60	1528.6	79.12	43.28

Nota. Elaboración propia

Figura 27

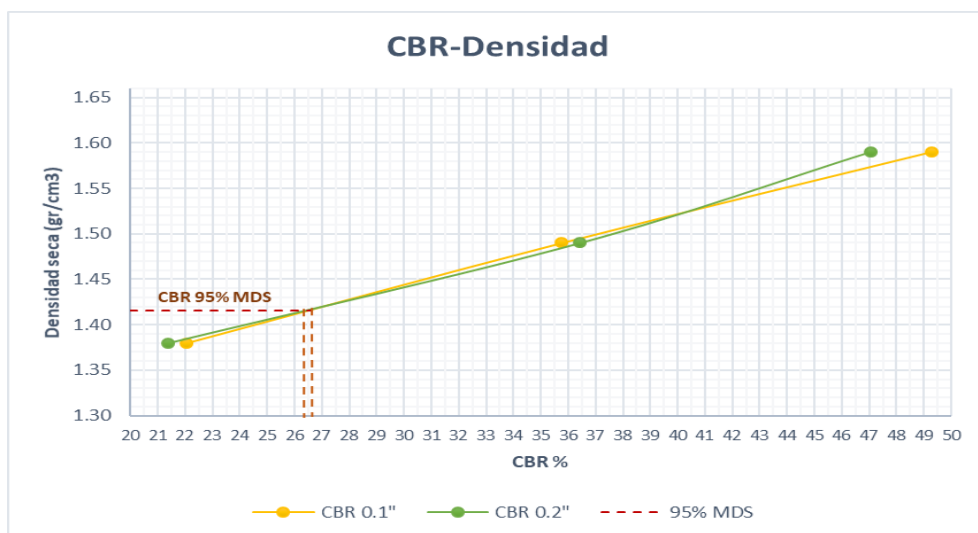
Curva esfuerzo-penetración – tratamiento 2



Nota. Elaboración propia

Figura 28

Curvas CBR al 95%MDS (5% cal+10% CCQ)



Nota. Elaboración propia

Tabla 36

CBR del suelo con Tratamiento 2

Penetración	CBR al 95% MDS
0.1"	26.6%
0.2"	26.4%

Nota. Elaboración propia

Los resultados, muestran una mejora continua en la densidad y la compactación del suelo estabilizado con 7% de cal y 13% de CCQ, especialmente a medida que se incrementa la energía de compactación, mostrando así que, el tratamiento con cal y CCQ ha mejorado significativamente la densidad y la compactación del suelo, destacando la efectividad de la estabilización. Así mismo, todos los tratamientos muestran un hinchamiento mínimo, lo que indica que la estabilización con cal y CCQ ha sido eficaz para reducir la capacidad expansiva del suelo, lo que es un buen indicio de su aplicación para mejorar la estabilidad del suelo en situaciones de humedad prolongada tal como se puede apreciar a continuación:

Tabla 37*Prueba de compactación tratamiento 3 (7% cal+13% CCQ)*

Contenido de humedad y densidad seca (Tratamiento 3)			
Ensayo N°	1	2	3
número de capas	5	5	5
N° golpes	12	25	56
Peso suelo+molde (gr)	11302	11530	10568
Peso molde (gr)	7964	7998	6764
Peso suelo húmedo compactado (gr)	3338	3532	3804
Volumen del molde (cm ³)	2104.92	2104.92	2104.92
Densidad húmeda (gr/cm ³)	1.59	1.68	1.81
Peso tara (gr.)	53.3	55.65	51.35
Tara + suelo húmedo (gr.)	191.8	198.75	201.95
Tara + suelo seco (gr.)	171.65	179.9	180.65
Peso de agua (gr.)	20.15	18.85	21.30
Peso de suelo seco (gr.)	118.35	124.25	129.3
Humedad (%)	17.03	15.16	16.47
Densidad seca (gr/cm ³)	1.36	1.46	1.55
% Compactación	92.81%	99.80%	106.27%

Nota. Elaboración propia

Tabla 38

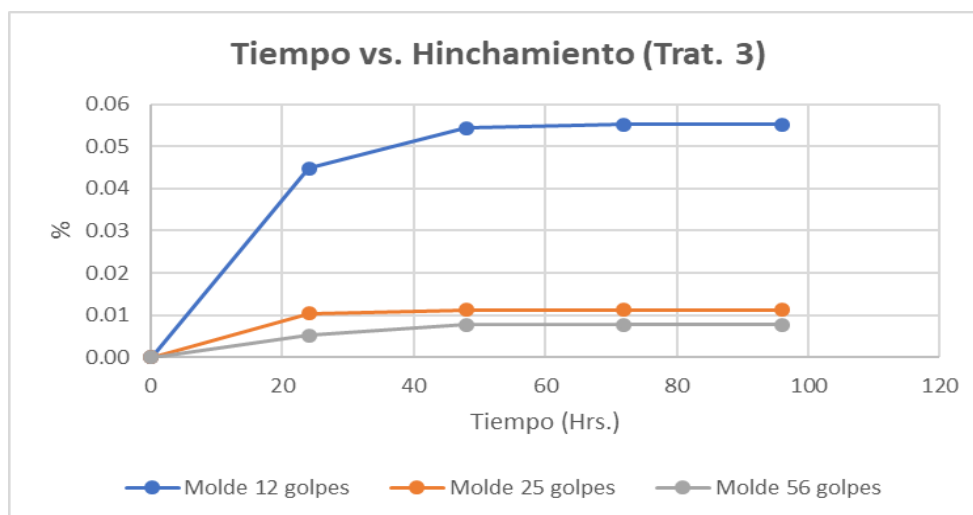
Hinchamiento del suelo-tratamiento 3 (7% cal+13% CCQ)

Lectura acumulada/molde	1		2		3	
	mm	%	mm	%	mm	%
Lectura 0 horas	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.000
Lectura 24 horas	0.052	0.045	0.01	0.010	0.006	0.005
Lectura 48 horas	0.063	0.054	0.01	0.011	0.009	0.008
Lectura 72 horas	0.064	0.055	0.01	0.011	0.009	0.008
Lectura 96 horas	0.064	0.055	0.01	0.011	0.009	0.008

Nota. Elaboración propia

Figura 29

Curva de hinchamiento suelo (7% cal+13% CCQ)



Nota. Elaboración propia

Tabla 39

Penetración y CBR-tratamiento 3 (7% cal+13% CCQ)

Esfuerzo patrón (kg/cm ²)	Molde N° 1 (12 golpes)			Molde N° 2 (25 golpes)			Molde N° 3 (56 golpes)		
	kg	kg/cm ²	CBR	kg	kg/cm ²	CBR	kg	kg/cm ²	CBR
17.58	92.5	4.79	27.23	119.5	6.19	35.18	150.5	7.79	44.31
35.15	184.6	9.55	27.18	239.4	12.39	35.25	295.3	15.28	43.48
52.73	276.8	14.33	27.17	358.6	18.56	35.20	444.2	22.99	43.60
70.31	368.5	19.07	27.13	478.4	24.76	35.22	589.6	30.52	43.40
87.89	458.2	23.72	26.98	595.5	30.82	35.07	741.5	38.38	43.67
105.46	547.8	28.35	26.89	710.8	36.79	34.89	876.5	45.37	43.02
133.58	652.4	33.77	25.28	849.1	43.95	32.90	1045.4	54.11	40.51
161.71	756.8	39.17	24.22	982.2	50.84	31.44	1210.5	62.66	38.75
182.80	845.4	43.76	23.94	1105.2	57.20	31.29	1352.1	69.98	38.28

Nota. Elaboración propia

Figura 30

Curva Esfuerzo-penetración – Tratamiento 3

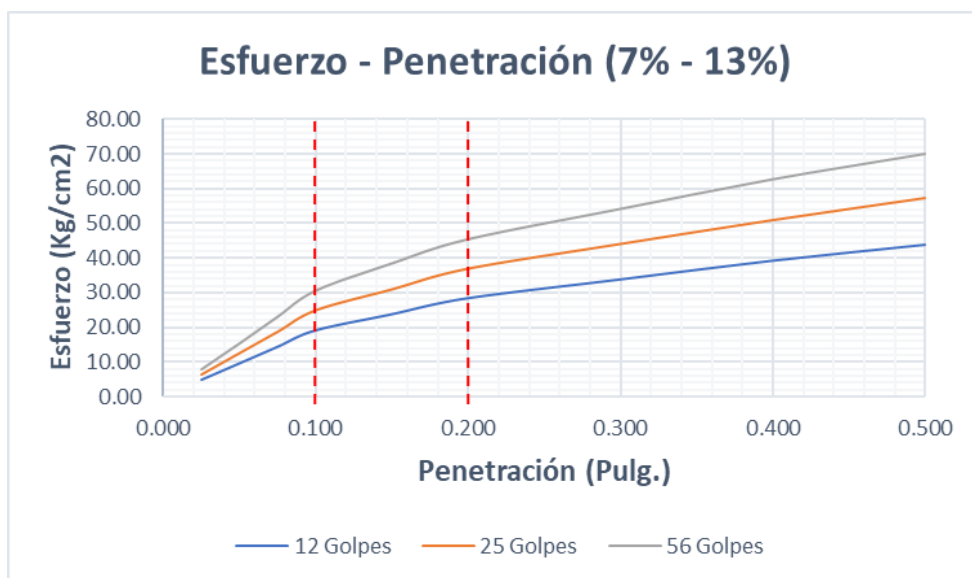
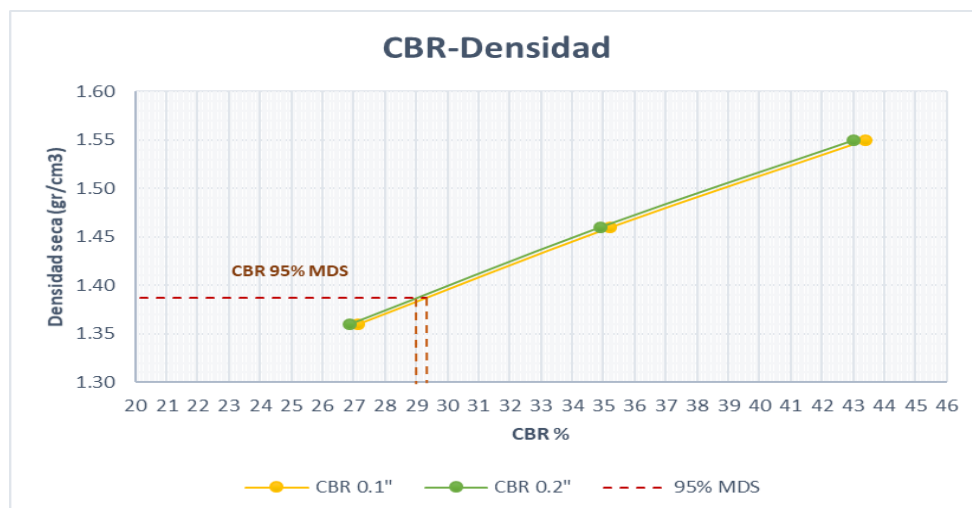


Figura 31

Curva CBR al 95% MDS (7% cal+13% ceniza)



Nota. Elaboración propia

Tabla 40

CBR Suelo con tratamiento 3

Penetración	CBR al 95% MDS
0.1"	29.35%
0.2"	29.00%

Nota. Elaboración propia

Los resultados del ensayo CBR (California Bearing Ratio) a 0.1" de penetración muestran un incremento significativo en la capacidad de soporte del suelo cohesivo de tipo CH al aplicar tratamientos de estabilización con cal y CCQ. En el suelo control, el CBR al 95% de la MDS es de 5.40%, indicando una resistencia baja y típica de suelos arcillosos sin tratamiento. Con el tratamiento de 4% cal y 7% ceniza, el CBR aumenta a 12.30%, lo que evidencia un mejoramiento inicial en la capacidad de carga debido a la reacción inicial de la cal con los minerales de arcilla. Al incrementar la proporción a 5% cal y 10% ceniza, el CBR sube a 26.60%, y alcanza 29.35% con el tratamiento de 7% cal y 13% ceniza, lo cual sugiere una estabilización óptima, esto se aprecia en la tabla siguiente:

Tabla 41

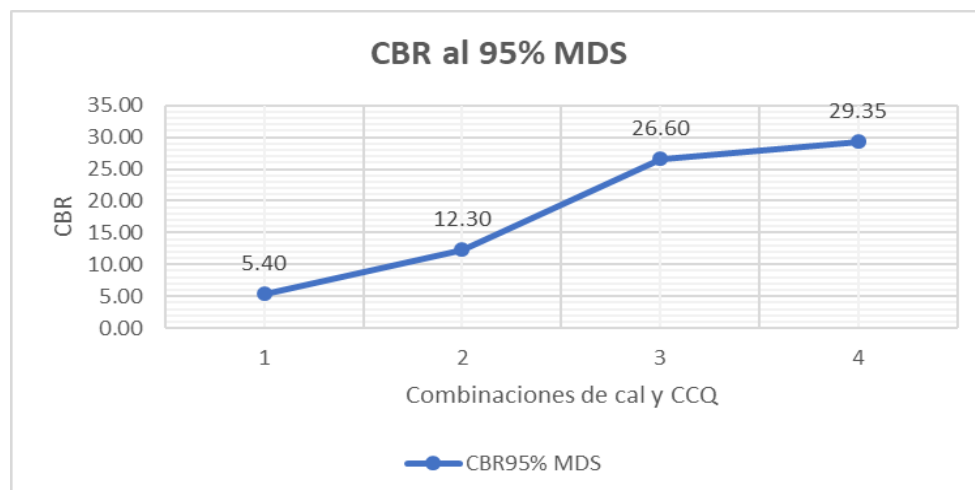
Resumen CBR de diseño para suelos estabilizados

CBR de Diseño	
Tratamientos	CBR95% MDS
control	5.40
4% cal y 7% ceniza	12.30
5% cal y 10% ceniza	26.60
7% cal y 13% ceniza	29.35

Nota. Elaboración propia

Figura 32

CBR de diseño vs. Combinaciones de cal y CCQ



Nota. Elaboración propia



Los resultados finales del ensayo CBR y los datos de esfuerzo-penetración confirman que, mientras mayor sea el porcentaje de cal y CCQ, mejora la capacidad portante del suelo arcilloso, es así que, en el primer tratamiento ya muestra un incremento del CBR de diseño con un valor del 12.30% a comparación del suelo control que solo tuvo un 5.40%. Del mismo modo, se observa un aumento sustancial en la resistencia del suelo para el tercer tratamiento que consta de añadir el 7% de cal y 13% de CCQ, el cual muestra el mejor desempeño para el CBR de diseño con un 29.35% con respecto a los demás tratamientos realizados, lo que indica que es la combinación de estabilizantes más óptimo.

4.2. Discusión

La estabilización mediante la añadidura de cal y CCQ, halla respaldo en la literatura científica. Según Das (2015) los materiales cementantes como la cal tienen un efecto significativo en la modificación de propiedades geotécnicas de suelos cohesivos. También la interacción química entre los elementos del suelo y los estabilizantes genera una transformación estructural que incrementa las características físico-mecánicas.

La reducción de límites de Atterberg corrobora lo señalado por Das (2015), quien indica que la cal provoca una floculación-aglomeración de partículas arcillosas, disminuyendo su plasticidad. En ese sentido, en el transcurso de estabilización del suelo arcilloso de la presente investigación tiene la misma tendencia de investigaciones realizadas es así que, el índice de plasticidad se reduce hasta un 15% con el incremento de ceniza de bagazo según la investigación de (Aquino, 2020). Del mismo modo las adiciones de cal y ceniza de quinua son menores al 11% de índice de plasticidad cumpliendo con los requerimientos de



calidad para un suelo de subrasante (Almonacid, 2019). Asimismo este índice se reduce al incrementar progresivamente ceniza de carbón, de un 24% hasta llegar a un 16% de índice de plasticidad según indica (Chilcon y Leon, 2020).

Para los ensayos de proctor modificado, investigaciones realizadas muestran que, para el contenido de humedad óptimo, este incrementa en el suelo natural de un 27% a un 30% con la máxima adición de ceniza de carbón el cual fue de 24%, tal como indica en su investigación (Chilcon y Leon, 2020). En cuanto a la MDS, generó incrementos en 8.9% con mezclas de cal y ceniza de quinua según (Almonacid, 2019). Contrario a la presente investigación donde se reduce la MDS a medida que se incrementan los aditivos de estabilización, esto se debe a las reacciones puzolánicas de la cal y la CCQ que modifican la microestructura del suelo, generando una matriz más porosa con mayor capacidad de retención de agua.

Respecto a los resultados de CBR, se muestran que el con un 15% de ceniza de bagazo de caña de azúcar el cual categoriza como óptimo, el CBR de diseño incrementa a un 22.27%, esto según investigó (Aquino, 2020). Del mismo modo para una mezcla de 7% de cal y 15% de ceniza de quinua, muestra un incremento en el CBR al 95% de la MDS de 20.75% a comparación del suelo natural que solo se obtuvo un 11%, esto según investigó (Almonacid, 2019). En ese sentido, también con una mezcla de 5% de cal y 15% de cenizas de castaña se encontró que el CBR de diseño al 95% de la MDS, aumenta a un 24% a comparación del suelo natural que muestra un CBR de 7% tal como indica en sus resultados (Quispe y Tarifa, 2022).



CONCLUSIONES

- Primera:** Se determinó que, la adición de cal y cenizas de cáscara de quinua tiene efectos positivos en la estabilización de suelos cohesivos a nivel de subrasante. Los resultados muestran una mejora sustancial en las propiedades físico mecánicas del suelo arcilloso.
- Segunda:** Se evaluó los efectos que produce las dosificaciones con la adición de cal y ceniza de cáscara de quinua, el cual disminuyó el índice de límite líquido (LL) del suelo arcilloso, pasando de 59.22% en el suelo natural hasta 33.68% con la adición de 7% de cal y 13% de CCQ. Así mismo, para el IP este pasó de 31.07% al 15.18%. lo que indica una estructura de suelo más estable. Estos cambios en los límites de consistencia destacan la eficacia de la estabilización con cal y ceniza de cáscara de quinua para transformar un suelo inicialmente expansivo y de alta plasticidad en un material más estable y adecuado para aplicaciones en la construcción de vías más sostenibles en el tiempo.
- Tercera:** Se evaluó los efectos que produce las dosificaciones de cal y ceniza de cáscara de quinua el cual disminuyó la máxima densidad seca de 1.82 g/cm³ en el suelo natural a 1.46 g/cm³ en el tercer tratamiento adicionando 7% de cal y 13% de CCQ, este comportamiento indica que la adición de estos estabilizantes induce una reacción de floculación y aglomeración en las partículas de arcilla. El COH incrementó a medida que se adicionaba estabilizantes hasta 28.20% con respecto al suelo natural que fue de 15.13%, este incremento sugiere que la presencia de cal y CCQ reduce la capacidad del suelo



para retener agua, esto debido a la reacción de hidratación inicial de los minerales de arcilla y la formación de compuestos cementantes haciéndolo más resistente a la deformación y mejorando su comportamiento mecánico.

Cuarta: Se evaluó los efectos que produce dosificaciones de cal y ceniza de cáscara de quinua y se observó un incremento en los valores de CBR al 95% de la MDS, pasando de 5.40% en el suelo natural hasta 29.35% con el tercer tratamiento que consta de 7% de cal y 13% de CCQ, haciendo un total del 20% de estabilizantes respecto del peso total de la muestra. Este incremento progresivo en el CBR es atribuible a la formación de compuestos cementantes que incrementan la cohesión y reducen la plasticidad, lo que mejora significativamente el soporte del suelo, respaldando la eficacia de la estabilización con cal y CCQ para mejorar suelos arcillosos, proporcionando un aumento de hasta cinco veces en la capacidad de carga, aspecto clave en aplicaciones de diseño de pavimentos. Esto debido al sílice que es un compuesto de la CCQ, el cual se identifica como un material puzolánico de alto potencial reactivo con propiedades cementantes. Así mismo, las combinaciones de cal y CCQ, inhiben el carácter expansivo del suelo reduciéndose de 3.2% en el suelo control a 0.7% con la máxima añadidura de estabilizantes, indicando una mayor estabilidad volumétrica.



RECOMENDACIONES

- Primera:** Se recomienda implementar la práctica de estabilización de suelos cohesivos con cal y ceniza de cáscara de quinua en proyectos pilotos de infraestructura vial en el distrito de San Miguel. Asimismo, realizar estudios sobre la optimización del paso de preparación de ceniza de cascarilla de quinua, buscando métodos que maximicen sus propiedades puzolánicas, asimismo, es importante realizar estudios de durabilidad a largo plazo, sometiendo los suelos estabilizados a condiciones climáticas extremas típicas de la región de Puno.
- Segunda:** Se recomienda realizar estudios adicionales con dosis intermedias de cal y CCQ, para determinar con mayor precisión la proporción óptima que maximice la densidad seca y optimice el contenido de humedad.
- Tercera:** Se recomienda llevar a cabo ensayos de CBR en condiciones de saturación y después de ciclos de humedecimiento y secado, para evaluar la estabilidad a largo plazo de los suelos tratados. También, es aconsejable realizar ensayos de CBR in situ en tramos de prueba estabilizados, para comparar los resultados de laboratorio con el comportamiento real en campo.
- Cuarta:** Se sugiere estudiar la evolución de los límites de Atterberg a lo largo del tiempo en suelos estabilizados, para determinar si las mejoras observadas se mantienen o incluso aumentan con el paso del tiempo. Así mismo, investigar la correlación entre los cambios en los límites de consistencia y otras propiedades importantes del suelo, como la resistencia al corte o la permeabilidad.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AASHTO. (2018, abril 24). AASHTO LRFD Bridge Design Specifications (8th Edition, 2017). *AportesIngeCivil | Tutoriales y cursos de AutoCAD Civil 3D*.
<https://aportesingecivil.com/aashto-lrfd-bridge-design-specifications-8th-edition-2017/>
- Almonacid, I. (2019). Estabilización de subrasante mediante cal y ceniza de quinua en suelos del centro poblado Viñas, Tayacaja, Huancavelica. *Universidad Peruana Los Andes*.
<http://repositorio.upla.edu.pe/handle/20.500.12848/1916>
- Aquino, M. A. (2020). *Estabilización de suelos con ceniza de bagazo de caña de azúcar para su uso en subrasantes en el distrito de Laredo—Trujillo, La Libertad 2018*. [Universidad Privada de Trujillo].
<http://181.176.219.234/handle/UPRIT/280>
- Arias, F. G. (2012). *El Proyecto de Investigación. Introducción a la Metodología Científica. 6ta. Edición*. Fidas G. Arias Odón.
- Cajaleon, O., & Mondragon, D. (2018). *Estabilización de suelos arcillosos agregando cenizas de cáscaras de arroz para la subrasante en el km+ 17 Pimpingos, Choros 2018* [Universidad César Vallejo].
<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/40609>
- Carbajal, P., & Paul, D. (2019). Influencia del aditivo cloruro de sodio como estabilizante de la subrasante de la carretera tramo cruce El Porongo—Aeropuerto—Cajamarca. *Universidad Privada del Norte*.
<https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/15027>
- Castillo, B. (2016). *Estabilización de suelos arcillosos de Macas con valores de CBR menores al 5% y Límites Líquidos superiores al 100%, para utilizarlos*



como subrasantes en carreteras.

<https://core.ac.uk/download/pdf/288577885.pdf>

Castro, A. (2017). *Estabilización de suelos arcillosos con ceniza de cascara de arroz para el mejoramiento de subrasante* [Universidad Nacional de Ingeniería]. <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/10054>

Chilcon, R., & Leon, G. (2020). *Evaluación de estabilización de suelos arcillosos aplicando ceniza de carbón en la subrasante de de la Av. Cuzco, Distrito de San Martín de Porres, 2020* [Universidad César Vallejo].
<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/57212>

Das, B. (2015). *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica* (Cuarta).
https://www.academia.edu/33809543/Fundamentos_De_Ingenier%C3%ADa_Geot%C3%A9cnica_Braja_M_Das_4ta_Edici%C3%B3n_

Duque, G. (2014). *Mecánica de suelos.*

Fonseca, A. M., Piratova, A. M., & Piratova, A. M. (2019). *Estabilización de suelos.* Ediciones de la U.

García Restrepo, A. L. (2022). *Estabilización de suelos con cal como una alternativa viable para la construcción y rehabilitación de caminos rurales en Colombia.* Universidad Nacional Abierta y a Distancia.

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la investigación.*

Hidalgo, F., & Saavedra, J. A. (2020). *Análisis de la adición de cáscara de arroz y bagazo de caña de azúcar en la subrasante de pavimentos para la estabilización de suelos arcillosos en el departamento de San Martín* [Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC)].
<https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/652531>



- Huancoillo. (2017). *Mejoramiento de suelo arcilloso con ceniza volante y cal para su uso como pavimento a nivel de afirmado en la carretera desvío Huancané – Chupa – Puno'* [Universidad Nacional del Altiplano].
<http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/6963>
- Hurtado, J. E. A. (1996). *Terzaghi y la mecánica de suelos*.
- Jara Hanco, J. (2024). *Estabilización de suelos arcillosos incorporando cenizas de madera (aserrín), en su comportamiento mecánico—Deformacional para el mejoramiento de la subrasante, de las vías de la urbanización las gardenias de la ciudad de Juliaca*. [Universidad Nacional del Altiplano].
http://tesis.unap.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14082/21196/Jara_Hanco_Juan_Arcadio.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Juárez, E. (2005). *Mecánica de suelos (I)*.
<https://veteranos1927.wordpress.com/wp-content/uploads/2014/05/mecanica-de-suelos-tomo-1-juarez-badillo.pdf>
- Livise Berrio, J. V. (2023). *Estabilización química de suelo con cal para el mejoramiento de sub base del tramo km 08+000 al 10+000 de la carretera Puno – Mañazo* [Universidad Nacional del Altiplano].
http://tesis.unap.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14082/19456/Livise_Berrio_Juan_Vladimir.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Llano, E., Ríos, D., & Restrepo, G. (2020). Evaluación de tecnologías para la estabilización de suelos viales empleando intemperismo acelerado. Una estrategia de análisis de impactos sobre la biodiversidad. *TecnoLógicas*, 23(49), 185-199. <https://doi.org/10.22430/22565337.1624>



- Marcelo, V. (2020). *Estabilización de suelos arcillosos aplicando cáscara de huevo y cal, carretera Cerro de Pasco – Yanahuanca, 2019* [Universidad César Vallejo]. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/60200>
- Mendoza, E., Ayala, L., Alonso-Guzman, E., & Sánchez Calvillo, A. (2022). *Cal química para la estabilización de suelos arcillosos*.
- Moale, A., & Rivera, E. (2019). *Estabilización química de suelos arcillosos con cal para su uso como subrasante en vías terrestres de la localidad de Villa Rica* [Pregrado, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC)]. <https://doi.org/10.19083/tesis/648846>
- Morales, K. L. (2015). *Zonificación mediante el sistema unificado de clasificación de suelos y capacidad portante para la construcción de viviendas unifamiliares en la ciudad satélite-Huacho 2019*. <https://repositorio.unjfsc.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14067/3232/MORALES%20CHILET%20KEVIN%20LUIS.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- MTC. (2014). *Manual de carreteras sección suelos y pavimentos*. https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/MTC%20NORMAS/ARCH_PDF/MAN_7%20SGGP-2014.pdf
- Oviedo, F. (2023). *Evaluación de la sub rasante empleando cal en los suelos cohesivos de la urbanización corazón de Jesús del distrito de Socabaya-Arequipa*. Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez.
- Petry, T., & Little, D. (2002). Review of Stabilization of Clays and Expansive Soils in Pavements and Lightly Loaded Structures—History, Practice, and Future. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 14(6), 447-460. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0899-1561\(2002\)14:6\(447\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0899-1561(2002)14:6(447))



Quispe, J., & Tarifa, W. (2022). *Estabilización de suelos arcillosos con cal y cenizas de cáscara de castaña para la subrasante en la Av. Circunvalación, Tambopata 2022* [Universidad César Vallejo].

<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/86568>

Ramos, J. M. B., Calderón, C. S., Junes, M. E. R., Olivares, L. R., Torres, C. A. G., Larrea, M. E. C., Romero, C. A., Muñoz, J. C. M., Vargas, E. U., Vara, E. H., Ballvé, E. C., Godoy, J. A., & Minagri, A. (2015). *Situación Actual y Perspectivas en el Mercado Nacional e Internacional al 2015*. 68.

Silva Bermejo, J. C. (2019). Influencia de la adición de la mezcla ceniza volante de cascarilla de cebada con cal en las propiedades físicas y mecánicas en el suelo de Buenos aires distrito de Victor Larco Herrera -Trujillo—La Libertad-2018. *Universidad Privada de Trujillo*.

<http://181.176.219.234/handle/UPRIT/180>



ANEXOS



Anexo 1. Matriz de consistencia

ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS A NIVEL DE SUBRASANTE CON APLICACIÓN DE CAL Y CENIZA DE CÁSCARA DE QUINUA EN EL DISTRITO DE SAN MIGUEL, SAN ROMÁN PUNO

Problemas	Objetivos	Hipótesis	Variables	Indicadores	Valores finales/Escala	Tipo de variable	Metodología	Población y muestra
<p>PG. ¿Cuáles son los efectos de la adición de cal y cenizas de cáscara de quinua en la estabilización de suelos arcillosos a nivel de subrasante en el distrito de San Miguel?</p> <p>PE1. ¿Cuáles son los efectos que producen la adición de cal y ceniza de cáscara de quinua en los ensayos de límites de consistencia en suelos arcillosos a nivel de subrasante?</p> <p>PE2. ¿Cuáles son los efectos que producen las dosificaciones de cal y ceniza de cáscara de quinua en suelos arcillosos a nivel de subrasante mediante los ensayos de Proctor Modificado?</p> <p>PE3. ¿Cuáles son los efectos que producen las dosificaciones de cal y ceniza de cáscara de quinua en suelos arcillosos a nivel de subrasante mediante los ensayos de CBR?</p>	<p>OG. Determinar los efectos de la adición de cal y cenizas de cáscara de quinua en la estabilización de suelos arcillosos a nivel de subrasante en el distrito de San Miguel.</p> <p>OE1. Evaluar los efectos que produce las dosificaciones de cal y ceniza de cáscara de quinua en los ensayos de límites de consistencia en suelos arcillosos a nivel de subrasante.</p> <p>OE2. Evaluar los efectos que produce las dosificaciones de cal y ceniza de cáscara de quinua en suelos arcillosos a nivel de subrasante mediante los ensayos de Proctor Modificado.</p> <p>OE3. Evaluar los efectos que produce las dosificaciones de cal y ceniza de cáscara de quinua en suelos arcillosos a nivel de subrasante mediante los ensayos de CBR.</p>	<p>HG. La aplicación de cal y cenizas de cáscara de quinua tiene influencia positiva, mejorando las propiedades físico-mecánicas del suelo a nivel de sub rasante en el distrito de San Miguel.</p> <p>HE1. El incremento consecutivo de cal y cenizas de cáscara de quinua contribuirá a la disminución de su plasticidad, experimentando una mejora en la estabilización del suelo arcilloso.</p> <p>HE2. La adición de cal al 7% y ceniza de cáscara de quinua al 13% en la muestra de suelo a nivel de subrasante, presentará una mejora en la máxima densidad seca en comparación a la muestra patrón.</p> <p>HE3. El incremento de las proporciones de los componentes de cal y ceniza de cáscara de quinua mejora la capacidad portante y su estabilización del suelo arcilloso a nivel de subrasante.</p>	<p>Variable Independiente</p> <p>Cantidad de cal Cantidad de ceniza de cáscara de quinua.</p> <p>Variable Dependente</p> <p>1. Propiedades físico-mecánicas del suelo arcilloso</p>	<p>Porcentaje (%)</p> <p>Porcentaje (%)</p> <p>1. Límites de Atterberg 2. Proctor Modificado 3. CBR.</p>	<p>Nominal</p> <p>Nominal</p> <p>1. LL, LP, IP 2. MDS, W% 3. %, gr/cm3, mm.</p>	<p>Numérica Continua</p> <p>Numérica Continua</p> <p>Numérica Continua</p>	<p>Enfoque: cuantitativo</p> <p>Nivel: explicativo</p> <p>Diseño: cuasi-experimental</p>	<p>Población: está conformada por las unidades de suelo a nivel subrasante examinándose los suelos descritos dentro de la jurisdicción del distrito de San Miguel.</p> <p>Muestra: Las muestras de suelo obtenidas de calicatas para el grupo de estudio.</p>



Anexo 2. Cuadros de ensayo proctor modificado-Suelo control

N° molde	U.M.	1	2	3	4				
Peso suelo húmedo+molde	gr.	5947	6020	6026	6013				
Peso molde	gr.	4146	4146	4146	4146				
Peso suelo húmedo	gr.	1801	1874	1880	1867				
Densidad suelo húmedo	gr/cm3	2.02	2.10	2.10	2.09				
Muestra	U. M.	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.
Peso suelo húmedo+cápsula	gr.	231.3	225.4	230.5	221.1	222.1	252.4	202.1	223.1
Peso suelo seco+cápsula	gr.	212.4	202.6	206.9	198.8	196.8	224.4	178.5	196.1
Peso de agua	gr.	18.9	22.8	23.6	22.3	25.3	28.0	23.6	27.0
Peso de la cápsula (tara)	gr.	47.3	50.2	52.9	49.4	54.8	58.2	58.3	50.8
Peso del suelo seco	gr.	165.1	152.4	154.0	149.4	142.0	166.2	120.2	145.3
% humedad	%	11.45	14.96	15.32	14.93	17.82	16.85	19.63	18.58
promedio de humedad	%	13.20	15.13	17.33	19.11				
Densidad del suelo seco	gr/cm3	1.781	1.822	1.794	1.755				

Anexo 3. Cuadros de ensayo proctor modificado suelo con tratamiento 1 (4% cal y 7% CCQ)

N° molde	U.M.	1	2	3	4				
Peso suelo húmedo+molde	gr.	5820	5839	5844	5836				
Peso molde	gr.	4146	4146	4146	4146				
Peso suelo húmedo	gr.	1674	1693	1698	1690				
Densidad suelo húmedo	gr/cm3	1.87	1.90	1.90	1.89				
Muestra	U.M.	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.
Peso suelo húmedo+cápsula	gr.	207.1	215.2	210.3	216.1	214.6	217.8	216.3	221.1
Peso suelo seco+cápsula	gr.	180.7	184.1	181.9	185.7	186.2	183.8	184.6	188.7
Peso de agua	gr.	26.4	31.1	28.4	30.4	28.4	34	31.7	32.4
Peso de la cápsula (tara)	gr.	49.4	51.3	50.2	53.5	48.9	51.5	55.8	51.2
Peso del suelo seco	gr.	131.3	132.8	131.7	132.2	137.3	132.3	128.8	137.5
% humedad	%	20.11	23.42	21.56	23.00	20.68	25.70	24.61	23.56
promedio de humedad	%	21.76	22.28	23.19	24.09				
Densidad del suelo seco	gr/cm3	1.539	1.550	1.543	1.524				



Anexo 4. Cuadros de ensayo proctor modificado suelo con tratamiento 2 (5% cal y 10% CCQ)

N° molde	U.M.	1		2		3		4	
Peso suelo húmedo+molde	gr.	5790		5810		5825		5832	
Peso molde	gr.	4146		4146		4146		4146	
Peso suelo húmedo	gr.	1644		1664		1679		1686	
Densidad suelo húmedo	gr/cm3	1.84		1.86		1.88		1.89	
Muestra	U.M.	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.
Peso suelo húmedo+cápsula	gr.	215.3	223.7	214.7	212.2	216.2	212.7	223.8	220.7
Peso suelo seco+cápsula	gr.	182.5	189.7	179.5	183.1	183.5	178.3	186.8	183.9
Peso de agua	gr.	32.8	34	35.2	29.1	32.7	34.4	37	36.8
Peso de la cápsula (tara)	gr.	49.5	51.2	53.1	55.2	50	54.1	48.5	49.2
Peso del suelo seco	gr.	133	138.5	126.4	127.9	133.5	124.2	138.3	134.7
% humedad	%	24.66	24.55	27.85	22.75	24.49	27.70	26.75	27.32
promedio de humedad	%	24.61		25.30		26.10		27.04	
Densidad del suelo seco	gr/cm3	1.477		1.487		1.490		1.486	

Anexo 5. Cuadros de ensayo proctor modificado suelo con tratamiento 3 (7% cal y 13% CCQ)

N° molde	U.M.	1		2		3		4	
Peso suelo húmedo+molde	gr.	5782		5805		5820		5825	
Peso molde	gr.	4146		4146		4146		4146	
Peso suelo húmedo	gr.	1636		1659		1674		1679	
Densidad suelo húmedo	gr/cm3	1.83		1.86		1.87		1.88	
Muestra	U.M.	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.
Peso suelo húmedo+cápsula	gr.	228.4	224.5	226.3	221.1	222.6	227.9	228.7	220.9
Peso suelo seco+cápsula	gr.	190.3	187.6	189.7	183.8	185.1	189.2	190.8	182.9
Peso de agua	gr.	38.1	36.9	36.6	37.3	37.5	38.7	37.9	38
Peso de la cápsula (tara)	gr.	47.3	50.2	50.6	53.5	50	54.1	57.8	56.1
Peso del suelo seco	gr.	143	137.4	139.1	130.3	135.1	135.1	133	126.8
% humedad	%	26.64	26.86	26.31	28.63	27.76	28.65	28.50	29.97
promedio de humedad	%	26.75		27.47		28.20		29.23	
Densidad del suelo seco	gr/cm3	1.445		1.457		1.462		1.454	

Anexo 6. Panel fotografico de extracción de suelo arcilloso y estabilizante de CCQ



Excavación de la calicata



Extracción del suelo arcilloso



Verificación de suelo arcilloso



Tamizado de CCQ



CCQ despues de incinerar



CCQ incinerado

Anexo 7. Panel fotografico ensayos de Atterberg



Muestras en diferentes combinaciones



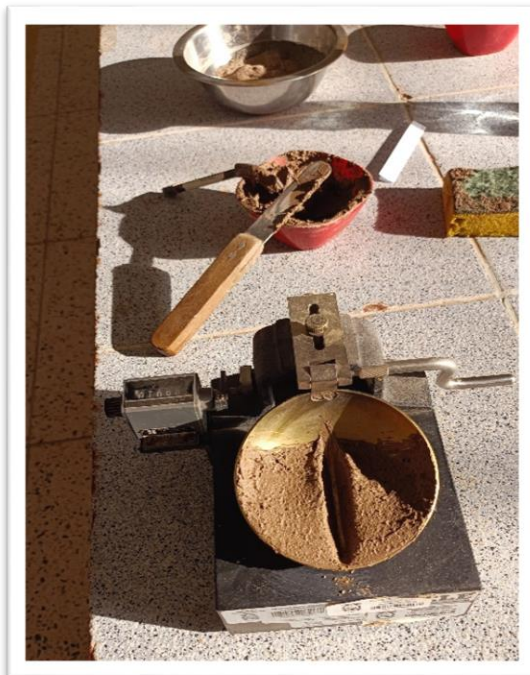
tamizado en la malla #200



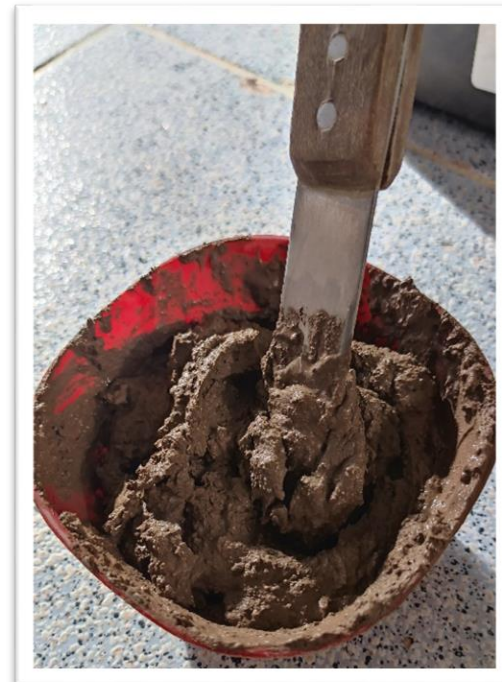
Preparación de la muestra para LL



Preparación de la muestra para IP



Ensayo de casa grande LL



Preparación para LP

Anexo 8. Panel fotográfico ensayo proctor modificado



Preparación para la humedad



Suelo compactado



Preparación de la muestra



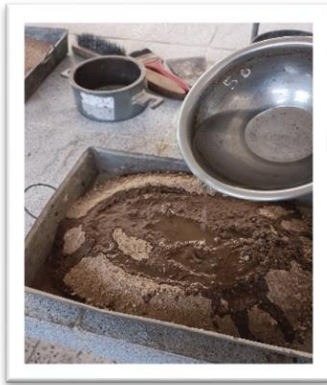
Combinaciones de cal y CCQ



Mezcla de las combinaciones



Mezclado de suelo cal y CCQ



Humedecido del suelo



Pesado del molde



Enrasado del suelo

Anexo 9. Panel fotográfico de ensayo de relación de soporte de california (CBR)



Homogenización de la muestra



Moldes para 12, 25 y 56 golpes



Presentación de dosificaciones



Separación para las 5 capas



Compactación de la muestra CBR



Muestra de suelo compactado



Preparación de trípode



Sumergido de muestra



Secado de la muestra



Pesado del molde CBR



Compactación CBR



Pesado de la muestra



Anotaciones de los deformímetros de las muestras sumergidas



Ensayo de penetración CBR



Ensayo penetración CBR



Anotaciones de resultados penetración



Muestra después de la penetración



Muestras moldes CBR



RESULTADOS DE ENSAYOS DE LÍMITES DE CONSISTENCIA



ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO (ASTM D422)

ENSAYOS ESTANDAR DE CLASIFICACIÓN (D422 - D2216 - D4318 - D427 - D2487)

TESIS: ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS A NIVEL DE SUBRASANTE CON APLICACIÓN DE CAL Y CENIZA DE CÁSCARA DE QUINUA EN EL DISTRITO DE SAN MIGUEL, SAN ROMÁN, PUNO

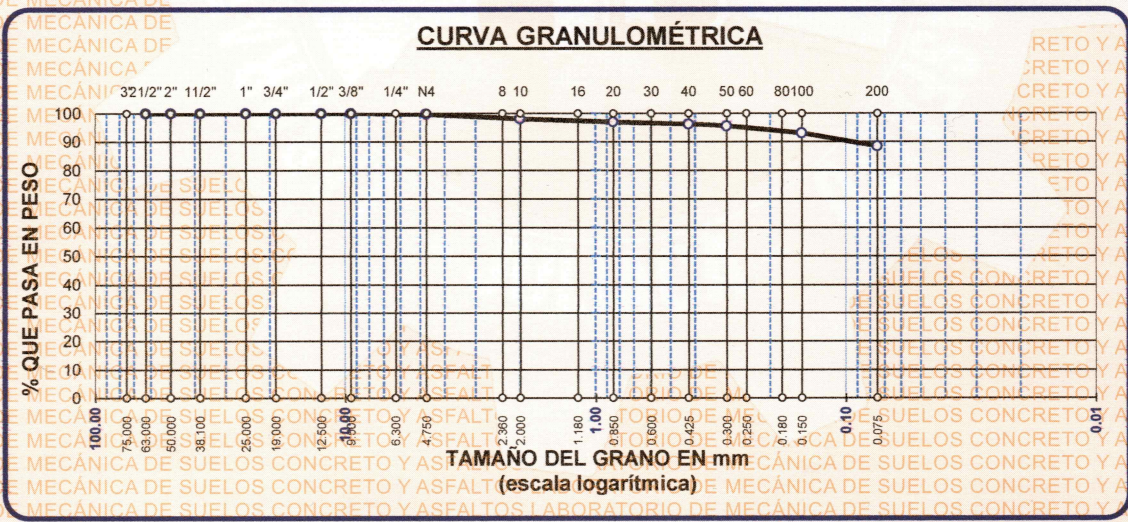
SOLICITANTE: Bach. DIMAR ENRIQUE FLORES CALLA

MUESTRA: SUELO CONTROL

LUGAR: AV. LAS TORRES - 2DA CIRCONVALACIÓN - DISTRITO DE SAN MIGUEL

FECHA: 15 DE MAYO DEL 2024

TAMICES ASTM	ABER mm	PESO RETENIDO	%RETENIDO PARCIAL	%RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	TAMAÑO MÁXIMO:	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
3"	75.000						P.I.= 500.00
2 1/2"	63.000	0.00	0.00	0.00	100.00		P.L.= 58.03
2"	50.000	0.00	0.00	0.00	100.00		P.P.= 441.97
1 1/2"	38.100	0.00	0.00	0.00	100.00		% w = 9.19
1"	25.000	0.00	0.00	0.00	100.00		LIMITES DE CONSISTENCIA:
3/4"	19.000	0.00	0.00	0.00	100.00		L.L.= 59.22
1/2"	12.500	0.00	0.00	0.00	100.00		L.P.= 28.15
3/8"	9.500	0.00	0.00	0.00	100.00		I.P.= 31.07
1/4"	6.300						CARACT. GRANULOMÉTRICAS:
No4	4.750	1.39	0.28	0.28	99.72		D10= --- Cu= ---
No8	2.360						D30= --- Cc= ---
No10	2.000	8.34	1.67	1.95	98.05		D60= ---
No16	1.180						CLASIFICACIÓN:
No20	0.850	5.34	1.07	3.01	96.99		
No30	0.600						SUCS : CL
No40	0.425	4.02	0.80	3.82	96.18		AASHTO : A-6 (11)
No50	0.300	3.15	0.63	4.45	95.55		
No60	0.250						
No80	0.180						
No100	0.150	12.84	2.57	7.02	92.98		
No200	0.075	22.95	4.59	11.61	88.39		
BASE		441.97	88.39	100.00	0.00		
TOTAL		500.00	100.00				
% PERDIDA		88.39					



UANCV - FICP
CAP INGENIERÍA CIVIL
Mgtr. ARINA DOYANA TORRES
CIP 103247

B. N° 006-00304975



TESIS UANCV



VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
 FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
 LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS

TESIS: ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS A NIVEL DE SUBRASANTE CON APLICACIÓN DE CAL Y CENIZA DE CÁSCARA DE QUINUA EN EL DISTRITO DE SAN MIGUEL, SAN ROMÁN, PUNO

SOLICITANTE: Bach. DIMAR ENRIQUE FLORES CALLA

MUESTRA: SUELO CONTROL

UBICACIÓN: AV. LAS TORRES - 2DA CIRCUNVALACIÓN - DISTRITO DE SAN MIGUEL

FECHA: 15 DE MAYO DEL 2024

CONTENIDO DE HUMEDAD ASTM - D - 2216 - MTC - E 108

SUELO HUMEDO + TARRO	gr	284.10
SUELO SECO + TARRO	gr	264.50
PESO DEL TARRO	gr	51.30
PESO DEL AGUA	gr	19.60
PESO DEL SUELO SECO	gr	213.20
HUMEDAD %	%	9.19

LÍMITE LIQUIDO - LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD ASTM - D424 D-4318 AASHTO - T90

TARRO N°	LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO	
	T	Y	U	7	0
SUELO HUMEDO + TARRO	g	71.23	68.12	61.15	58.52
SUELO SECO + TARRO	g	64.31	62.65	59.78	56.93
PESO DEL TARRO	g	53.08	53.36	54.26	51.88
PESO DEL AGUA	g	6.92	5.47	1.37	1.59
PESO DEL SUELO SECO	g	11.23	9.29	5.52	5.05
HUMEDAD %	%	61.62	58.88	24.82	31.49
N° DE GOLPES		21	26		30

LÍMITE LÍQUIDO % : 59.22 **LÍMITE PLÁSTICO % :** 28.15

ÍNDICE PLÁSTICO % : 31.07

$LL = W_n \cdot (N/25)^{0.121}$
 Donde:
 LL = Límite Líquido
 Wn = Contenido de Humedad Promedio (%)
 N = Número de Golpes



UANCV / OFICINA DE INVESTIGACIÓN
 CAP INGENIERÍA CIVIL
 Mgtr. ARNALDO YANA TORRES
 CIP 103257

B. N° 006-00304975



TESIS UANCV



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
 FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
 LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS



VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN



TESIS: ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS A NIVEL DE SUBRASANTE CON APLICACIÓN DE CAL Y CENIZA DE CÁSCARA DE QUINUA EN EL DISTRITO DE SAN MIGUEL, SAN ROMÁN, PUNO

SOLICITANTE: Bach. DIMAR ENRIQUE FLORES CALLA

MUESTRA: TRATAMIENTO CON 4% CAL Y 7% CENIZA DE CÁSCARA DE QUINUA

UBICACIÓN: AV. LAS TORRES - 2DA CIRCUNVALACIÓN - DISTRITO DE SAN MIGUEL

FECHA: 15 DE MAYO DEL 2024

CONTENIDO DE HUMEDAD ASTM - D - 2216 - MTC - E 108

SUELO HUMEDO + TARRO	gr	274.50
SUELO SECO + TARRO	gr	257.40
PESO DEL TARRO	gr	53.60
PESO DEL AGUA	gr	17.10
PESO DEL SUELO SECO	gr	203.80
HUMEDAD %	%	8.39

LÍMITE LIQUIDO - LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD ASTM - D424 D-4318 AASHTO - T90

TARRO N°		LÍMITE LIQUIDO		
		G	J	K
SUELO HUMEDO + TARRO	g	70.35	72.02	69.83
SUELO SECO + TARRO	g	64.05	66.20	64.12
PESO DEL TARRO	g	52.13	54.06	51.36
PESO DEL AGUA	g	6.30	5.82	5.71
PESO DEL SUELO SECO	g	11.92	12.14	12.76
HUMEDAD %	%	52.85	47.94	44.75
N° DE GOLPES		22	25	28

LÍMITE PLÁSTICO	
2	F
60.95	58.26
59.26	56.96
53.42	50.75
1.69	1.30
5.84	6.21
28.94	20.93

LÍMITE LIQUIDO % : 48.36 **LÍMITE PLÁSTICO % :** 24.94

ÍNDICE PLÁSTICO % : 23.42

$$LL = W_n * (N/25)^{0.121}$$

Donde:
 LL = Limite Liquido
 Wn = Contenido de Humedad Promedio (%)
 N = Número de Golpes



UANCV - FICP
 CAP INGENIERÍA CIVIL
 Mgtr. ARNALDO JAYAN TORRES
 CIP 107227

B. N° 006-00304975



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
 FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
 LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS



TESIS : ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS A NIVEL DE SUBRASANTE CON APLICACIÓN DE CAL Y CENIZA DE CÁSCARA DE QUINUA EN EL DISTRITO DE SAN MIGUEL, SAN ROMÁN, PUNO

SOLICITANTE : Bach. DIMAR ENRIQUE FLORES CALLA

MUESTRA : TRATAMIENTO CON 7% CAL Y 13% CENIZA DE CÁSCARA DE QUINUA

LUGAR : AV. LAS TORRES - 2DA CIRCUNVALACIÓN - DISTRITO DE SAN MIGUEL

FECHA : 15 DE MAYO DEL 2024

**CONTENIDO DE HUMEDAD
 ASTM - D - 2216 - MTC - E 108**

SUELO HUMEDO + TARRO	gr	258.60
SUELO SECO + TARRO	gr	246.40
PESO DEL TARRO	gr	54.00
PESO DEL AGUA	gr	12.20
PESO DEL SUELO SECO	gr	192.40
HUMEDAD %	%	6.34

**LÍMITE LIQUIDO - LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD
 ASTM - D424 D-4318 AASHTO - T90**

TARRO N°		LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO	
		Q	W	R	3	5
SUELO HUMEDO + TARRO	g	68.42	75.23	71.97	60.70	63.80
SUELO SECO + TARRO	g	63.34	69.08	67.16	59.50	62.50
PESO DEL TARRO	g	48.76	51.05	52.40	53.60	54.70
PESO DEL AGUA	g	5.08	6.15	4.81	1.20	1.30
PESO DEL SUELO SECO	g	14.58	18.03	14.76	5.90	7.80
HUMEDAD %	%	34.84	34.11	32.59	20.34	16.67
N° DE GOLPES		23	24	27		

LÍMITE LÍQUIDO % : 33.68 LÍMITE PLÁSTICO % : 18.50

ÍNDICE PLÁSTICO % : 15.18

$LL = Wn * (N/25)^{0.121}$

Donde:

LL = Límite Líquido

Wn = Contenido de Humedad Promedio (%)

N = Número de Golpes



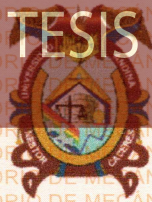
UANCV - FICP
 CAP INGENIERÍA CIVIL

Mg. ARNALDO YANATORRES
 CIP 100297

B. N° 006-00304975



RESULTADOS DE ENSAYOS DE PROCTOR MODIFICADO



ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

ASTM D-698 D-1557 AASHTO T-99 T-180

TESIS : ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS A NIVEL DE SUBRASANTE CON APLICACIÓN DE CAL Y CENIZA DE CÁSCARA DE QUINUA EN EL DISTRITO DE SAN MIGUEL, SAN ROMÁN, PUNO

SOLICITANTE : Bach. DIMAR ENRIQUE FLORES CALLA

MUESTRA : SUELO CONTROL

UBICACIÓN : AV. LAS TORRES - 2DA CIRCUVALACIÓN - DISTRITO DE SAN MIGUEL

LUGAR : DISTRITO DE SAN MIGUEL

FECHA : 31 DE MAYO DEL 2024

MOLDE No : 1 **VOLUMEN DEL MOLDE** : 893 cm³

No DE CAPAS : 5 **GOLPES POR CAPA** : 25 golpes

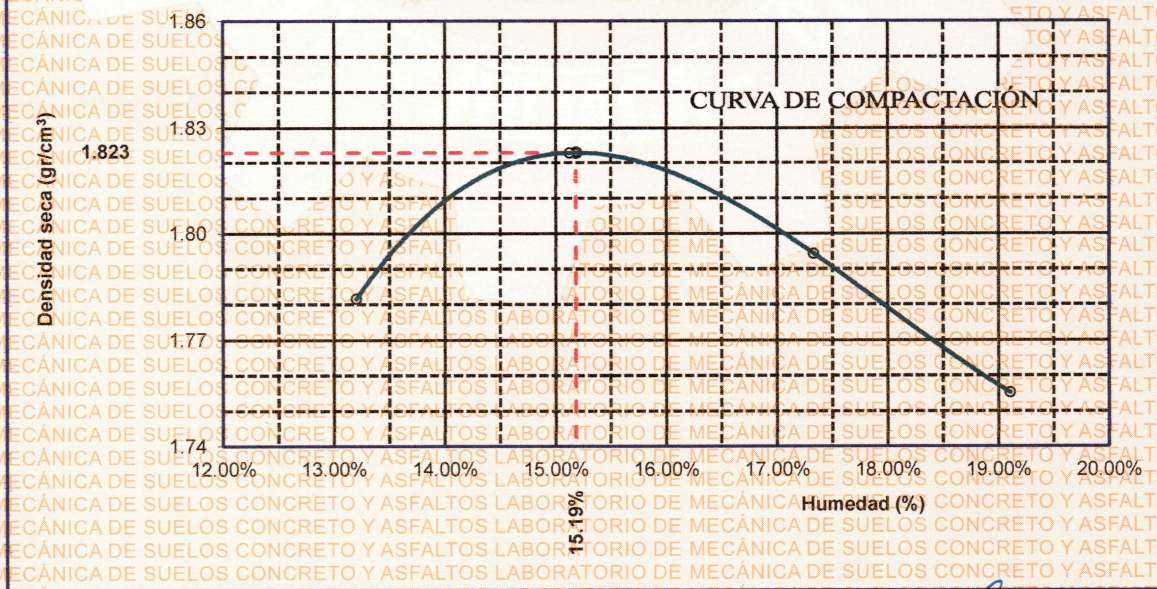
Peso Suelo Húmedo + Molde	gr.	5947	6020	6026	6013
Peso del Molde	gr.	4146	4146	4146	4146
Peso del Suelo Húmedo	gr/cm ³ .	1801	1874	1880	1867
Densidad del Suelo Húmedo	gr/cm ³ .	2.02	2.10	2.11	2.09

Capsula No	No	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.
Suelo Húmedo + Capsula	gr.	231.30	225.40	230.50	221.10	222.10	252.40	202.10	223.10
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	212.40	202.60	206.90	198.80	196.80	224.40	178.50	196.10
Peso del Agua	gr.	18.90	22.80	23.60	22.30	25.30	28.00	23.60	27.00
Peso de la Capsula	gr.	47.30	50.20	52.90	49.40	54.80	58.20	58.30	50.80
Peso del Suelo Seco	gr.	165.10	152.40	154.00	149.40	142.00	166.20	120.20	145.30
% de Humedad	%	11.45%	14.96%	15.32%	14.93%	17.82%	16.85%	19.63%	18.58%
Promedio de Humedad	%	13.20%		15.13%		17.33%		19.11%	
Densidad del Suelo Seco	%	1.782		1.823		1.794		1.755	

METODO: ASTM D - 1557 **MAXIMA DENSIDAD SECA** : 1.823 gr/cm³

MODIFICADO "A" **HUMEDAD OPTIMA** : 15.19%

RELACIÓN HUMEDAD - DENSIDAD



OBSERVACIONES: LAS MUESTRAS FUERON PUESTAS EN EL LABORATORIO POR EL SOLICITANTE



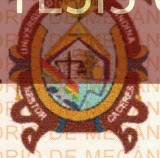
UANCV - FICP
CAP INGENIERÍA CIVIL

MOT. ARNALDO YANA TORRES
CIP 103207

B. N° 006-00304975



TESIS UANCV



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
 FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
 LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS



VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN

OFICINA DE INVESTIGACIÓN



ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

ASTM D-698 D-1557 AASHTO T-99 T-180

TESIS	: ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS A NIVEL DE SUBRASANTE CON APLICACIÓN DE CAL Y CENIZA DE CÁSCARA DE QUINUA EN EL DISTRITO DE SAN MIGUEL, SAN ROMÁN, PUNO
SOLICITANTE	: Bach. DIMAR ENRIQUE FLORES CALLA
MUESTRA	: TRATAMIENTO 1 - CON 4% DE CAL + 7% DE CENIZA DE CÁSCARA DE QUINUA
UBICACIÓN	: AV LAS TORRES - 2DA CIRCUNVALACIÓN - DISTRITO DE SAN MIGUEL
LUGAR	: DISTRITO DE SAN MIGUEL
FECHA	: 31 DE MAYO DEL 2024

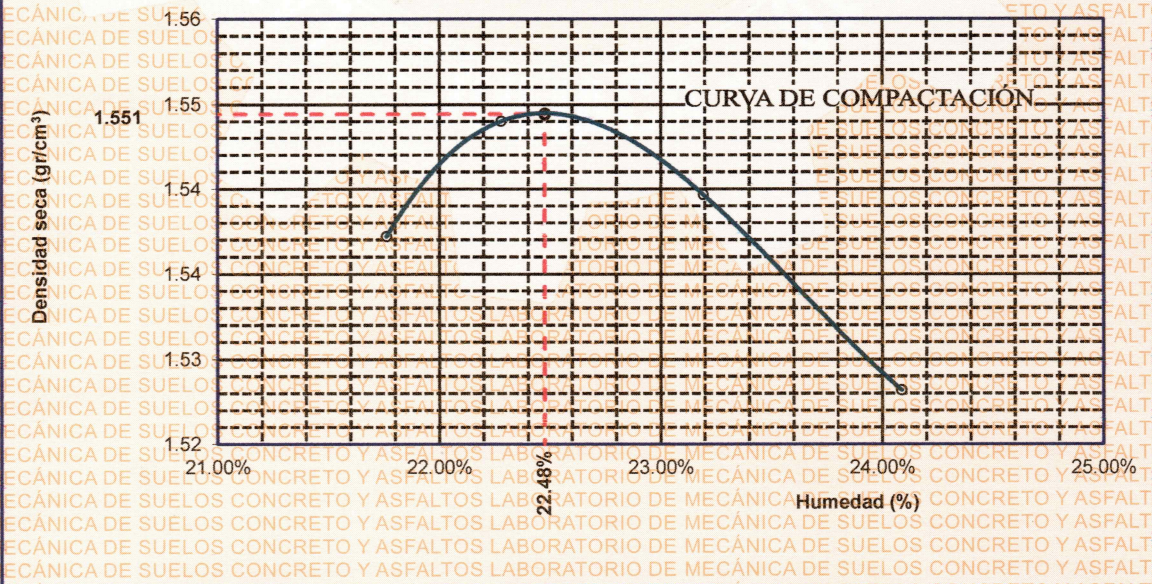
MOLDE No	: 1	VOLUMEN DEL MOLDE	: 893 cm ³
No DE CAPAS	: 5	GOLPES POR CAPA	: 25 golpes

Peso Suelo Húmedo + Molde	gr.	5820	5839	5844	5836
Peso del Molde	gr.	4146	4146	4146	4146
Peso del Suelo Húmedo	gr/cm ³ .	1674	1693	1698	1690
Densidad del Suelo Húmedo	gr/cm ³ .	1.87	1.90	1.90	1.89

Capsula No	No	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.
Suelo Húmedo + Capsula	gr.	207.10	215.20	210.30	216.10	214.60	217.80	216.30	221.10
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	180.70	184.10	181.90	185.70	186.20	183.80	184.60	188.70
Peso del Agua	gr.	26.40	31.10	28.40	30.40	28.40	34.00	31.70	32.40
Peso de la Capsula	gr.	49.40	51.30	50.20	53.50	48.90	51.50	55.80	51.20
Peso del Suelo Seco	gr.	131.30	132.80	131.70	132.20	137.30	132.30	128.80	137.50
% de Humedad	%	20.11%	23.42%	21.56%	23.00%	20.68%	25.70%	24.61%	23.56%
Promedio de Humedad	%	21.76%		22.28%		23.19%		24.09%	
Densidad del Suelo Seco	%	1.540		1.550		1.543		1.525	

METODO:	ASTM D - 1557 MODIFICADO "A"	MAXIMA DENSIDAD SECA	: 1.551 gr/cm ³
		HUMEDAD OPTIMA	: 22.48%

RELACIÓN HUMEDAD - DENSIDAD



OBSERVACIONES: LAS MUESTRAS FUERON PUESTAS EN EL LABORATORIO POR EL SOLICITANTE

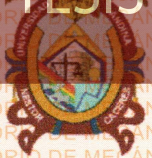


UANCV / FICP
 CAP INGENIERIA CIVIL
 Mgt. ARMA DOYANA TORRES
 CIP 15327

B. N° 006-00304975



TESIS UANCV



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
 FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
 LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS



VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
 "OFICINA DE INVESTIGACIÓN"

ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

ASTM D-698 D-1557 AASHTO T-99 T-180

TESIS	: ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS A NIVEL DE SUBRASANTE CON APLICACIÓN DE CAL Y CENIZA DE CÁSCARA DE QUINUA EN EL DISTRITO DE SAN MIGUEL, SAN ROMÁN, PUNO
SOLICITANTE	: Bach. DIMAR ENRIQUE FLORES CALLA
MUESTRA	: TRATAMIENTO 2 - CON 5% DE CAL + 10% DE CENIZA DE CÁSCARA DE QUINUA
UBICACIÓN	: AV. LAS TORRES - 2DA CIRCUNVALACIÓN - DISTRITO DE SAN MIGUEL
LUGAR	: DISTRITO DE SAN MIGUEL
FECHA	: 31 DE MAYO DEL 2024

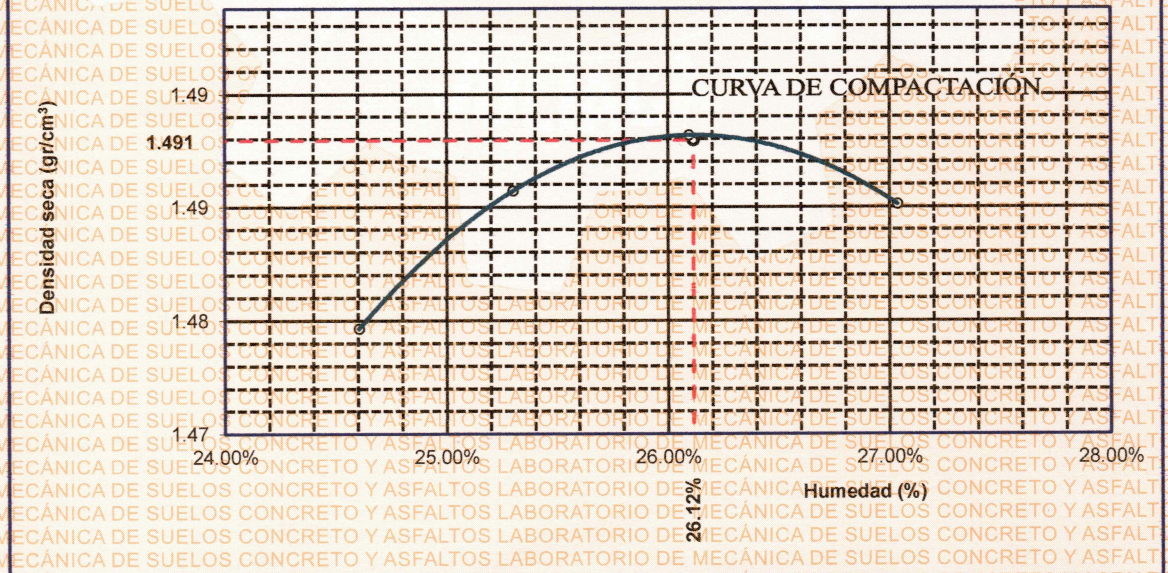
MOLDE No	: 1	VOLUMEN DEL MOLDE	: 893 cm ³
No DE CAPAS	: 5	GOLPES POR CAPA	: 25 golpes

Peso Suelo Húmedo + Molde	gr.	5790	5810	5825	5832
Peso del Molde	gr.	4146	4146	4146	4146
Peso del Suelo Húmedo	gr/cm ³ .	1644	1664	1679	1686
Densidad del Suelo Húmedo	gr/cm ³ .	1.84	1.86	1.88	1.89

Capsula No	No	SUELO 1		SUELO 2		SUELO 3		SUELO 4	
		SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.
Suelo Húmedo + Capsula	gr.	215.30	223.70	214.70	212.20	216.20	212.70	223.80	220.70
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	182.50	189.70	179.50	183.10	183.50	178.30	186.80	183.90
Peso del Agua	gr.	32.80	34.00	35.20	29.10	32.70	34.40	37.00	36.80
Peso de la Capsula	gr.	49.50	51.20	53.10	55.20	50.00	54.10	48.50	49.20
Peso del Suelo Seco	gr.	133.00	138.50	126.40	127.90	133.50	124.20	138.30	134.70
% de Humedad	%	24.66%	24.55%	27.85%	22.75%	24.49%	27.70%	26.75%	27.32%
Promedio de Humedad	%	24.61%		25.30%		26.10%		27.04%	
Densidad del Suelo Seco	%	1.477		1.487		1.491		1.486	

METODO:	ASTM D - 1557 MODIFICADO "A"	MAXIMA DENSIDAD SECA	: 1.491 gr/cm ³
		HUMEDAD OPTIMA	: 26.12%

RELACIÓN HUMEDAD - DENSIDAD

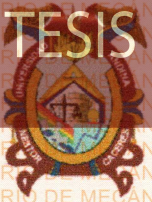


OBSERVACIONES: LAS MUESTRAS FUERON PUESTAS EN EL LABORATORIO POR EL SOLICITANTE



UANCV - FICP
 CAP INGENIERIA CIVIL
 MGR. ARIMA DOYANA TORRES
 CIP 13327

B. N° 006-00304975



ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

ASTM D-698 D-1557 AASHTO T-99 T-180

TESIS : ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS A NIVEL DE SUBRASANTE CON APLICACIÓN DE CAL Y CENIZA DE CÁSCARA DE QUINUA EN EL DISTRITO DE SAN MIGUEL, SAN ROMÁN, PUNO

SOLICITANTE : Bach. DIMAR ENRIQUE FLORES CALLA

MUESTRA : TRATAMIENTO 3 - CON 7% DE CAL + 13% DE CENIZA DE CÁSCARA DE QUINUA

UBICACIÓN : AV. LAS TORRES - 2DA CIRCONVALACIÓN - DISTRITO DE SAN MIGUEL

LUGAR : DISTRITO DE SAN MIGUEL

FECHA : 31 DE MAYO DEL 2024

MOLDE No : 1 **VOLUMEN DEL MOLDE** : 893 cm³

No DE CAPAS : 5 **GOLPES POR CAPA** : 25 golpes

Peso Suelo Húmedo + Molde	gr.	5782	5805	5820	5825
Peso del Molde	gr.	4146	4146	4146	4146
Peso del Suelo Húmedo	gr/cm ³ .	1636	1659	1674	1679
Densidad del Suelo Húmedo	gr/cm ³ .	1.83	1.86	1.87	1.88

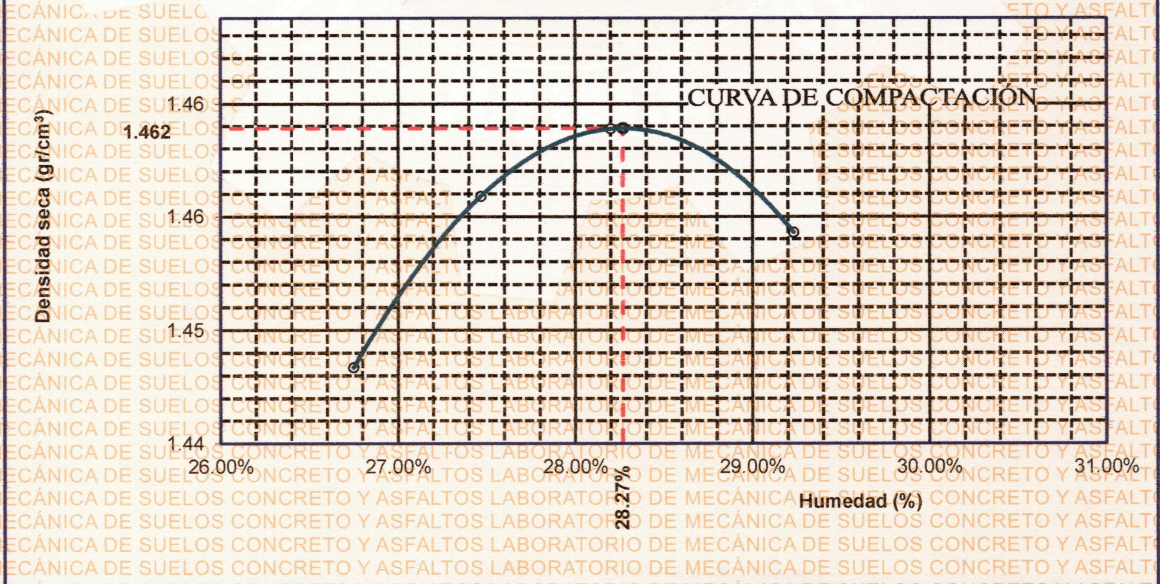
Capsula No	No	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.
Suelo Húmedo + Capsula	gr.	228.40	224.50	226.30	221.10	222.60	227.90	228.70	220.90
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	190.30	187.60	189.70	183.80	185.10	189.20	190.80	182.90
Peso del Agua	gr.	38.10	36.90	36.60	37.30	37.50	38.70	37.90	38.00
Peso de la Capsula	gr.	47.30	50.20	50.60	53.50	50.00	54.10	57.80	56.10
Peso del Suelo Seco	gr.	143.00	137.40	139.10	130.30	135.10	135.10	133.00	126.80
% de Humedad	%	26.64%	26.86%	26.31%	28.63%	27.76%	28.65%	28.50%	29.97%
Promedio de Humedad	%	26.75%		27.47%		28.20%		29.23%	
Densidad del Suelo Seco	%	1.445		1.457		1.462		1.455	

METODO: ASTM D - 1557 MODIFICADO "A"

MAXIMA DENSIDAD SECA : 1.462 gr/cm³

HUMEDAD OPTIMA : 28.27%

RELACIÓN HUMEDAD - DENSIDAD



OBSERVACIONES: LAS MUESTRAS FUERON PUESTAS EN EL LABORATORIO POR EL SOLICITANTE

UANCV - FICP
CAP INGENIERIA CIVIL

Mgtr. ARMANDO YANA TORRES
CIP 13227

B. N° 006-00304975



RESULTADOS DE ENSAYOS DE DENSIDAD CBR



UNIVERSIDAD NACIONAL "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS



RELACION HUMEDAD - DENSIDAD PROCTOR

TESIS : ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS A NIVEL DE SUBRASANTE CON APLICACIÓN DE CAL Y CENIZA DE CÁSCARA DE QUINUA EN EL DISTRITO DE SAN MIGUEL, SAN ROMÁN, PUÑO

SOLICITANTE : Bach. DIMAR ENRIQUE FLORES CALLA

MUESTRA : SUELO CONTROL

UBICACIÓN : AV. LAS TORRES - ZDA CIRCUNVALACIÓN - DISTRITO DE SAN MIGUEL

LUGAR : DISTRITO DE SAN MIGUEL

FECHA : 31 DE MAYO DEL 2024

MOLDE No	III		IIA		I	
No DE CAPAS	5		5		5	
NUMERO DE GOLPES POR CAPA	12		25		56	
CONDICIONES DE LA MUESTRA	SATURADO	SIN SATURAR	SATURADO	SIN SATURAR	SATURADO	SIN SATURAR

Peso Suelo Humedo + Molde	gr.	12014	11929	12306	12187	11162	11115
Peso del Molde	gr.	7998	7998	7962	7962	6761	6761
Peso del Suelo Humedo	gr.	4016	3931	4344	4225	4401	4354
Volumen del Suelo	cc.	2104.92	2104.92	2104.92	2104.92	2104.92	2104.92
Densidad del Suelo Humedo	gr/cc.	1.91	1.87	2.06	2.01	2.09	2.07

Capsula No	No	Q	W	R	R	T	Y	U	I	O	
Suelo Humedo + Capsula	gr.	203.40	204.20	196.90	186.50	206.40	189.40	255.30	241.80	209.40	
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	182.30	183.90	180.50	172.50	187.00	176.70	232.80	227.10	196.30	
Peso del Agua	gr.	21.10	20.30	16.40	14.00	19.40	12.70	22.50	14.70	13.10	
Peso de la Capsula	gr.	52.20	52.90	54.10	54.70	58.60	55.20	57.20	51.60	57.60	
Peso del Suelo Seco	gr.	130.10	131.00	126.40	117.80	128.40	121.50	175.60	175.50	138.70	
% de Humedad	%	16.22%	15.50%	12.97%	11.88%	15.11%	10.45%	12.81%	8.38%	9.44%	
Promedio de Humedad	%	15.86%		12.97%		13.50%		10.45%		10.59%	
Densidad del Suelo Seco	gr/cc.	1.65		1.65		1.82		1.82		1.89	

EXPANSION

Fecha	Hora	Tiempo	Dial	Expansion		Dial	Expansion		Dial	Expansion	
				mm	%		mm	%		mm	%
27/05/2024	12:30: p.m.	0	0.00	0.00	0	0.00	0	0	0.00	0	0
28/05/2024	12:30: p.m.	24:00:00	2.94	2.94	2.53	0.89	0.02	0.02	1.14	0.03	0.02
29/05/2024	12:30: p.m.	48:00:00	3.08	0.14	0.12	1.27	0.03	0.03	1.22	0.03	0.03
30/05/2024	12:30: p.m.	72:00:00	3.12	0.04	0.03	1.35	0.03	0.03	1.27	0.03	0.03
31/05/2024	12:30: p.m.	96:00:00	3.13	0.01	0.01	1.37	0.03	0.03	1.29	0.03	0.03

PENETRACION

Penetración mm	Tiempo	Carga Est.	MOLDE No III				MOLDE No II				MOLDE No I			
			Dial	Kg/cm2	CBR	Correc.	Dial	Kg/cm2	CBR	Correc.	Dial	Kg/cm2	CBR	Correc.
0.00	0:00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00	
0.63	00:30		15.40	0.80		24.80	1.28		35.20	1.82		45.60	2.46	
1.27	01:00		29.60	1.53		47.40	2.45		67.40	3.49		87.40	4.53	
1.91	01:30		42.30	2.19		68.20	3.53		96.80	5.01		126.20	6.05	
2.54	02:00	70.31	55.80	2.89	4.11	89.70	4.64	6.60	125.30	6.49	9.22	154.20	7.53	
3.81	03:00		73.30	3.79		113.60	5.88		156.80	8.12		200.00	9.57	
5.09	04:00	105.00	88.50	4.58	4.34	138.20	7.15	6.78	187.60	9.71	9.12	246.00	11.01	
6.35	05:00		105.60	5.47		165.40	8.56		225.40	11.67		293.80	13.01	
7.62	06:00		121.30	6.28		195.30	10.11		264.90	13.71		342.20	14.61	
8.84	07:00		136	7.02		225	11.65		310.60	16.08		390.60	16.61	
10.16	08:00													

OBSERVACIONES: LAS MUESTRAS FUERON PUESTAS EN EL LABORATORIO POR EL SOLICITANTE

UANCV - FICP
 CAP INGENIERIA CIVIL

Mgtr. ARMANDO YANA TORRES
 CIP 155297

B. N° 006-00304975



TESIS UANCV



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
 FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
 LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS

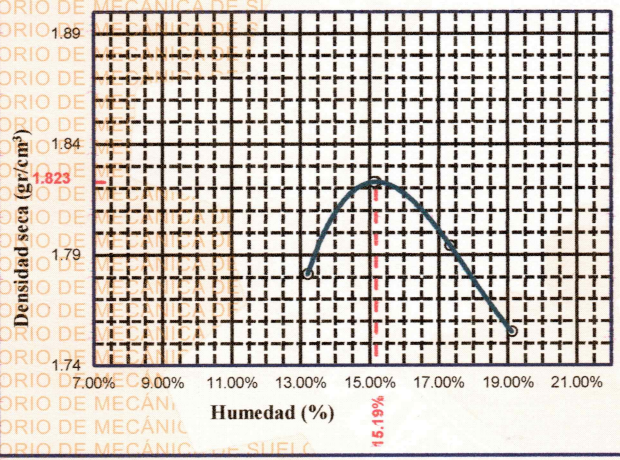


VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
 "OFICINA DE INVESTIGACIÓN"

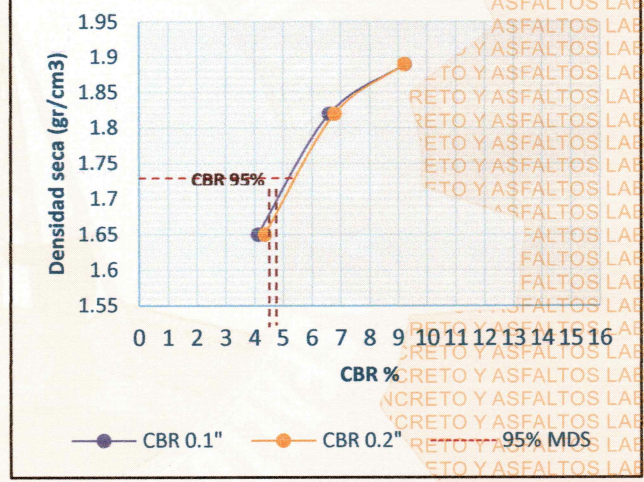


TESIS	: ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS A NIVEL DE SUBRASANTE CON APLICACIÓN DE CAL Y CENIZA DE CÁSCARA DE QUINUA EN EL DISTRITO DE SAN MIGUEL, SAN ROMÁN, PUNO	METODO DE COMPACTACION ASTM D1557-91
SOLICITANTE	: Bach. DIMAR ENRIQUE FLORES CALLA	MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm³.) 1.823
MUESTRA	: SUELO CONTROL	HUMEDAD OPTIMA (%) 15.19%
UBICACIÓN	: AV. LAS TORRES 2DA CIRCUNVALACIÓN DISTRITO DE SAN MIGUEL	CBR AL 100 DE M.D.S. (%) 6.78
LUGAR	: DISTRITO DE SAN MIGUEL	CBR AL 95% DE M.D.S. (%) 5.40
FECHA	: 31 DE MAYO DEL 2024	CLASIFICACIÓN : CH
		AASHTO : A-7-6
		EMBEBIDO : 4 DIAS

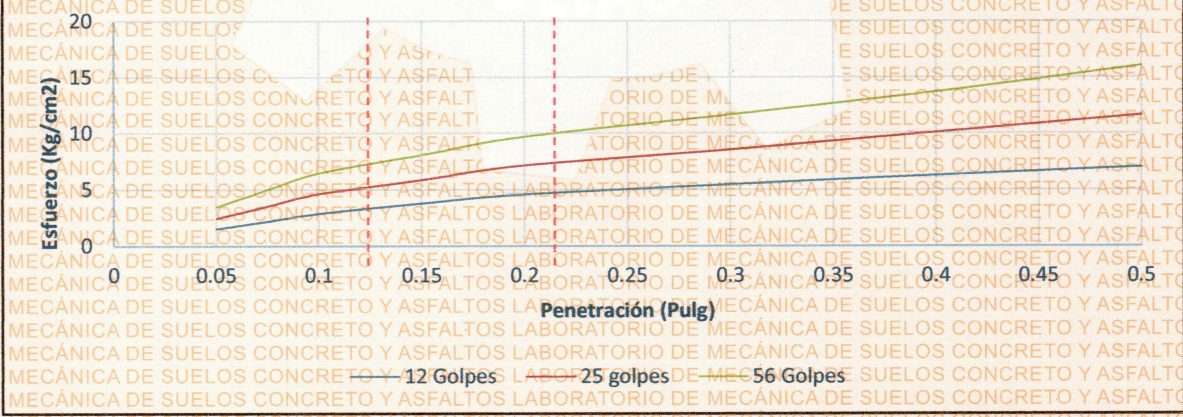
RELACIÓN HUMEDAD - DENSIDAD



CBR-Densidad (suelo control)



Esfuerzo - Penetración (Suelo Control)



CBR 4.11 (12 GOLFES) CBR 6.60 (25 GOLFES) CBR 9.22 (56 GOLFES)



UANCV - FICP
 CAP INGENIERÍA CIVIL
 B. N° 006-00304975
 Mgtr. ARMA DOYANA TORRES
 CIP: 100.007



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS



RELACION HUMEDAD - DENSIDAD PROCTOR

TESIS	ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS A NIVEL DE SUBRASANTE CON APLICACIÓN DE CAL Y CENIZA DE CÁSCARA DE QUINUA EN EL DISTRITO DE SAN MIGUEL, SAN ROMÁN, PUNO				
SOLICITANTE	Bach. DIMAR ENRIQUE FLORES CALLA				
MUESTRA	TRATAMIENTO 1 - CON 4% DE CAL + 7% DE CENIZA DE CÁSCARA DE QUINUA				
UBICACIÓN	LAS TORRES - ZDA CIRCUNVALACIÓN - DISTRITO DE SAN MIGUEL				
LUGAR	DISTRITO DE SAN MIGUEL				
FECHA	31 DE MAYO DEL 2024				

MOLDE No	III		II		I	
No DE CAPAS	5		5		5	
NUMERO DE GOLPES POR CAPA	12		25		56	
CONDICIONES DE LA MUESTRA	SATURADO	SIN SATURAR	SATURADO	SIN SATURAR	SATURADO	SIN SATURAR

Peso Suelo Humedo + Molde	gr.	11796	11580	11947	11891	10746	10689
Peso del Molde	gr.	7999	7999	7963	7963	6765	6765
Peso del Suelo Humedo	gr.	3797	3581	3984	3928	3981	3924
Volumen del Suelo	cc.	2104.92	2104.92	2104.92	2104.92	2104.92	2104.92
Densidad del Suelo Humedo	gr/cc.	1.80	1.70	1.89	1.87	1.89	1.86

Capsula No	No	A	S	D	F	G	H	J	K	L
Suelo Humedo + Capsula	gr.	192.10	190.40	184.20	197.70	213.70	205.50	185.60	191.80	186.10
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	164.40	161.90	163.70	172.80	184.50	179.60	168.90	172.60	169.80
Peso del Agua	gr.	27.70	28.50	20.50	24.90	29.20	25.90	16.70	19.20	16.30
Peso de la Capsula	gr.	49.10	46.10	48.20	56.00	58.80	57.40	55.40	56.00	52.80
Peso del Suelo Seco	gr.	115.30	115.80	115.50	116.80	125.70	122.20	113.50	116.60	117.00
% de Humedad	%	24.02%	24.61%	17.75%	21.32%	23.23%	21.19%	14.71%	16.47%	13.93%
Promedio de Humedad	%	24.32%		17.75%	22.27%		21.19%	15.59%		13.93%
Densidad del Suelo Seco	gr/cc.	1.45	1.44	1.55	1.54	1.64	1.64			

EXPANSION

Fecha	Hora	Tiempo	Dial	Expansion		Dial	Expansion		Dial	Expansion	
				mm	%		mm	%		mm	%
27/05/2024	16:30: p.m.	0	0.00	0.00	0	0.00	0	0	0.00	0	0
28/05/2024	16:30: p.m.	24:00:00	2.64	0.07	0.06	1.88	0.05	0.04	0.69	0.02	0.02
29/05/2024	16:30: p.m.	48:00:00	2.89	0.07	0.06	1.94	0.05	0.04	0.71	0.02	0.02
30/05/2024	16:30: p.m.	72:00:00	2.95	0.07	0.06	1.92	0.05	0.04	0.71	0.02	0.02
31/05/2024	16:30: p.m.	96:00:00	2.96	0.08	0.06	1.92	0.05	0.04	0.71	0.02	0.02

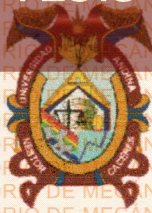
PENETRACION

Penetración mm	Tiempo	Carga Est.	MOLDE No III				MOLDE No II				MOLDE No I			
			Dial	Kg/cm2	CBR	Correc.	Dial	Kg/cm2	CBR	Correc.	Dial	Kg/cm2	CBR	Correc.
0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00	
0.63	00:30		38.50	1.99		62.00	3.21		88.30	4.57		168.40	8.72	
1.27	01:00		74.20	3.84		119.50	6.19		168.40	8.72		316.50	16.38	
1.91	01:30		105.80	5.48		170.20	8.81		242.20	12.54		417.00	21.58	
2.54	02:00	70.31	138.50	7.17	10.20	223.40	11.56	16.45	316.50	16.38	23.30	503.80	26.08	
3.81	03:00		182.50	9.45		294.70	15.25		417.00	21.58		598.50	30.98	
5.09	04:00	105.00	220.30	11.40	10.81	354.70	18.35	17.40	503.80	26.08	24.73	888.60	35.64	
6.35	05:00		262.00	13.56		422.00	21.84		598.50	30.98		772.40	39.98	
7.62	06:00		301.50	15.61		485.60	24.13		888.60	35.64				
8.84	07:00		337	17.45		544	28.14		772.40	39.98				
10.16	08:00													

OBSERVACIONES: LAS MUESTRAS FUERON PUESTAS EN EL LABORATORIO POR EL SOLICITANTE

UANCV - VICP
 CAP INGENIERIA CIVIL
 Mgr. ARMANDO YANATORRES
 CIP 16527

B. N° 006-00304975

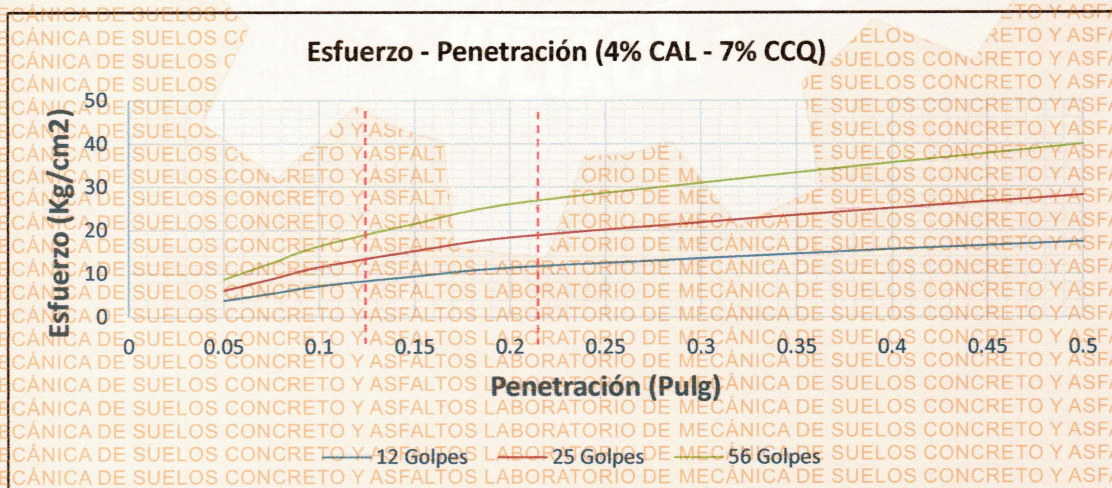
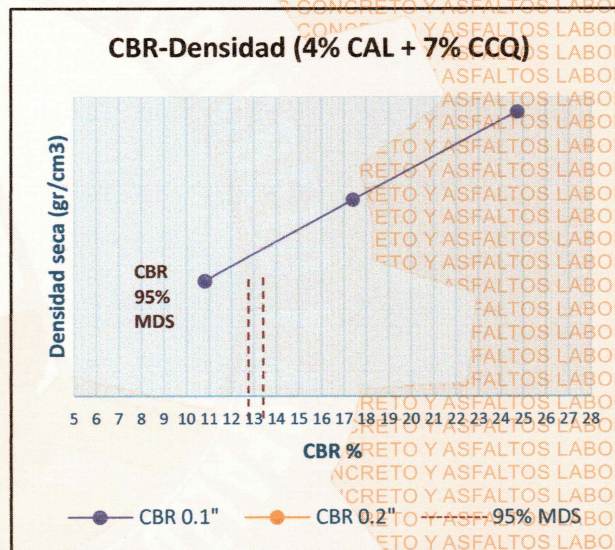
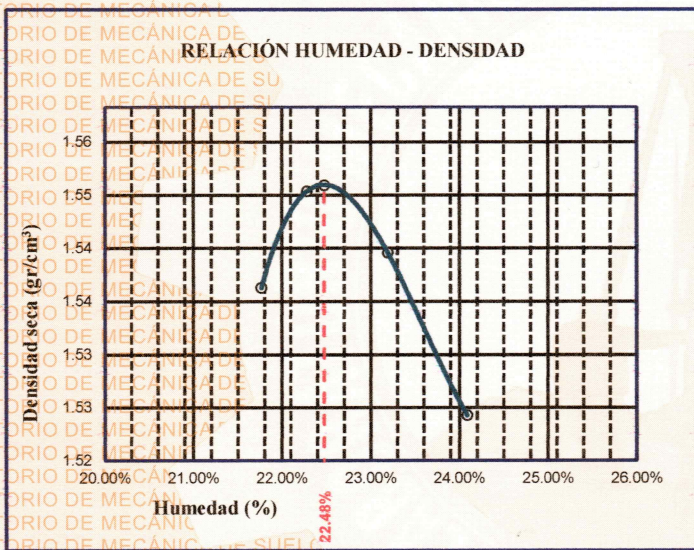


UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS



TESIS	: ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS A NIVEL DE SUBRASANTE CON APLICACIÓN DE CAL Y CENIZA DE CÁSCARA DE QUINUA EN EL DISTRITO DE SAN MIGUEL, SAN ROMÁN, PUNO
SOLICITANTE	: C. Bach. DIMAR ENRIQUE FLORES CALLA
MUESTRA	: 4% DE CAL + 7% CENIZA DE CÁSCARA DE QUINUA
UBICACIÓN	: AV. LAS TORRES - 2DA CIRCUNVALACIÓN - DISTRITO DE SAN MIGUEL
LUGAR	: DISTRITO DE SAN MIGUEL
FECHA	: 31 DE MAYO DEL 2024

METODO DE COMPACTACIÓN ASTM D1557-91	
MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm³)	1.551
HUMEDAD OPTIMA (%)	22.48%
CBR AL 100 DE M.D.S. (%)	17.40
CBR AL 95% DE M.D.S. (%)	12.30
CLASIFICACIÓN	: CL
AASHTO	: A-7-5
EMBEBIDO	: 4 DIAS



CBR 10.20
12 GOLPES

CBR 16.45
25 GOLPES

CBR 23.30
56 GOLPES



UANCV - FIOP
CAP INGENIERÍA CIVIL
Mgtr. ARMANDO YANATORRES
CIP 10007

B. N° 006-00304975



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS



RELACION HUMEDAD - DENSIDAD PROCTOR

TESIS	: ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS A NIVEL DE SUBRASANTE CON APLICACIÓN DE CAL Y CENIZA DE CÁSCARA DE QUINUA EN EL DISTRITO DE SAN MIGUEL, SAN ROMÁN, PUÑO
SOLICITANTE	: Bach. DIMAR ENRIQUE FLORES CALLA
MUESTRA	: TRATAMIENTO 2 - CON 5% DE CAL + 10% DE CENIZA DE CÁSCARA DE QUINUA
UBICACIÓN	: AV. LAS TORRES + 2DA CIRCUNVALACIÓN - DISTRITO DE SAN MIGUEL
LUGAR	: DISTRITO DE SAN MIGUEL
FECHA	: 31 DE MAYO DEL 2024

MOLDE No	III		IIA		I	
No DE CAPAS	5		5		5	
NUMERO DE GOLPES POR CAPA	12		25		56	
CONDICIONES DE LA MUESTRA	SATURADO	SIN SATURAR	SATURADO	SIN SATURAR	SATURADO	SIN SATURAR

Peso Suelo Humedo + Molde	gr.	11472	11236	11741	11649	10635	10645
Peso del Molde	gr.	7963	7963	8000	8000	6765	6765
Peso del Suelo Humedo	gr.	3509	3273	3741	3649	3870	3880
Volumen del Suelo	cc.	2104.92	2104.92	2104.92	2104.92	2104.92	2104.92
Densidad del Suelo Humedo	gr/cc.	1.67	1.55	1.78	1.73	1.84	1.84

Capsula No	No	Z	X	C	V	B	N	M	L	P	
Suelo Humedo + Capsula	gr.	184.50	188.80	180.60	195.00	186.00	188.20	190.00	190.20	188.10	
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	159.80	165.70	164.90	172.50	164.00	169.40	170.90	171.10	167.80	
Peso del Agua	gr.	24.70	23.10	15.70	22.50	22.00	18.80	19.10	19.10	18.30	
Peso de la Capsula	gr.	45.10	54.10	48.20	53.10	53.20	52.60	48.70	50.10	51.80	
Peso del Suelo Seco	gr.	114.70	111.60	116.70	119.40	110.80	116.80	122.20	121.00	116.00	
% de Humedad	%	21.53%	20.70%	13.45%	18.84%	19.86%	16.10%	15.63%	15.79%	15.78%	
Promedio de Humedad	%	21.12%		13.45%		19.35%		16.10%		15.78%	
Densidad del Suelo Seco	gr/cc.	1.38		1.37		1.49		1.49		1.59	

EXPANSION

Fecha	Hora	Tiempo	Dial	Expansion		Dial	Expansion		Dial	Expansion	
				mm	%		mm	%		mm	%
27/05/2024	16:30: p.m.	0	0.00	0.00	0	0.00	0	0	0.00	0	0
28/05/2024	16:30: p.m.	24:00:00	0.89	0.02	0.02	0.03	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00
29/05/2024	16:30: p.m.	48:00:00	0.10	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00
30/05/2024	16:30: p.m.	72:00:00	0.10	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00
31/05/2024	16:30: p.m.	96:00:00	0.10	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00

PENETRACION

Penetración mm	Tiempo	Carga Est.	MOLDE No III				MOLDE No II				MOLDE No I						
			Dial	Kg/cm2	CBR	Correc.	Dial	Kg/cm2	CBR	Correc.	Dial	Kg/cm2	CBR	Correc.			
0.00	0:00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00	
0.63	00:30		30.30	1.57		158.40	8.20		195.70	10.13		389.20	20.14		789.40	40.86	
1.27	01:00		79.80	4.13		284.60	14.73		389.20	20.14		789.40	40.86		1156.80	59.88	
1.91	01:30		236.50	12.24		392.50	20.32		547.40	28.33		958.60	49.62		1354.20	70.09	
2.54	02:00	70.31	299.40	15.50	22.04	485.70	25.14	35.76	689.30	34.64	49.27	958.60	49.62	47.05	1528.60	79.12	
3.81	03:00		379.10	19.62		615.80	31.87		958.60	49.62							
5.09	04:00	105.00	435.50	22.54	21.37	742.30	38.42	36.43	1156.80	59.88							
6.35	05:00		527.90	27.32		895.40	46.35		1354.20	70.09							
7.62	06:00		618.10	31.99		1048.20	54.25		1528.60	79.12							
8.84	07:00		689.30	35.68		1186.50	61.41										
10.16	08:00																

OBSERVACIONES: LAS MUESTRAS FUERON PUESTAS EN EL LABORATORIO POR EL SOLICITANTE



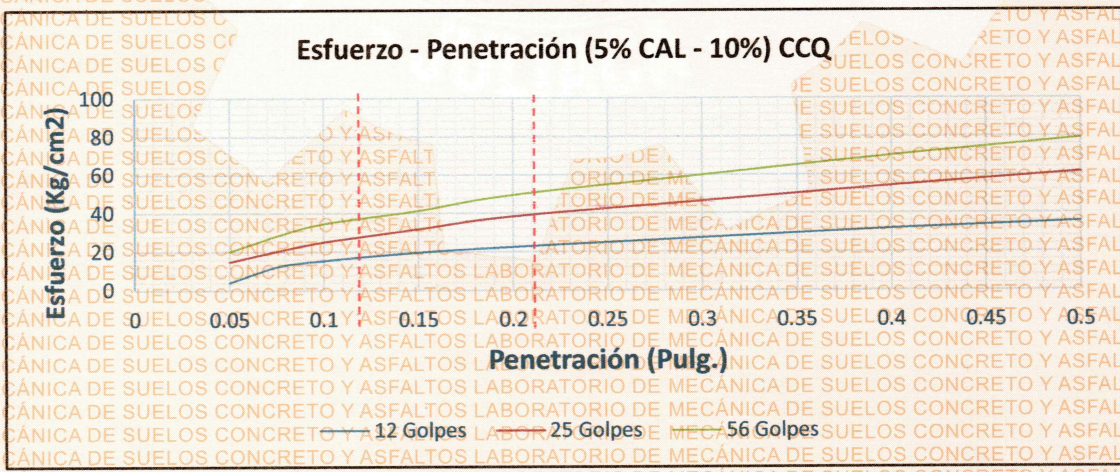
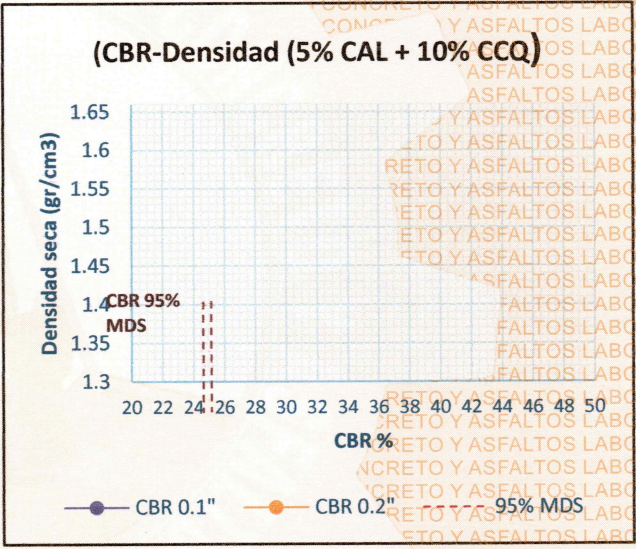
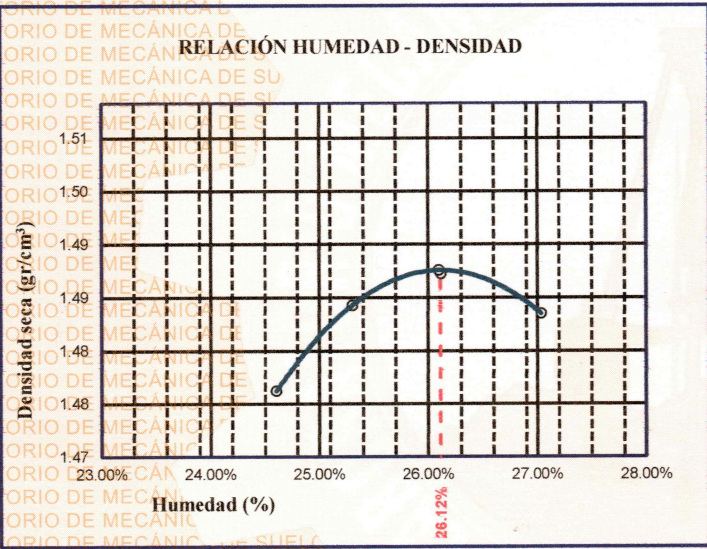
UANCV - FICP
CAP INGENIERIA CIVIL
 Mgr. ARMA LOYANA TORRES
 CIP 16327

B. N° 006-00304975



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS

TESIS	: ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS A NIVEL DE SUBRASANTE CON APLICACIÓN DE CAL Y CENIZA DE CÁSCARA DE QUINUA EN EL DISTRITO DE SAN MIGUEL, SAN ROMÁN, PUNO	METODO DE COMPACTACIÓN	ASTM D1557-91
SOLICITANTE	: Bach. DIMAR ENRIQUE FLORES CALLA	MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm³)	1.491
MUESTRA	: 5% DE CAL + 10% CENIZA DE CÁSCARA DE QUINUA	HUMEDAD OPTIMA (%)	26.12%
UBICACIÓN	: AV. LAS TORRES - 2DA CIRCUNVALACIÓN DISTRITO DE SAN MIGUEL	CBR AL 100 DE M.D.S. (%)	36.50
LUGAR	: DISTRITO DE SAN MIGUEL	CBR AL 95% DE M.D.S. (%)	26.60
FECHA	: 31 DE MAYO DEL 2024	CLASIFICACIÓN	: CL
		AASHTO	: A-7
		EMBEBIDO	: 4 DÍAS



CBR 22.04 **CBR** 35.76 **CBR** 49.27
12 GOLPES **25 GOLPES** **56 GOLPES**



UANCV - FICP
CAP INGENIERÍA CIVIL
Mgtr. ARNALDO J. ANA TORRES
CIP 100007

B. N° 006-00304975



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS



RELACION HUMEDAD - DENSIDAD PROCTOR

TESIS : ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS A NIVEL DE SUBRASANTE CON APLICACIÓN DE CAL Y CENIZA DE CÁSCARA DE QUINUA EN EL DISTRITO DE SAN MIGUEL, SAN ROMÁN, PUNO
SOLICITANTE : Bach. DIMAR ENRIQUE FLORES CALLA
MUESTRA : TRATAMIENTO 3 CON 7% DE CAL + 13% DE CENIZA DE CÁSCARA DE QUINUA
UBICACIÓN : AV. LAS TORRES + 2DA CIRCUNVALACIÓN - DISTRITO DE SAN MIGUEL
LUGAR : DISTRITO DE SAN MIGUEL
FECHA : 31 DE MAYO DEL 2024

MOLDE No	III	IIA	II	I
No DE CAPAS	5	5	5	5
NUMERO DE GOLPES POR CAPA	12	25	25	56
CONDICIONES DE LA MUESTRA	SATURADO	SIN SATURAR	SATURADO	SIN SATURAR

Peso Suelo Humedo + Molde	gr.	11302	11072	11530	11445	10568	10564
Peso del Molde	gr.	7964	7964	7998	7998	6764	6764
Peso del Suelo Humedo	gr.	3338	3108	3532	3447	3804	3800
Volumen del Suelo	cc.	2104.92	2104.92	2104.92	2104.92	2104.92	2104.92
Densidad del Suelo Humedo	gr/cc.	1.59	1.48	1.68	1.64	1.81	1.81

Capsula No	No	E	D	C	Y	H	N	U	J	M
Suelo Humedo + Capsula	gr.	191.40	192.20	185.40	195.70	201.80	193.60	200.30	203.60	198.80
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	170.60	172.70	174.80	178.10	181.70	178.10	179.20	182.10	178.20
Peso del Agua	gr.	20.80	19.50	10.60	17.60	20.10	15.50	21.10	21.50	20.60
Peso de la Capsula	gr.	53.50	53.10	52.50	55.20	56.10	53.20	49.50	53.20	51.80
Peso del Suelo Seco	gr.	117.10	119.60	122.30	122.90	125.60	124.90	129.70	128.90	126.40
% de Humedad	%	17.76%	16.30%	8.67%	14.32%	16.00%	12.41%	16.27%	16.68%	16.30%
Promedio de Humedad	%	17.03%	8.67%	15.16%	12.41%	16.47%	16.30%			
Densidad del Suelo Seco	gr/cc.	1.36	1.36	1.46	1.46	1.55	1.55			

EXPANSION

Fecha	Hora	Tiempo	Dial	Expansion		Dial	Expansion		Dial	Expansion	
				mm	%		mm	%		mm	%
27/05/2024	16:30 p.m.	0	0.00	0.00	0	0.00	0	0	0.00	0	0
28/05/2024	16:30 p.m.	24:00:00	0.05	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00
29/05/2024	16:30 p.m.	48:00:00	0.06	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00
30/05/2024	16:30 p.m.	72:00:00	0.06	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00
31/05/2024	16:30 p.m.	96:00:00	0.06	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00

PENETRACION

Penetración mm	Tiempo	Carga Est.	MOLDE No III				MOLDE No II				MOLDE No I			
			Dial	Kg/cm2	CBR	Correc.	Dial	Kg/cm2	CBR	Correc.	Dial	Kg/cm2	CBR	Correc.
0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00	
0.63	00:30		92.50	4.79		119.50	6.19		150.50	7.79		179.20	8.12	
1.27	01:00		184.60	9.55		239.40	12.39		295.30	15.28		351.10	15.28	
1.91	01:30		276.80	14.33		358.60	18.56		444.20	22.99		529.90	24.71	
2.54	02:00	70.31	368.50	19.07	27.13	478.40	24.76	35.22	589.60	30.52	43.40	701.10	33.38	
3.81	03:00		458.20	23.72		595.50	30.82		741.50	38.38		897.60	41.25	
5.09	04:00	105.00	547.80	28.35	26.89	710.80	36.79	34.89	876.50	45.37	43.02	1052.60	48.12	
6.35	05:00		652.40	33.77		849.10	43.95		1045.40	54.11		1250.30	56.99	
7.62	06:00		756.80	39.17		982.20	50.84		1210.50	62.66		1465.60	65.56	
8.84	07:00		845.40	43.76		1105.20	57.20		1352.10	69.98		1620.80	72.43	
10.16	08:00													

OBSERVACIONES: LAS MUESTRAS FUERON PUESTAS EN EL LABORATORIO POR EL SOLICITANTE

UANCV - FICP
CAP INGENIERIA CIVIL
Mgtr. ARMANDO YANAY TORRES
CIP 100027

B. N° 006-00304975



TESIS UANCV



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS

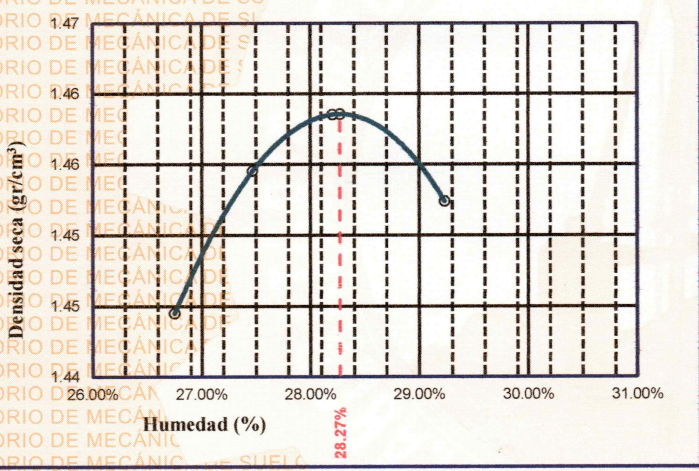


VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
OFICINA DE INVESTIGACIÓN

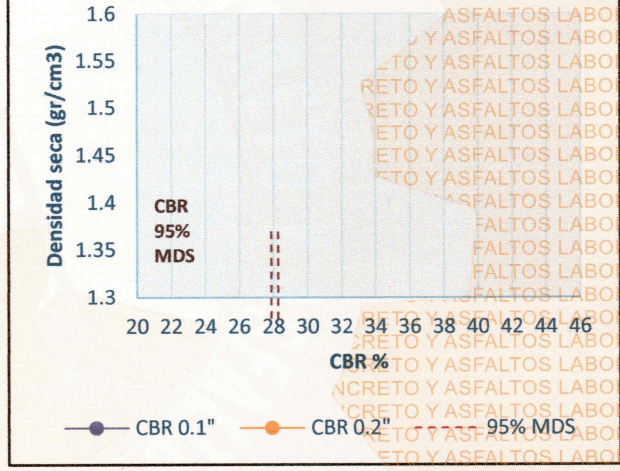


TESIS	: ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS A NIVEL DE SUBRASANTE CON APLICACIÓN DE CAL Y CENIZA DE CÁSCARA DE QUINUA EN EL DISTRITO DE SAN MIGUEL, SAN ROMÁN, PUNO	METODO DE COMPACTACIÓN ASTM D1557-91
SOLICITANTE	: Bach. DIMAR ENRIQUE FLORES CALLA	MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm3.) 1.462
MUESTRA	: 7% DE CAL + 13% CENIZA DE CÁSCARA DE QUINUA	HUMEDAD OPTIMA (%) 28.27%
UBICACIÓN	: AV. LAS TORRES 2DA CIRCUNVALACIÓN - DISTRITO DE SAN MIGUEL	CBR AL 100 DE M.D.S. (%) 35.35
LUGAR	: DISTRITO DE SAN MIGUEL	CBR AL 95% DE M.D.S. (%) 29.35
FECHA	: 31 DE MAYO DEL 2024	CLASIFICACIÓN : CL
		AASHTO : A-7
		EMBEBIDO : 4 DIAS

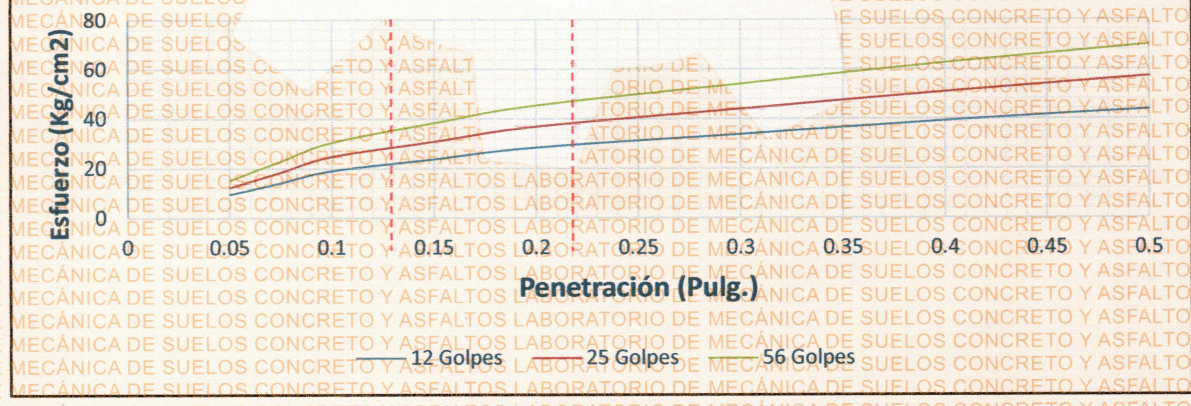
RELACIÓN HUMEDAD - DENSIDAD



CBR-Densidad (7% CAL + 13%CCQ)



Esfuerzo - Penetración (7% - 13%)



CBR 27.13 (12 GOLPES) **CBR 35.22** (25 GÖLPES) **CBR 43.40** (56 GÖLPES)

UANCV - FICP
 CAP INGENIERIA CIVIL
 B. N° 006-00304975
 Mgt. ARMANDO YAN TORRES
 CIP 100027



ANEXO 1
FORMULARIO DE AUTORIZACIÓN

AUTORIZACIÓN PARA LA INCORPORACIÓN DE LOS
TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN
EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL UANCV

Formato digital

Fecha de entrega: 05-12-2024

1. Datos del autor (es):

Nombres y Apellidos: DIMAR ENRIQUE FLORES CALLA

Dirección: Jr. SUCRE 431

DNI/Carné de Extranjería/Pasaporte N°: 44605726

Teléfono: 933297488 email: dimyex713@gmail.com

Nombres y Apellidos: _____

Dirección: _____

DNI/Carné de Extranjería/Pasaporte N°: _____

Teléfono: _____ email: _____

Facultad y/o Escuela de Posgrado: INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

Escuela Profesional o Mención: INGENIERÍA CIVIL

Título o Grado Académico a optar: INGENIERO CIVIL

Asesor: DR. MILTHON QUISPE HUANCA

Esta obra se encuentra dentro de las siguientes denominaciones:

Trabajo de Investigación Tesis Trabajo de Suficiencia Profesional Trabajo Académico

Título: ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS A NIVEL DE SUBRASANTE

CON APLICACIÓN DE CAL Y CENIZA DE CÁSCARA DE QUINUA EN EL

DISTRITO DE SAN MIGUEL, SAN ROMÁN PUNO

Palabras claves, (3 a 5 términos): CAL, CENIZAS DE QUINUA, DOSIFICACIÓN, ESTABILIZACIÓN, SUBRASANTE

¿Esta obra se desarrolló en la UANCV ^{1,2?}

1

¹ Indicar si su producción intelectual ha empleado recursos tales como, instalaciones, laboratorios, insumos, equipos, bases de datos, asesoría técnica por parte del personal de la UANCV, financiamiento, entré otros relacionados.

² Si su producción intelectual se desarrolló en la UANCV totalmente o parcialmente, deberá autorizar el depósito en el Repositorio de manera obligatoria.



2. Referencia de tesis:

- Bachiller
 Titulo
 2da Especialidad
 Maestría
 Doctorado

3. Licencias:

a) Licencia estándar:

Bajo los siguientes términos, autorizo el depósito de mi tesis en el Repositorio Digital de la UANCV.

Con la autorización de depósito de mi producción Intelectual, otorgo a la Universidad Andina “Néstor Cáceres Velásquez” una licencia no exclusiva para reproducir, distribuir, comunicar al público, transformar (únicamente mediante su traducción a otros idiomas) y poner a disposición del público mi producción intelectual (incluido el resumen), en formato físico o digital, en cualquier medio, conocido o por conocerse, a través de los diversos servicios por la Universidad, creados o por crearse, tales como el Repositorio Digital de tesis UANCV, colección de producción intelectual, entre otros, en el Perú y en el extranjero por el tiempo y veces que considere necesarias, y libres de remuneraciones.

En virtud de dicha licencia, la Universidad Andina “Néstor Cáceres Velásquez” podrá reproducir mi producción intelectual en cualquier tipo de soporte y en más de un ejemplar, sin modificar su contenido, solo con propósitos de seguridad, respaldo y preservación.

Declaro que la producción intelectual es una creación de mi autoría y exclusiva titularidad, coautoría con titularidad compartida, y me encuentro facultado a conceder la presente licencia y, asimismo, garantizo que dicha producción intelectual no infringe derechos de autor de terceras personas.

La Universidad Andina “Néstor Cáceres Velásquez” consignará el nombre del y/o los autor(es) de la producción intelectual, y no le hará ninguna modificación más que la permitida en la licencia.

Autorizo su publicación (marque con una X)

- Sí, autorizo que se deposite inmediatamente.
- Sí, autorizo que se deposite a partir de la fecha (d/m/a): _____
- No autorizo.

b) Licencia CREATIVE COMMONS 4.0 INTERNACIONAL:

Si usted concede una licencia CREATIVE COMMONS sobre su producción intelectual, mantiene la titularidad de los derechos de autor de esta y, a la vez, permite que otras personas puedan reproducirla, comunicarla al público y distribuir ejemplares de esta, bajo las condiciones siguientes:

¿Quiere permitir usos comerciales de su producción intelectual?

Sí: significa que usted permite la reproducción, distribución y comunicación pública de la producción intelectual incluso con fines comerciales.

No: significa que usted permite la reproducción, y comunicación pública de la producción intelectual, pero sin fines comerciales.

- Sí autorizo
- No autorizo



Jurisdicción de su Licencia

Todas las licencias CREATIVE COMMONS son de ámbito mundial, sin embargo, usted puede elegir entre la opción “internacional” o una adaptada a su jurisdicción, como para el caso peruano.

La opción “internacional” emplea el lenguaje y la terminología de los tratados internacionales; en cambio, la adaptada a su jurisdicción, recoge las particularidades de la legislación peruana.

En consecuencia, **la opción “internacional” goza de una mayor eficacia a nivel mundial, gracias a que tiene jurisdicción neutral.** Mientras que la opción adaptada a la jurisdicción del Perú goza de una mayor eficacia ante los tribunales peruanos.

Internacional

Nacional

Línea de investigación: TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN - P17

Firma de Autor



huella digital

05-12-2024

Fecha