



UNIVERSIDAD ANDINA

NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ

FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES DEL SUELO DE
SUBRASANTE CON LA ADICIÓN CONTROLADA DE
CEMENTO VENCIDO TRATADO CON CAL EN LA
VÍA VECINAL COPLAY - NUEVO COPLAY 2025**

TESIS PRESENTADA POR:

Bach. MELANY CAROLINA CARPIO VERA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO CIVIL

JULIACA – PERÚ

2025



UNIVERSIDAD ANDINA

NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ

FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

**EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES DEL SUELO DE
SUBRASANTE CON LA ADICIÓN CONTROLADA DE
CEMENTO VENCIDO TRATADO CON CAL EN LA
VÍA VECINAL COPLAY - NUEVO COPLAY 2025**

TESIS PRESENTADA POR:

Bach. MELANY CAROLINA CARPIO VERA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO CIVIL

APROBADA POR EL JURADO REVISOR:

PRESIDENTE

:


Dr. CESAR GUILLERMO CAMARGO NAJAR

PRIMER MIEMBRO

:


Dr. ARNALDO YANA TORRES

SEGUNDO MIEMBRO

:


Mgtr. FRANZ JOSEPH BARAHONA PERALES

ASESOR DE TESIS

:


Dr. LEONEL SUASACA PELINCO

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

:

TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN – P17



RESOLUCIÓN DECANAL N° 1459-2025-D-UI-FICP-UANCV

Juliaca, 04 de noviembre del 2025

VISTO: El expediente N° 2025 - CU - 10916 presentado por el (la) Bachiller: **MELANY CAROLINA CARPIO VERA** 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. **MELANY CAROLINA CARPIO VERA**, quien solicita **NOMINACIÓN DE JURADOS Y PROGRAMACIÓN DE FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN** de la Tesis Titulada: **EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES DEL SUELO DE SUBRASANTE CON LA ADICIÓN CONTROLADA DE CEMENTO VENCIDO TRATADO CON CAL EN LA VÍA VECINAL COPLAY - NUEVO COPLAY 2025**, 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. CESAR GUILLERMO CAMARGO NAJAR
- * **1er Miembro** : Dr. ARNALDO YANA TORRES
- * **2do Miembro** : Mgtr. FRANZ JOSEPH BARAHONA PERALES

ARTICULO SEGUNDO.- RECONOCER como asesor de la investigación (tesis) de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras al (a la) docente, **Dr. LEONEL SUASACA PELINCO**.

ARTICULO TERCERO.- APROBAR, la **FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS** de él (la) bachiller: **MELANY CAROLINA CARPIO VERA**; del informe final de la investigación (tesis) titulada: **EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES DEL SUELO DE SUBRASANTE CON LA ADICIÓN CONTROLADA DE CEMENTO VENCIDO TRATADO CON CAL EN LA VÍA VECINAL COPLAY - NUEVO COPLAY 2025** para optar el Título Profesional de **Ingeniero Civil**. de acuerdo al siguiente detalle:

- * **FECHA** : jueves 13 de noviembre del 2025
- * **HORA** : 11:00 horas
- * **LUGAR** : Aula 306 - 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. PURAS

Dr. OSCAR V. VIMONTE CALLA
DECANO (e)
CIP. 32730



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

Dr. Frita Willy Mamani Apaza
DIRECTOR
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

cc.
Archivo
Interesado (a)



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"

RESOLUCIÓN DECANAL N° 1118-2025-D-UI-FICP-UANCV

Juliaca, 22 de septiembre del 2025

VISTO: El expediente N° 2025-CU-7969 por el señor (a): **MELANY CAROLINA CARPIO VERA** quien solicita **REVISIÓN DEL INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN** (borrador de tesis), el **PROVEIDO - N° 845-2025-UI-FICP-UANCV/J**, y la **FICHA DE OPINIÓN DEL INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (BORRADOR DE TESIS)** formato N° 102 - 2025 del integrante del comité de investigación **Ingeniería Civil** 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): **MELANY CAROLINA CARPIO VERA**, ha presentado su informe final de la investigación (borrador de tesis) Titulado: **EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES DEL SUELO DE SUBRASANTE CON LA ADICIÓN CONTROLADA DE CEMENTO VENCIDO TRATADO CON CAL EN LA VÍA VECINAL COPLAY - NUEVO COPLAY 2025**, 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 **Dr. 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° 102 - 2025 **aprobandolo** el informe final de la investigación (borrador de tesis) titulado: **EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES DEL SUELO DE SUBRASANTE CON LA ADICIÓN CONTROLADA DE CEMENTO VENCIDO TRATADO CON CAL EN LA VÍA VECINAL COPLAY - NUEVO COPLAY 2025**, 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 mérito 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): **MELANY CAROLINA CARPIO VERA**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil, con el Tema Titulado: **EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES DEL SUELO DE SUBRASANTE CON LA ADICIÓN CONTROLADA DE CEMENTO VENCIDO TRATADO CON CAL EN LA VÍA VECINAL COPLAY - NUEVO COPLAY 2025** 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. LEONEL SUASACA PELINCO**.

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. OSCAR V. VIANORTE CALLA
DECANO (e)
CIP. 32730



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y Cs. PURAS
Dr. Fritz Willy Mamani Apaza
DIRECTOR
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN



RESOLUCIÓN DECANAL N° 747-2025-D-UI-FICP-UANCV

Juliaca, 18 de julio del 2025

VISTO: El expediente N° 2025-CU- 7800, presentado por el señor (a) **MELANY CAROLINA CARPIO VERA** solicitando **APROBACIÓN DE LA PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN** el **PROVEIDO - N° 548 -2025-UI-FICP-UANCV/J**, y la **FICHA DE OPINIÓN DE LA PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN** formato N° 062 -2025 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): **MELANY CAROLINA CARPIO VERA** ha presentado su propuesta de investigación Titulada: **EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES DEL SUELO DE SUBRASANTE CON LA ADICIÓN CONTROLADA DE CEMENTO VENCIDO TRATADO CON CAL EN LA VÍA VECINAL COPLAY - NUEVO COPLAY 2025**, 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 **Dr. 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° 062 -2025- aprobando la propuesta de investigación titulada: **EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES DEL SUELO DE SUBRASANTE CON LA ADICIÓN CONTROLADA DE CEMENTO VENCIDO TRATADO CON CAL EN LA VÍA VECINAL COPLAY - NUEVO COPLAY 2025**.

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 señor (a): **MELANY CAROLINA CARPIO VERA**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil, con el Tema Titulada: **EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES DEL SUELO DE SUBRASANTE CON LA ADICIÓN CONTROLADA DE CEMENTO VENCIDO TRATADO CON CAL EN LA VÍA VECINAL COPLAY - NUEVO COPLAY 2025** 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** de al (a la) docente **Dr. LEONEL SUASACA PELINCO**.

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. OSCAR V. VIANONTE CALLA
DECANO (e)
CIP. 32700



UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
Dr. Francisco Manuel Apaza
DIRECTOR
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

cc.
Archivo 2025.
Interesado (a)



MELANY CAROLINA CARPIO VERA

EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES DEL SUELO DE SUBRASANTE CON LA ADICIÓN CONTROLADA DE CEMENTO ...

 TESIS DE PREGRADO

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::13016:551410590

Fecha de entrega

31 ene 2026, 15:00 GMT-5

Fecha de descarga

2 feb 2026, 9:09 GMT-5

Nombre del archivo

T036_71796586_T.docx

Tamaño del archivo

40.9 MB

158 páginas

28.589 palabras

151.889 caracteres



16% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- ▶ Bibliografía
- ▶ Coincidencias menores (menos de 10 palabras)

Fuentes principales

- 9%  Fuentes de Internet
- 1%  Publicaciones
- 14%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.



Metadatos Complementarios

Título de la tesis	
EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES DEL SUELO DE SUBRASANTE CON LA ADICIÓN CONTROLADA DE CEMENTO VENCIDO TRATADO CON CAL EN LA VÍA VECINAL COPLAY - NUEVO COPLAY 2025	
Datos de autor	
Nombres y apellidos	MELANY CAROLINA CARPIO VERA
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	71796586
URL de ORCID	https://orcid.org/0009-0006-9917-0537
Datos de asesor	
Nombres y apellidos	LEONEL SUASACA PELINCO
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	40865558
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0001-6657-665X
Datos del jurado	
Presidente del jurado	
Nombres y apellidos	CESAR GUILLERMO CAMARGO NAJAR
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	02441152
Miembro del jurado 1	
Nombres y apellidos	ARNALDO YANA TORRES
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	41414676
Miembro del jurado 2	
Nombres y apellidos	FRANZ JOSEPH BARAHONA PERALES
Tipo de documento	DNI



Número de documento de identidad	02442876
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	País: Perú Departamento: Moquegua Provincia: Mariscal Nieto Distrito: Torata Localidad: Juliaca Latitud: S 15° 29' 27" Longitud: O 70° 07' 37"  https://maps.app.goo.gl/XhxiD4nuohRCsvDA
Año o rango de años en que se realizó la investigación	Julio 2025 - Noviembre 2025
URL de disciplinas OCDE	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
- Librería	



UNIVERSIDAD UANCV
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS EXACTAS
Dr. Fritz Willy Marmán Apozo
DIRECTOR
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN



DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD Y RESPONSABILIDAD

Yo MELANY CAROLINA CARPIO VERA, identificado con DNI
Nro. 71796586, en mi condición de egresado de:

- ☒ Escuela Profesional
☐ Programa de Segunda Especialidad,
☐ Programa de Maestría o Doctorado

INGENIERÍA CIVIL

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

EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES DEL SUELO DE SUBRASANTE CON LA ADICIÓN

CONTROLADA DE CEMENTO VENCIDO TRATADO CON CAL EN LA

VÍA VECINAL COPLAY - NUEVO COPLAY 2025

Asesorado por: Dr. LEONEL SUASACA PELINCO

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.

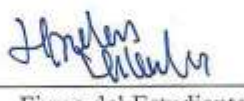
Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

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 21 de noviembre del 2025


Firma del Asesor
(obligatoria)


Firma del Estudiante
(obligatoria)


Huella



DEDICATORIA

A mi querida madre, abuelos, hermano y mi amado hijo Kael quiero dedicarles este trabajo con todo mi amor y gratitud.. Su apoyo incondicional, sacrificio y amor constante han sido la base que me ha permitido llegar hasta aquí. Cada desafío que he enfrentado, cada logro que he alcanzado, ha sido gracias a su aliento y confianza en mí. Ustedes me enseñaron el verdadero valor del esfuerzo, la perseverancia y la dedicación, y sin su presencia, este camino habría sido mucho más difícil.

Gracias por su constante motivación, por creer en mis sueños incluso cuando yo dudaba de ellos, y por ser mis guías en cada paso que he dado. Este logro es tan suyo como mío, y me siento profundamente afortunado/a de tenerlos como padres. Este trabajo es una muestra de todo lo que me han dado y enseñado a lo largo de mi vida.



AGRADECIMIENTO

Primeramente, quiero expresar mi más profundo agradecimiento a Dios, por darme el aliento necesario para no rendirme, guía y sabiduría durante todo este proceso. A Él le agradezco por darme la oportunidad de llegar hasta aquí, por iluminar mi camino en los momentos de duda y por brindarme el valor necesario para superar cada obstáculo. Su presencia en mi vida me ha permitido alcanzar esta meta, y por ello, siempre estaré agradecido.

De igual manera, quiero extender con gratitud el valioso acompañamiento de mi asesor en este trabajo. Su constancia, disposición y acompañamiento fueron claves para el desarrollo de este trabajo. Aprecio el conocimiento impartido y experiencia, por sus valiosos consejos y por orientarme en cada paso del proceso. Su compromiso y profesionalismo me han inspirado a dar lo mejor de mí y a mantener el enfoque en mis objetivos. Sin su guía, este proyecto no habría sido posible.



ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTO	ii
ÍNDICE GENERAL	iii
ÍNDICE DE TABLAS	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	vii
RESUMEN	ix
ABSTRACT	x
INTRODUCCIÓN	xi

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 Análisis de la situación problemática	13
1.2 Planteamiento del problema	15
1.2.1 Problema general	15
1.2.2 Problemas específicos	16
1.3 Objetivos de la investigación	16
1.3.1 Objetivo general	16
1.3.2 Objetivos específicos	16
1.4 Justificación de la investigación	17
1.4.1 Justificación técnica	17
1.4.2 Justificación económica	17
1.4.3 Justificación social	18
1.4.4 Justificación ambiental	18
1.5 Hipótesis de la investigación	19
1.5.1 Hipótesis general	19
1.5.2 Hipótesis específicas	19
1.6 Variables	20
1.6.1 Variable independiente	20
1.6.2 Variable dependiente	20



1.7	Operacionalización de variables	21
-----	---------------------------------------	----

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1	Antecedentes de la investigación	22
2.1.1	Antecedentes internacionales	22
2.1.2	Antecedentes nacionales	24
2.1.3	Antecedentes locales	26
2.2	Bases teóricas	28
2.2.1	Evaluación de las propiedades del suelo de subrasante con la adición controlada de cemento vencido tratado con cal	28
2.2.2	Estabilización de suelos	44
2.2.3	Subrasantes	48
2.2.4	Estabilización de la subrasante con cal	50
2.2.5	Estabilización de la subrasante con cemento	52
2.3	Marco conceptual	53

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1	Enfoque de la investigación	56
3.2	Tipo de investigación	57
3.3	Nivel de investigación	58
3.4	Diseño de la investigación	58
3.5	Método de la investigación	59
3.6	Población y muestra de la investigación	60
3.6.1	Población	60
3.6.2	Muestra	60
3.7	Técnicas e instrumentos	62
3.7.1	Técnicas	62
3.7.2	Instrumentos	62
3.8	Validación y confiabilidad del instrumento	63
3.8.1	Validación	63
3.8.2	Confiabilidad	64



3.9	Plan de recolección de datos	64
3.9.1	Vía de estudio	64
3.9.2	Obtención de la Cal	66
3.9.3	Obtención del cemento vencido	67
3.9.4	Análisis e interpretación de los resultados	82
CAPÍTULO IV		
RESULTADOS Y DISCUSIÓN		
4.1	Resultados obtenidos	83
4.1.1	Características físicas y mecánicas del suelo de subrasante que se extienden a lo largo de la vía vecinal Coplay – Nuevo Coplay	83
4.1.2	Influencia de la adición controlada de cemento vencido tratado con cal sobre el índice de plasticidad del suelo de subrasante	92
4.1.3	Influencia de la adición controlada de cemento vencido tratado con cal sobre el grado de compactación del suelo de subrasante	96
4.1.4	Influencia de la adición controlada de cemento vencido tratado con cal sobre el CBR del suelo de subrasante	99
4.2	Discusión de Resultados	102
CONCLUSIONES		106
RECOMENDACIONES		108
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		109
ANEXOS		115



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Operacionalización de variables	21
Tabla 2	Identificación de suelos en función del IP	37
Tabla 3	Jerarquización de la subrasante en base al CBR	48
Tabla 4	Cantidad de cemento y cal empelado en el estudio	68
Tabla 5	Porcentaje pasante en cada tamiz de las muestras de subrasante	83
Tabla 6	Contenido de humedad en las muestras del suelo natural de subrasante	85
Tabla 7	Valores de límite líquido del suelo natural de subrasante	86
Tabla 8	Valores de límite plástico del suelo natural de subrasante	87
Tabla 9	Valores de índice de plasticidad del suelo natural de subrasante	88
Tabla 10	Resumen de los límites de consistencia del suelo natural de subrasante	89
Tabla 11	Valores del grado de compactación del suelo natural de subrasante	89
Tabla 12	Valores de CBR de las muestras de suelo natural de subrasante	91
Tabla 13	Resumen de las características de la subrasante(natural)	92
Tabla 14	Valores de límite líquido de subrasante con cemento vencido tratado con cal .	92
Tabla 15	Valores de límite plástico de subrasante con cemento vencido tratado con cal	93
Tabla 16	Valores de índice de plasticidad de subrasante con cemento vencido tratado con cal.....	94
Tabla 17	Resumen de límites de consistencia de subrasante con cemento vencido tratado con cal	95
Tabla 18	Valores de grado de compactación de subrasante con cemento vencido tratado con cal.....	96
Tabla 19	Resumen de CBR de subrasante con cemento vencido tratado con cal	99
Tabla 20	Comparación de CBR de según antecedentes	105



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Vía vecinal Coplay – Nuevo Coplay	61
Figura 2 Vía vecinal Coplay – Nuevo Coplay	65
Figura 3 Presentación de cal	66
Figura 4 Presentación de cemento vencido	67
Figura 5 Curva granulometría de suelo de subrasante de CS-1	84
Figura 6 Curva granulometría de suelo de subrasante de CS-2	84
Figura 7 Curva granulometría de suelo de subrasante de CS-3	85
Figura 8 valores de contenido de humedad del suelo natural de subrasante	86
Figura 9 Valores de límite líquido del suelo natural de subrasante	87
Figura 10 Valores de límite plástico del suelo natural de subrasante	88
Figura 11 Valores de índice de plasticidad del suelo natural de subrasante	89
Figura 12 Valores de la máxima densidad seca del suelo natural de subrasante	90
Figura 13 Valores del grado de compactación del suelo natural de subrasante	90
Figura 14 Valores de CBR de las muestras de suelo natural de subrasante	91
Figura 15 Valores de límite líquido de subrasante con cemento vencido tratado con cal	93
Figura 16 Valores de límite plástico de subrasante con cemento vencido tratado con cal	94
Figura 17 Valores de índice de plasticidad de subrasante con cemento vencido tratado con cal	95
Figura 18 Curva de compactación de subrasante con 5%CE + 1%CA	96
Figura 19 Curva de compactación de subrasante con 5%CE + 2%CA	97
Figura 20 Curva de compactación de subrasante con 5%CE + 4%CA	97
Figura 21 Curva de compactación de subrasante con 5%CE + 6%CA	98
Figura 22 Valores de la MDS de subrasante con cemento vencido tratado con cal	98
Figura 23 Valores del OCH de subrasante con cemento vencido tratado con cal	99
Figura 24 Representación de CBR de subrasante con 5%CE + 1%CA	100



Figura 25 Representación de CBR de subrasante con 5%CE + 2%CA	100
Figura 26 Representación de CBR de subrasante con 5%CE + 4%CA	101
Figura 27 Representación de CBR de subrasante con 5%CE + 6%CA	101
Figura 28 Variación general de CBR de subrasante con cemento vencido tratado con cal	102



RESUMEN

La presente investigación denominada "Evaluación de las propiedades del suelo de subrasante con la adición controlada de cemento vencido tratado con cal en la vía vecinal Coplay – Nuevo Coplay 2025", tuvo como objetivo analizar el comportamiento del suelo de subrasante al ser estabilizado con una mezcla de cemento vencido y cal en proporciones controladas. El presente estudio fue realizado con enfoque cuantitativo, nivel explicativo y tipo aplicado. Los resultados iniciales evidenciaron que el suelo natural posee características de desempeño que no son favorables, puesto que posee un IP promedio de 13.21%, humedad de 14.40%, densidad máxima seca de 1857 g/cm³ y contenido de humedad óptimo de 10.55%. Al 95%, este material transporta solo 3.71% del MDS, lo que lo clasifica como una subrasante de categoría inestable. Por otro lado, mediante la adición de 5% de cemento vencido en combinación con 1%, 2%, 4% y 6% de cal, se demostró una mejora gradual de las características del suelo. El IP disminuyó de 13.21% a 8.92%, aportando evidencia de una disminución considerable en la plasticidad. Además, en términos de compactabilidad, la densidad máxima seca aumentó de 1857 g/cm³ a 2015 g/cm³, con la cantidad óptima de humedad pasando de 10.59% a 13.21%, como resultado del ensayo Proctor Modificado. Además, el valor de un CBR mostró un aumento sustancial, desde el 3.71% previo utilizado para el suelo natural, y fue de 17.82% a una tasa de confinamiento del 95% de la MDS para el contenido cal que fue utilizado en la mayor proporción, 6%. Los anteriores resultados siguieron que la combinación de 5% de cemento vencido con 6% de cal es una modificación adecuada que permite la utilización del suelo modificado en capas de subrasante en proyectos de infraestructura vial rural.

Palabras Clave: Cal, cemento vencido, estabilización de suelos, suelo de subrasante.



ABSTRACT

This research, entitled "Evaluation of Subgrade Soil Properties with the Controlled Addition of Aged Cement Treated with Lime on the Coplay – Nuevo Coplay 2025 Rural Road," aimed to analyze the behavior of the subgrade soil when stabilized with a mixture of aged cement and lime in controlled proportions. The study employed an experimental design, with a quantitative approach, an explanatory level, and an applied nature. Initial results showed that the natural soil exhibited unfavorable conditions, reflected in an average plasticity index of 13.21%, a moisture content of 14.40%, a maximum density of 1.857 g/cm³ with an optimum moisture content of 10.59%, and a CBR value of only 3.71% at 95% MDD, classifying it as an unstable subgrade. After applying 5% aged cement in combination with 1%, 2%, 4%, and 6% lime, a progressive improvement in soil properties was observed. The plasticity index (PI) decreased from 13.21% to 8.92%, reflecting a notable reduction in plasticity. Regarding compaction behavior, the maximum dry density increased from 1,857 g/cm³ to 2,015 g/cm³, and the optimum moisture content rose from 10.59% to 13.21%, according to the results of the Modified Proctor test. Furthermore, the California Bearing Ratio (CBR) value showed a significant increase, rising from 3.71% (natural soil) to 17.82% at 95% of the dry density (DDS) with the highest lime dosage (6%). These results demonstrate that the combination of 5% aged cement with 6% lime provides a substantial improvement in the soil's bearing capacity, consolidating it as a suitable material for use in subgrade layers in rural road infrastructure projects.

Keywords: Lime, aged cement, soil stabilization, subgrade soil.



INTRODUCCIÓN

La estabilidad de las subrasantes es esencial para la ingeniería de pavimentos e infraestructura vial. Las subrasantes soportan las estructuras superiores y las cargas del tráfico y otros efectos externos. Por lo tanto, cuando los suelos naturales presentan características que los hacen inadecuados para cumplir tales funciones, los materiales estabilizados deben estabilizarse. Varios materiales naturales no tratados son débiles en su capacidad de soportar deformaciones o de resistir la erosión o son dilatantes en presencia de agua. Si no se mejoran, podrían causar deformaciones importantes después de ser cargados, lo que pondría en peligro la integridad y durabilidad de la infraestructura de carreteras.

En este contexto, el aprovechamiento de la estabilización basado en la adición de materiales, como cemento y cal, se han utilizado ampliamente para mejorar las características geotécnicas de estos materiales y en general del subsuelo. Por otro lado, el uso de materiales alternativos, como el cemento vencido, se presenta como opción interesante y redituable de investigación, ya que éste pudiera representar soluciones viables para la estabilización de suelos en zonas donde los recursos son limitados o bien donde se pretenda minimizar el impacto ambiental.

Se puede afirmar que el propósito general de la presente disertación es analizar la calidad del suelo de la subrasante bajo criterios técnicos con la incorporación limitada expirada de cemento tratado con cal como estabilizante en la carretera vecinal Coplay-Nuevo Coplay dentro Moquegua. La incursión de revestimientos influye en la caracterización de este tipo de suelo en términos de capacidad de soporte, deformación y resistencia al agua para determinar su utilidad como un material inherentemente estructural para proyectos de carretera.



El suelo que se desempeña como la subrasante de la vía en estudio, por las condiciones en que naturalmente se encuentra presenta poca aptitud para el uso en la conformación de pavimentos, por lo que su resistencia baja y la sensibilidad al cambio de humedad alta. Sin embargo, mediante la adición de cemento ya curado y cal en proporciones controladas, resultará considerablemente mejorado y podrá ser utilizado como subrasante para garantizar la conformación de un pavimento con todas las exigencias posibles en las normativas viales a respetar.

El propósito de esta investigación era detallar una evaluación de la viabilidad del uso de cal tratada con cemento en el desecho para hacer frente al asentamiento de los suelos sub-base y, en consecuencia, hacer una contribución a la mejora de la condición de las vías secundarias en la vía vecinal Coplay – Nuevo coplay y todas las ubicaciones similares que pueden estar experimentando problemas de estabilidad del suelo.

Para una mejor comprensión de la investigación, la tesis está estructurada en cuatro capítulos que describen los componentes de la investigación de manera clara y secuencial. El primer capítulo presenta el problema del estudio de la baja capacidad portante de la subrasante en las vías vecinales no pavimentadas del Desvío Yacango Bajo en la región de Moquegua. También incluye la justificación para la realización del estudio, las preguntas científicas, los objetivos, la hipótesis y las variables del estudio.

Este es el Capítulo II, que contiene el marco teórico en donde se explican y presentan los antecedentes y conceptos relacionados con la estabilización de suelos y el uso del cemento vencido tratado con cal en la ingeniería vial. El Capítulo III presenta la metodología, detallando el enfoque del estudio, los ensayos realizados (como el CBR) y el análisis empleado para determinar el espesor del afirmado. Finalmente, el Capítulo IV expone los resultados, evalúa el comportamiento del suelo mejorado, lo compara con el suelo natural y ofrece conclusiones y recomendaciones para futuras aplicaciones en caminos rurales.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 Análisis de la situación problemática

A nivel mundial, el crecimiento acelerado de la infraestructura vial ha generado una creciente demanda por soluciones efectivas en la estabilización de suelos, particularmente en países en desarrollo donde las condiciones geotécnicas de los terrenos no siempre son adecuadas para la construcción de pavimentos duraderos. Muchos de estos países enfrentan desafíos relacionados con la calidad del suelo, ya que grandes extensiones de terrenos presentan suelos inadecuados para soportar el peso del tráfico vehicular y las cargas asociadas (Luna & Quispe, 2021).

Además, el cambio climático y las subsiguientes variaciones en las condiciones meteorológicas han exacerbado aún más estos problemas, especialmente en cuanto a la sensibilidad a la humedad de los suelos, que a menudo se traducen en deformaciones y erosión. Los suelos arcillosos y de tendencia expansiva, que son altamente propensos a la erosión interna y los cambios de volumen causados por la lluvia, son predominantes en varias áreas del mundo, lo que ha llevado a una mayor demanda de soluciones de estabilización efectivas y económicas. Mientras que los estabilizantes estándar, como la cal viva y la adición de cemento, han sido ampliamente utilizados, una mayor atención al costo y a los efectos ambientales detrás de la aplicación de tales materiales ha aumentado

el interés en aditivos económicos y sostenibles como el cemento caducado. Sin embargo, como se discutirá más adelante en el documento, la viabilidad de tal entidades a gran escala aún no se ha validado (Luna & Quispe, 2021).

Cuando se refiere al nacional superior en Perú, esto no es tan diferente, ya que representa un enfoque elitista y metropolitano. En general, el país tiene un desafío en cuanto a la calidad de las subrasantes, sobre todo que se desarrollen en zonas rurales y de estrecha ubicación. En general, las conexiones viales en este país, en su mayoría, enmarcan muchos tramos insuficientemente equipados en las áreas alejadas y rurales. El problema de infraestructura impacta directamente en las poblaciones que utilizan estas vías como medio de transporte y generación de actividades económicas. En muchas ocasiones, las subrasantes, es decir, el "soporte de los pavimentos" no cumplen con los debidos niveles de calidad por la presencia de suelos inestables, arcillosos y susceptibles a humedad. (Ramos, 2025).

Adicionalmente, el poco recurso y la poca tecnología en muchas de estas regiones complican el uso de soluciones tradicionales de estabilización. Adicionalmente, en muchos casos el precio estimado de utilizar estabilización aplicando productos como cemento y cal son muy alto y se requiere buscar opciones más económicas y efectivas. En este caso, la utilización de cemento vencido como estabilizante de suelos en lugar de cemento nuevo es una solución viable en aspectos económicos y ambientales, en especial para proyectos viales en lugares con poco presupuesto y pocas provisiones. (Ramos, 2025).

En términos locales, en Moquegua, y más específicamente en la vía vecinal Coplay – Nuevo Coplay, las condiciones de suelo de subrasante son muy críticas. La calidad del suelo en esta vía es muy pobre en propiedades, ya que es inapropiado para la construcción de infraestructuras viales. Es un suelo muy susceptible a la humedad y con una capacidad de carga muy de baja calidad que deforma y erosiona con la carga del tráfico. Este tipo de suelo no cumple con los estándares mínimos establecidos para la construcción de

pavimentos, lo que pone en riesgo tanto la durabilidad de la infraestructura como la seguridad de los usuarios de la vía.

El tratamiento de este suelo con cal y cemento vencido podría ser una solución rentable y ecológica para incrementar su capacidad geotécnica, aumentando su resistencia, reduciendo su sensibilidad al agua y evitando la erosión. Por otro lado, la falta de estudios sobre la efectividad de este método en la región podría desalentar su adopción. Esta es una situación perjudicial que, una vez más, indica la necesidad de una investigación para confirmar el efecto del uso de cemento caducado en esta función de estabilización en la región. La adopción de esta medida de mitigación contribuiría significativamente a reducir los problemas de humedad en la subrasante sin duda de una manera más barata y sostenible.

En resumen, de lo anterior, la situación problemática a nivel internacional, nacional y local revela la necesidad de la implementación de enfoques efectivos y sostenibles para garantizar el desempeño estructural a largo plazo del suelo, especialmente en las zonas con condiciones adversas. La investigación sobre el uso de cal tratada con cemento vencido en la estabilización de suelos de subrasante, como la que se propone en este estudio, podría ofrecer una respuesta viable para mejorar la calidad de las infraestructuras viales en la vía vecinal Coplay – Nuevo Coplay, contribuyendo al desarrollo económico y social de la región y a la mejora de la conectividad en zonas rurales.

1.2 Planteamiento del problema

1.2.1 *Problema general*

¿Cuáles son las propiedades del suelo de subrasante con la adición controlada de cemento vencido tratado con cal en la vía vecinal Coplay – Nuevo Coplay 2025?

1.2.2 Problemas específicos

1. ¿Cuáles son las características físicas y mecánicas del suelo de subrasante que se extienden a lo largo de la vía vecinal Coplay – Nuevo Coplay?
2. ¿Cuál es la influencia de la adición controlada de cemento vencido tratado con cal sobre el índice de plasticidad del suelo de subrasante en la vía vecinal Coplay – Nuevo Coplay?
3. ¿Cuál es la influencia de la adición controlada de cemento vencido tratado con cal sobre el grado de compactación del suelo de subrasante en la vía vecinal Coplay – Nuevo Coplay?
4. ¿Cuál es la influencia de la adición controlada de cemento vencido tratado con cal sobre el CBR del suelo de subrasante en la vía vecinal Coplay – Nuevo Coplay?

1.3 Objetivos de la investigación

1.3.1 Objetivo general

Evaluar las propiedades del suelo de subrasante con la adición controlada de cemento vencido tratado con cal en la vía vecinal Coplay – Nuevo Coplay 2025.

1.3.2 Objetivos específicos

1. Analizar las características físicas y mecánicas del suelo de subrasante que se extienden a lo largo de la vía vecinal Coplay – Nuevo Coplay.
2. Evaluar la influencia de la adición controlada de cemento vencido tratado con cal sobre el índice de plasticidad del suelo de subrasante en la vía vecinal Coplay – Nuevo Coplay.
3. Evaluar la influencia de la adición controlada de cemento vencido tratado con cal sobre el grado de compactación del suelo de subrasante en la vía vecinal Coplay – Nuevo Coplay.

4. Evaluar la influencia de la adición controlada de cemento vencido tratado con cal sobre el CBR del suelo de subrasante en la vía vecinal Coplay – Nuevo Coplay.

1.4 Justificación de la investigación

1.4.1 Justificación técnica

La mejora del suelo mediante técnicas de estabilización es una estrategia común en proyectos de infraestructura, que busca aumentar la estabilidad del material, especialmente cuando estos presentan características que los hacen inadecuados para la construcción de infraestructuras.

La estabilización con adición controlada de cal tratada con cemento vencido puede ser una alternativa técnica viable debido al significativo cambio generado en las propiedades del suelo por este procedimiento. La cal tiene la ventaja de actuar como estabilizador al mejorar la cohesión del suelo, y el cemento vencido actúa como material cementante, lo que además de incrementar la capacidad de soporte del suelo y disminuir su sensibilidad al agua. Así, es posible considerar que esta combinación pueda alcanzar adecuadas construcciones para subrasantes y suficientes para soportar un firme suficiente para otorgar el tiempo de vida útil diseñado para infraestructuras de transporte viables. Asimismo, la investigación de estos tratamientos permitirá establecer la efectividad de los mismos sobre la base de las condiciones particulares del suelo en la región de Moquegua, lo que facilitará la toma de decisión para los proyectos futuros en zonas con características similares en términos técnico de funcionamiento.

1.4.2 Justificación económica

Un desafío importante para la construcción de infraestructura vial en regiones remotas y rurales es el alto costo de los materiales y la tecnología de estabilización. Como lo menciona Abalaka et al. los costos de la cal y del cemento nuevo pueden ser relativamente altos, haciéndolos caros para proyectos de transporte de bajo presupuesto. Sin embargo, esta limitación podría abordarse económicamente si se utilizara cemento

caducado. Por ejemplo, la utilización de material de desecho o reciclado implicaría un costo total reducido en relación con la compra de cemento nuevo. La idea reduciría el costo de estabilización del suelo estabilizado en el entorno y conservaría un proceso eficiente.

Además, la mejora de las características del suelo mediante estos materiales no solo prolongará la vida útil de las infraestructuras viales, sino que también reducirá los costos de mantenimiento y rehabilitación a largo plazo, lo que lo hace económicamente viable. Este enfoque podría ser una base sostenible para otras zonas rurales del país con problemas similares de calidad del suelo.

1.4.3 Justificación social

La mejora de la infraestructura vial en zonas rurales impacta directamente las condiciones de vida de la población que utiliza estas rutas para transitar, transportar bienes y acceder a servicios básicos. En el caso de la región de Moquegua, la vía vecinal Coplay – Nuevo Coplay articula a una serie de comunidades y permite el tráfico de personas y bienes por la zona. Sin embargo, debido a la mala calidad de la subrasante, la vía presenta problemas de accesibilidad, particularmente durante la temporada de lluvia, lo que impide tanto la seguridad como la eficiencia del transporte.

El acondicionamiento de la subrasante, mediante la aplicación del uso de tratamiento de cal al cemento vencido, mejorará la calidad de la vía. Asimismo, garantizará un soporte para el pavimento con poca posibilidad de deformaciones y sin erosión. De igual forma, se logrará una infraestructura segura y fiable que facilite el transporte de personas y mercancías, lo que conlleva a un desarrollo local sostenible.

1.4.4 Justificación ambiental

Hoy en día, la sostenibilidad y el respeto al medio ambiente son aspectos fundamentales en la planificación y ejecución de proyectos de infraestructura. En este sentido, resulta que el tratamiento del suelo con la incorporación de cemento vencido y cal es de gran dimensión ambiental, ya que fomenta el reciclaje de los materiales para la

construcción que, de otra manera, se botarían. El cemento vencido, por ser un material subutilizado o considerado como desechos, se convierte en un recurso desperdiciado, el que, reciclado, contribuye a la disminución de los desechos y al aprovechamiento de los materiales que aún tiene capacidad de estabilización. Además, el uso de la cal como estabilizan es más amigable con el medio ambiente que los demás estabilizantes químicos.

1.5 Hipótesis de la investigación

1.5.1 *Hipótesis general*

Las propiedades del suelo de subrasante con la adición controlada de cemento vencido tratado con cal en la vía vecinal Coplay – Nuevo Coplay 2025, siendo uno mejor que el otro componente de estabilización.

1.5.2 *Hipótesis específicas*

1. El suelo de subrasante presente a lo largo de la vía vecinal Coplay – Nuevo Coplay presenta propiedades físicas y mecánicas deficientes que requieren estabilización para cumplir con los estándares mínimos de capacidad de soporte establecidos para infraestructura vial.
2. La adición controlada de cemento vencido tratado con cal reducirá significativamente el índice de plasticidad del suelo de subrasante, mejorando su comportamiento.
3. La incorporación de cemento vencido tratado con cal en proporciones controladas mejorara los valores de densidad máxima seca y contenido óptimo de humedad del suelo de subrasante, optimizando su compactabilidad según los resultados del ensayo Proctor Modificado.
4. El uso de cemento vencido tratado con cal incrementara de manera significativa el valor del CBR del suelo de subrasante, elevando su capacidad portante y haciéndolo apto para su uso en la construcción de capas estructurales de pavimento.



1.6 Variables

1.6.1 *Variable independiente*

Cemento vencido tratado con cal

Indicadores:

- Adición de combinación de 5% de cemento vencido con 1% de cal
- Adición de combinación de 5% de cemento vencido con 2% de cal
- Adición de combinación de 5% de cemento vencido con 4% de cal
- Adición de combinación de 5% de cemento vencido con 6% de cal

1.6.2 *Variable dependiente*

Propiedades del suelo de subrasante

Dimensiones:

- Índice de plasticidad
- Grado de compactación
- CBR

1.7 Operacionalización de variables

Tabla 1

Operacionalización de variables

Variabes	Definición	Dimensión	Indicadores	Valor final	Inst. de Medición	Tipo
VI Cemento vencido tratado con cal	Mezcla de cemento fuera de su fecha de vencimiento, combinado con cal, empleada como agente estabilizante del suelo.	Porcentaje de adición	5% de cemento vencido	%	Balanza, mezclador.	Nominal
			Adiciones de cal en proporciones de (1%, 2%, 4% y 6%)	%	Balanza, mezclador.	
VD Propiedades del Suelo de Subrasante	Conjunto de características físicas y mecánicas que definen la resistencia, plasticidad y compactación del suelo de la subrasante.	Índice Plástico	LL LP IP	% % %	Equipos y herramientas de laboratorio.	Nominal
		Grado de compactación	Densidad seca máxima Optimo contenido de humedad	gr/cm3 %	Equipos y herramientas de laboratorio.	
		CBR	Capacidad de soporte del suelo	%	Equipos y herramientas de laboratorio.	

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación

2.1.1 Antecedentes internacionales

Según Zamora y Ortiz, (2023) en su trabajo titulado “Estabilización de la subrasante mediante cal y cemento para una obra vial, ubicada en Rocafuerte-Tosagua sector El Junco”, tuvo como objetivo caracterizar el suelo extraído de las distintas calicatas seleccionadas para el estudio, de las cuales se determinó que el material obtenía una clasificación A-7-5. La segunda fase se centró en la estabilización propiamente dicha del suelo extraído de la calicata número 3, cuyos agentes estabilizantes fueron la cal y el cemento, los cuales, en sus diversas proporciones de 2% y 4%, fueron clave en las variables de estudio CBR y densidad máxima del suelo tratado. Cabe mencionar que dicho suelo fue sacado del sector de El Junco, perteneciente a los cantones Rocafuerte y Tosagua. El suelo, al ser estabilizado con 2% de cemento, obtuvo un valor de CBR de 25.6%, mientras que si lo fue con 2% de cal, tuvo un valor de 10.6%. Esto supera el 10% y 20%, lo que permite denominar cada uno de los suelos como una subrasante “buena” y “muy buena”, respectivamente, siguiendo las pautas establecidas para clasificación de subrasantes. En porcentajes de 4%, el suelo estabilizado con cemento presentó un CBR de 39.6%, y con cal, de 12.9%. Estos valores superan el 11% y 20%, lo que permite



denominar ambas subrasantes “buena” y “muy buena”. Los resultados permiten considerar al 4% de cemento como la proporción más apta para la estabilización del nivel de subrasante, indicando la eficacia de dicho porcentaje en cuanto a la resistencia y capacidad de estabilización, demostrada en estos resultados. Condiciones que lo hacen tolerable a cargas; lo que puede ser ideal en la construcción de infraestructura vial.

Según Mejía, (2024) en su investigación denominada “Evaluación económica de la estabilización de subrasantes con cal o cemento en caminos de segundo orden”, tiene como objetivo explorar soluciones económicas que beneficien tanto a los usuarios como a la infraestructura vial. Una de estas soluciones es la estabilización de la subrasante mediante la aplicación de cal o cemento, como se analizó en el caso de la carretera Cascada. En los ensayos de Proctor, se obtuvieron los siguientes resultados para las diferentes secciones: para la Sección 0-00, una densidad de $7,27\text{g/cm}^3$ y una humedad de 17,50%; para la Sección 9-00, una densidad de $7,70\text{g/cm}^3$ y una humedad de 18,00%; para la Sección 15-00, una densidad de $6,05\text{g/cm}^3$ y una humedad de 18,50%; y para la muestra de lastre, una densidad de $10,73\text{g/cm}^3$ y una humedad de 9,00%. Al realizar los ensayos de CBR, se vio que el CBR incrementaba en cantidades notables al añadir el 4% de cal en los suelos arcillosos. Mientras en la muestra de lastre, el porcentaje ideal de estabilización llegaba al 6% de cemento, el cual proporcionaba un CBR de 16.79%. En consecuencia, se llegó a la conclusión de que el 4% de cal es el ideal para las muestras de arcilla. En cuanto al lastre, se dejó en un 6% de cemento. Esta conclusión se respalda por los resultados obtenidos al comparar la Rigidez (MR) antes y después de la estabilización con cal, ya que el MR de la muestra de arcilla con el 4% de cal aumentó en promedio un 174.31%. En consecuencia, el porcentaje de cal ideal para la arcilla de baja plasticidad encontrada en la subrasante es del 4%, y para la grava bien graduada, es del 6% para el porcentaje de cemento. Los hallazgos de este estudio demuestran la viabilidad técnica de estabilizar la subrasante, ya que se logró un módulo de rigidez más alto en comparación con la inicial, con indicaciones de mejoras considerables. Además, los

beneficios mencionados anteriormente se logran en áreas rurales, donde la tasa de mantenimiento suficiente se mantiene relativamente baja, como la del área de estudio.

2.1.2 Antecedentes nacionales

Según Velásquez y Véliz, (2025) en su estudio denominado "Estabilización de suelo arcilloso con el empleo de cal y cemento para el mejoramiento de la subrasante", tuvo como objetivo mejorar la estabilidad de una subrasante, se extrajo una muestra de suelo proveniente de la Avenida Miraflores, en el Cantón Portoviejo, y se sometió a una serie de pruebas experimentales para evaluar su comportamiento. Los ensayos realizados siguieron las normativas técnicas establecidas. En estos ensayos, el suelo tuvo tratamiento con aditivos de cal y cemento en tres concentraciones diferentes: 2%, 4% y 6%, con la finalidad de contabilizarse las variaciones en las propiedades geotécnicas del material tratadas de acciones. A partir de este estudio, se descubrió que usar estabilizantes en las proporciones mencionadas ha mejorado significativamente las características geotécnicas del suelo, lo que se evidencia con el relativo cambio en sus propiedades de resistencia y estabilidad. El suelo tratado se clasifica como, y. La prueba DMS mide $1,623 \text{ kg/m}^3$, la prueba COH da 16.79%. El valor del CBR da 26,32% debido a las enormes mejoras en la calidad del suelo, lo que hace que la resistencia estructural sea suficiente calificar el suelo como un buen material subrasante de alta calidad, cuyas capas puedan ser usadas para tal propósito. En adición, se observa desde los resultados anteriores que al integrar al suelo más cantidades de cal y cemento sus propiedades mecánicas mejoran. Este comportamiento sugiere que el tratamiento con cal y cemento incrementa no solo la resistencia del suelo, sino también su capacidad para soportar mayores cargas y su estabilidad general. Así, los resultados obtenidos permiten inferir que la estabilización con estos aditivos ofrece una solución eficaz para la mejoría las condiciones del material y, por ende, optimizar el desempeño de las subrasantes en infraestructuras viales.

Según Mamani, (2023) en su estudio denominado "Adición del cemento caducado en la subrasante de un suelo arcilloso para mejorar sus propiedades mecánicas Cusco 2023", El estudio lleva como título "Estudio de las características mecánicas de la subrasante de suelos arcillosos con la incorporación de cemento caducado para una carretera" cuya finalidad es investigar los efectos de la incorporación de cemento caducado en la subrasante de suelos arcillosos, con el fin de optimizar sus propiedades mecánicas. Para cumplir con la finalidad del estudio se planteó un diseño experimental estructurado. Para ello se propuso la realización de varias pruebas de laboratorio, necesarias para evaluar las propiedades físicas y mecánicas del suelo tratado. Los resultados obtenidos en este informe demostraron que, con la adición de cemento caducado, el suelo mejorará notablemente. Por un lado, se obtiene una mejora importante de la capacidad de carga del suelo, y por otro lado, se reduce drásticamente su deformación, mostrando una propuesta mejora de la capacidad estructural del suelo tratado. El estudio muestra que la densidad máxima seca del suelo tuvo un pico de 2.17 g/cm^3 , después de aplicar el 5% de cemento caducado. El porcentual de aumento fue también para el índice CBR, donde los porcentuales de mejoría máxima y mínima fueron respectivamente 7.88% e 0%. Un factor considerable es también conformado por el potencial de expansión, cuyo porcentaje de 6.67% a 1.21% mostró consideración. Dado que este porcentual coincide con el aumento en el índice CBR, se vuelve supremamente importante. Por lo tanto, se podrían extraer algunas conclusiones luego de discutir los resultados presentados en la tabla anterior. En primer lugar, el mencionado hallazgo sugiere que la adición de cemento caducado no solo incrementa la resistencia del suelo, sino también afecta la capacidad del suelo para reducir la expansión y la contracción del material en presencia de humedad. Segundo, ambos factores son sincrónicos ya que de un modo u otro presentan una estabilidad a largo plazo del material. En general, estos resultados sugieren que la utilización de cemento caducado puede ser la solución óptima y asequible al problema de la mejora del suelo, destinada a atraer la atención de la región de Cusco. Como resultado, surge una infraestructura de alta calidad.

Según Valcarcel, (2024) su investigación titulada “Influencia de la cal en las propiedades físico-mecánicas del suelo de subrasante del tramo Coasa – saco, km 62+295 – 62+545, Provincia de Carabaya, Puno”, tiene como objetivo evaluar el impacto de la cal en los límites de consistencia del suelo y analizar cómo influye en el valor CBR según los resultados de la investigación. El enfoque adoptado fue tanto experimental como cuantitativo. Se aplicaron diferentes porcentajes de cal hidratada y cal viva al suelo (1 %, 2 %, 3 % y 4 %), con el objetivo de reducir el índice de plasticidad y aumentar el valor CBR. Esto se hizo con el fin de alcanzar los objetivos que se habían fijado. El proceso consistió en compactar el suelo en moldes CBR como parte de la técnica. A continuación, el suelo se saturó durante un periodo de 96 horas antes de someterlo a presión en una prensa CBR para su análisis. Según los resultados obtenidos con un 3 % de cal, se demostró que el índice de plasticidad podía reducirse hasta un 16 % cuando se utilizaba cal hidratada, y hasta un 72 % cuando se utilizaba cal viva. El valor CBR aumentó un 19,64 % cuando se administró cal hidratada, y aumentó un 378,57 % cuando se utilizó cal viva. Esa es la diferencia entre ambos. La conclusión a la que se llegó fue que la incorporación de cal al suelo tiene un impacto beneficioso en la mejora de las propiedades del suelo. El límite plástico se reduce significativamente, mientras que el límite líquido aumenta, lo que en última instancia conduce a una gran reducción del índice de plasticidad, especialmente cuando se utiliza cal viva. Del mismo modo, la adición de cal viva dio lugar a un aumento significativo del CBR.

2.1.3 Antecedentes locales

Según Mamani, (2024) en su investigación titulada “Modificación de las propiedades del suelo de la subrasante de la Av. Santa Fortunata usando Cal y Zeolita, Moquegua, 2023”, se evaluó la modificación de las propiedades de los suelos cohesivos presentes en la subbase de la avenida Santa Fortunata mediante la incorporación de cal y zeolita como agentes estabilizadores. Para ello, se determinaron varias dosis de cal y



zeolita, junto con concentraciones del 2 %, 4 % y 6 % en peso. A continuación, estas concentraciones se aplicaron a una muestra de suelo representativa del conjunto. Para evaluar las propiedades de los suelos modificados, se llevaron a cabo una serie de experimentos. Los resultados de este estudio indican que las dosis sugeridas (2 %, 4 % y 6 % de cal y zeolita) tuvieron una influencia sustancial en el aumento de la capacidad del suelo para soportar peso. Más concretamente, se observó que el valor del índice CBR aumentaba gradualmente, alcanzando valores del 10,30 %, 18,30 % y 28,10 %, respectivamente, a medida que aumentaba la proporción de concentraciones de aditivos. La actividad cementante de la cal y la zeolita, que interactúan químicamente con las partículas del suelo para crear enlaces que aumentan la fricción interna del material, es la principal responsable de este aumento de la capacidad de carga. Como resultado, se incrementa la fricción interna del material. Se observó que el índice de plasticidad del suelo natural, que inicialmente era de 19,50, disminuyó tras la adición de aditivos. Esta mejora se detectó en relación con el índice de plasticidad. Los valores obtenidos para el suelo estabilizado con cal y zeolita en concentraciones del 2 %, 4 % y 6 % fueron 15,30, 12,20 y 9,10, respectivamente. Estos resultados indican que la trabajabilidad y la resistencia a la deformación del suelo habían experimentado una mejora considerable. Por último, pero no por ello menos importante, en lo que respecta al diseño de la capa de suelo que se va a estabilizar, se tuvieron en cuenta dos espesores diferentes, cuarenta centímetros y ochenta centímetros, con el fin de comprobar la influencia de los niveles de cal y zeolita. Estos espesores se eligieron basándose en los resultados obtenidos en las pruebas CBR y de plasticidad. El objetivo de esta selección era proporcionar una estabilidad adecuada y un aumento significativo de las características mecánicas del suelo, dos aspectos esenciales para el desarrollo de una infraestructura vial duradera y segura.

Según Meneses, (2023) en su investigación titulada "Efecto de la adición de un cemento tipo IP en la estabilización de la capa base del pavimento flexible de la Av. El Trebol, distrito San Antonio, Moquegua - 2021", permitió analizar en profundidad las

propiedades físico-mecánicas del suelo de la zona de estudio, así como las técnicas de estabilización aplicadas. El suelo investigado corresponde a un suelo arcilloso, caracterizado por sus propiedades plásticas. Por lo tanto, debido a su capacidad portante relativamente baja, el suelo es inestable y presenta un comportamiento negativo en caso de uso sin tratamiento previo a su aplicación en la construcción. Se realizaron pruebas de laboratorio para obtener información detallada sobre las propiedades físico-mecánicas del suelo de la Avenida El Trébol. Los resultados de las pruebas mostraron que las propiedades del suelo no cumplían con los requisitos de estabilidad necesarios para su uso como subbase en carreteras flexibles. De esta manera, se decidió estudiar el efecto de un tratamiento estabilizador de la capa base el pavimento, añadiendo cemento tipo IP a diferentes proporciones, desde un 0% hasta un 8% al material. A medida que aumentaba el porcentaje de este, agregado al suelo arcilloso, su trabajabilidad aumentaba significativamente también. En cuanto al ensayo de la calicata 03, como se puede notar en la tabla 2, se obtuvo una reducción en la magnitud de los valores de LL los LP y el IP. En particular, los valores de la calicata 03, se observó una disminución en los valores de LL, que pasaron de un de un 43% a un 36%, estando por debajo de 40, lo cual representa una mejora en la trabajabilidad. Igualmente, el índice de plasticidad de la disminución gradual para el LL, pasando de un 18% a un 11% en este tramo, demuestra la mejora del material trabajado en cuanto a fuerza y resistencia. Por lo tanto, en su conjunto, los datos dilucidan que la adición de cantidades diversas de cemento al suelo arcilloso impacta positivamente sobre sus propiedades, sobre todo en la capa base al pavimento.

2.2 Bases teóricas

2.2.1 *Evaluación de las propiedades del suelo de subrasante con la adición controlada de cemento vencido tratado con cal*

La evaluación de las propiedades del suelo de subrasante con la adición controlada de cemento vencido tratado con cal parte del conocimiento que la estabilización química

de suelos busca mejorar las características mecánicas y resistencia del material natural para un mejor desempeño en obras civiles. La incorporación de cemento vencido, que de otro modo sería un residuo, tratado con cal, que actúa como un estabilizante tradicional, puede generar sinergias que promuevan la formación de compuestos cementantes y la mejora de parámetros como la resistencia al corte, la capacidad portante y la reducción de la plasticidad del suelo, fundamentales para la estabilidad de la subrasante. (Velásquez & Véliz, 2025)

Desde el enfoque teórico, la cal proporciona un efecto de floculación y aglomeración de partículas finas en suelos arcillosos, reduciendo la plasticidad y potencial de hinchamiento, mientras que el cemento aporta hidrolisis y posterior formación de productos cimentantes que aumentan la rigidez y resistencia del suelo tratado. Esta combinación puede optimizar la estructura micro y macro del suelo, aumentando la densidad seca máxima y mejorando índices CBR (California Bearing Ratio), los cuales son determinantes en la evaluación de la capacidad de soporte de la subrasante para el diseño de pavimentos y otras infraestructuras viales. (Alva & Pezo, 2021)

Finalmente, la teoría de la estabilización con aditivos destaca que la proporción adecuada y controlada de cemento vencido y cal es esencial para maximizar beneficios y evitar efectos indeseados como fragilidad o pérdidas de cohesión. Estudios recientes demuestran incrementos significativos en CBR y reducción de asentamientos diferenciales en suelos tratados con estas mezclas, mostrando que el reciclaje de cemento vencido tratado con cal no solo es viable, sino también una alternativa técnica y sostenible para la mejora del suelo de subrasante, contribuyendo con la economía y la gestión ambiental en proyectos de ingeniería civil. (Zamora & Ortiz, 2023)

2.2.1.1. Suelos

Los suelos son formaciones naturales compuestas por una mezcla compleja que incluye partículas minerales y materia orgánica. Los granos minerales que constituyen la

fase sólida de los agregados de suelo son el resultado de procesos naturales de descomposición y erosión de rocas, que se originan principalmente a partir de tres tipos fundamentales de rocas: ígneas, sedimentarias y metamórficas. Estos tipos de rocas, a lo largo de millones de años, se someten a la intemperización, un proceso en el que las rocas originales se desgastan y se fragmentan en partículas cada vez más pequeñas. Este proceso es clave, ya que las partículas resultantes, que varían en tamaño y composición, forman los componentes básicos del suelo que conocemos (Luna & Quispe, 2021).

Aparte de los componentes minerales, el suelo también contiene una cantidad significativa de materia orgánica. Esta materia orgánica, que consiste en desechos de plantas y animales en descomposición, es integral para mejorar las propiedades del suelo. Por un lado, es un material nutritivo directo para el suelo ya que lo suministra con nutrientes vitales para el crecimiento de las plantas. Por otro lado, se ha encontrado que la materia orgánica influye en la estructura del suelo al mejorar la retención de humedad y la aireación para promover la penetración de las raíces. Por lo tanto, el suelo se convierte en el entorno más esencial para el desarrollo de vidas vegetales que tiene enormes influencias en la agricultura, la ecología y el uso sostenible de los recursos naturales. (Luna & Quispe, 2021).

Actualmente, la clasificación del suelo es indispensable para determinar su comportamiento y su aplicabilidad en diversos campos, como la ingeniería civil y la construcción. Por lo tanto, los dos sistemas de clasificación predominantes son un sistema basado en el tamaño de grano y otro basado en las características de plasticidad o de formabilidad. Dos sistemas clasifican el suelo en función de la forma de la distribución del tamaño de partícula y la capacidad de deformación del suelo, el Sistema de Clasificación AASHTO, y el SUCS. Mientras que el sistema AASHTO clasifica los suelos principalmente para la construcción de carreteras, el SUCS es preferido por los ingenieros geotécnicos ya que se aplica a una amplia variedad de proyectos de construcción (Larico, 2024).

❖ Clasificación AASHTO

El sistema de clasificación AASHTO es una herramienta utilizada para organizar los suelos en siete grupos principales, cada uno identificado con las etiquetas A-1 hasta A-7. Este sistema se utiliza comúnmente en la ingeniería civil para evaluar la idoneidad de los suelos en proyectos de infraestructura, particularmente en lo que respecta a la construcción de pavimentos y la estabilidad de las subrasantes. Dentro de este sistema, los suelos clasificados en los grupos A-1, A-2 y A-3 son considerados predominantemente materiales granulares, lo que significa que estos suelos están formados principalmente por partículas que son lo suficientemente grandes como para ser clasificadas como grava o arena. Especímenes en los que menos del 35% de las partículas pasan a través del tamiz número 200 son suelos muy gruesos, ya que la mayor parte de ellas consiste en los materiales gruesos como la grava y la arena. (Larico, 2024).

Por otro lado, los suelos cuyas partículas que pasan a través del tamiz número 200 son mayores al 35% se clasifican en los grupos A-4, A-5, A-6 y A-7. Este tipo de suelo está formado por limos y materiales arcillosos, lo que le confiere propiedades muy diferentes a las de los suelos granulares. Este tipo de suelos tiene una mayor retención de agua y una mayor susceptibilidad a la expansión y contracción, lo que puede influir en su comportamiento cuando se utilizan en proyectos de construcción.

Para clasificar los suelos dentro de este sistema, se toman en cuenta tres factores clave relacionados con el tamaño de las partículas que los componen:

Tamaño de Grano:

- Grava: Esta fracción del suelo se define como aquella que pasa a través de un tamiz de 75 mm. Sin embargo, se guarda bajo un tamiz de 10 mm (2 mm). La grava, al ser una porción más grande, dota al terreno de una capacidad de drenaje optimizada.
- Arena: La fracción que pasa por el tamiz número 10 con una abertura de 2 mm y se tamiza por completo en el tamiz número 200 con una abertura de 0.075 mm se incluye.

La arena se utiliza como material para mejorar la capacidad de carga y aumentar la estabilidad del suelo y tiene alta permeabilidad al agua.

- Limo y Arcilla: Estas fracciones están formadas por diminutas partículas más diminutas que las demás pasan a través del tamiz número 200. Los suelos que contienen una alta proporción de limo y arcilla son más susceptibles a la expansión o contracción debido a los cambios en su contenido de agua, lo que puede afectar su rendimiento como material de construcción (Luna & Quispe, 2021).

Plasticidad:

- Limoso: Este término se refiere a suelos que tienen un índice de plasticidad igual o inferior a 10. Los suelos limosos son aquellos en los que las partículas finas tienen una baja capacidad de retención de agua, lo que resulta en una menor tendencia a la expansión o contracción. Este tipo de suelo es más fácilmente manipulable, pero no ofrece una gran cohesión, lo que puede limitar su uso en ciertas aplicaciones de construcción sin un adecuado tratamiento o estabilización.
- Arcilloso: Por otro lado, en este caso, los suelos tienen un índice de plasticidad superior a 10. Eso significa que las partículas finas del suelo pueden mantener más agua. La arcilla satura tiende a tener un cambio volumétrico cuando hay un cambio en la humedad, lo que crea riesgos de estabilidad y durabilidad cuando se construyen estructuras con este tipo de suelos. Sin embargo, la mayor cohesividad de estos suelos hace que sean útiles en una gran cantidad de aplicaciones que van desde aquellos que requieren compresión resistente en donde se los puede tratar adecuadamente para disminuir la expansividad. (Fonseca, 2023).

En el caso de que el suelo contenga cantos o guijarros, cuyo tamaño es superior a 75 mm, estos se excluyen de la porción de la muestra utilizada para la clasificación, pero se registra su porcentaje (Fonseca, 2023).

La clasificación de un suelo bajo este sistema se determina aplicando las pruebas en orden secuencial, desde la izquierda hacia la derecha en la tabla, y el primer grupo que coincida con los datos obtenidos es la clasificación correspondiente. Además, se incluye un índice denominado índice de grupo (IG) que ayuda a estimar la calidad de un suelo como material de subrasante para carreteras (Ramírez & Guerra, 2021).

❖ **Clasificación (SUCS)**

El (SUCS) fue creado por el ingeniero A. Casagrande, inicialmente con el propósito de clasificar y agrupar rápidamente los suelos en el contexto de proyectos militares durante la Segunda Guerra Mundial. Este sistema sigue siendo ampliamente utilizado hoy en día para identificar las características de los suelos, especialmente en la ingeniería civil, donde es fundamental comprender las propiedades de los materiales para su uso en la construcción y otras infraestructuras. Para los suelos, el SUCS divide los suelos en dos sistemas principales que son suelos de grano grueso y suelos de grano fino, y estos también se clasifican adicionalmente como distintas categorías basadas en su tipo de material y su comportamiento. (Mendoza, 2023).

Los suelos de grano grueso están compuestos principalmente de partículas más grandes, con diámetro, como la grava y la arena. El suelo, en el que menos del 50% de las partículas pueden pasar a través del tamiz con diámetro de malla de 200 micrómetros, se clasifica como grano grueso. Hay dos símbolos que se utilizan para clasificar esos suelos: G y S. G se refiere a una grava, principalmente; mientras S corresponde a la arena dominada los suelos. Esta clasificación es importante, ya que el suelo de grano grueso en suelos dominados con partículas más grandes tiende a tener una buena característica de drenaje y es generalmente más estable debajo de la carga en comparación con los suelos finos. (Mendoza, 2023).

Los suelos de grano fino, por otro lado, tienen más del 50% de sus partículas que pasan a través del tamiz número 200, lo que significa que están compuestos principalmente por partículas más pequeñas, como limo y arcilla. Como resultado, los dos

suelos difieren en términos de capacidad para retener agua, capacidad de compactación y propiedades, lo que los hace susceptibles a la expansión y contracción con cambios en el contenido de humedad. En suelos inorgánicos de grano fino, SUCS utiliza las letras M para los suelos de limo y C para los suelos de arcilla. Estos suelos son cohesivos y pueden requerir tratamiento para evitar deformaciones graves. (Ramirez & Guerra, 2021).

Adicionalmente, hay suelos orgánicos que, aunque retenidos en el orden Mollisol, muestran propiedades únicas debido a su alta cantidad de materia orgánica. Para los suelos orgánicos, el sistema utiliza O para el limo orgánico y la arcilla orgánica, y Pt para los suelos sumamente orgánicos como la turba, el lodo y otros suelos con un contenido extremadamente alto de materia orgánica. Los suelos orgánicos suelen ser más compresibles y menos estables, por lo que requieren consideraciones especiales en proyectos de construcción (Ramirez & Guerra, 2021).

Este sistema tiene como objetivo proporcionar una clasificación eficiente y rápida, ayudando a los ingenieros a identificar el tipo de suelo y su comportamiento potencial en proyectos de construcción y otras aplicaciones.

2.2.1.1.1. Propiedades a obtención de suelos

❖ Granulometría

La granulometría es un procedimiento utilizado para investigar el suelo y comparar la forma en que se distribuyen las partículas de diferentes tamaños dentro de una muestra. El método más popular aplicado en este tipo de análisis es el tamizado. El tamizado implica colocar la muestra de suelo sobre una serie de tamices con diferentes diámetros de abertura, lo que permite dividir el suelo en gramos de tamaño. Cada uno. El tamiz restringe el paso de partículas solo dentro de un cierto rango de tamaño, lo que permite calcular con precisión la fracción de material suficientemente grande o pequeña del total. Una vez que las partículas están clasificadas, las observaciones resultantes pueden presentarse en forma de tablas detalladas o gráficos simplificados. El primero muestra la cantidad precisa

de material en cada uno de los rangos de tamaño, mientras que el segundo proporciona una idea general de del suelo. (Marquez, 2024).

En resumen, este trabajo antropométrico no se trata simplemente del conocimiento de carácter en el terreno en este caso el suelo, sino que un gran parte de su importancia rige que el suelo es un material antagonista en la estructura, por lo que sus propiedades regulan el comportamiento del suelo bajo acción de diferentes condiciones, por lo tanto, la granulometría se puede llamar una de propiedades base que sugiere el conocimiento de la estructura del suelo y sus propiedades para múltiples campos de Ciencia e Ingeniería. (Cueva, 2024).

❖ Límites de Atterberg

Los límites de Atterberg son una herramienta esencial utilizada para clasificar las partículas finas que constituyen una muestra de suelo; describen la conducta de las partículas de suelo en función de su contenido de agua. Este enfoque clasifica el suelo en cuatro estados basados en el contenido de agua, estos son: líquidos, plásticos, semi-sólidos y sólidos. Cada uno de los cuatro estados informa sobre cómo el contenido de agua influye en las propiedades físicas y mecánicas del suelo; ya sea más fluido, plástico o duro según la humedad. Este análisis es significativo porque proporciona una visión del comportamiento de los suelos en diferentes condiciones. (Alarcón, 2024).

El límite de Atterberg se encuentra presente en dos de los cuatro estados, ya que su consideración es netamente limitante dentro de los estados líquidos y plásticos. Estos son esenciales, dada la oportunidad que aportan para medir y entender la capacidad de deformación de un suelo y, por ende, su control y "estabilización". El límite líquido es el nivel de agua que establece el límite donde un suelo es un sólido, y deja de ser manipulable el nivel de complejidad que lo hace ser completamente líquido. El segundo, es el límite plástico. Como ya analizamos en el límite líquido, el nivel plástico sería algo similar al de transformación, ya que nos indica que el suelo es plástico, es decir, que puede ser moldeado. La forma en la que el suelo puede ser moldeado tiene a lo menos una serie de

implicancias pues los ingenieros que tratan con él, deben procurar que este sea trabajable y movable sin quiebres.

Este enfoque detallado en los límites de Atterberg proporciona una visión más profunda de cómo los suelos interactúan con el agua, algo crucial para prever su comportamiento en diferentes contextos. Gracias a este análisis, es posible predecir cómo un suelo se comportará en una obra de construcción o en el cultivo de plantas, ya que la plasticidad y la capacidad de retención de agua del suelo son características clave en estas aplicaciones.

- **El límite líquido** de un suelo es una medida de cantidad de agua puede absorber antes de pasar a un estado líquido y luego a un estado plástico, donde las partículas del suelo se unen para formar una masa. El límite se calcula a través de la Copa de Casagrande, un instrumento mecánico especializado que permite al usuario evaluar la fluidez del material en condiciones controladas. La copa se emplea para aplicar una serie de golpes a la muestra de suelo, lo que provoca que el material fluya progresivamente. El total de golpes utilizados en la prueba para que el suelo se desplace hasta cierto punto determinado, siguiendo normas estandarizadas, es lo que define el límite líquido. Este proceso es fundamental para entender cómo se comportará el suelo en condiciones de humedad, ya que el límite líquido está estrechamente relacionado con la capacidad del suelo para retener agua y cómo se comporta bajo diferentes condiciones climáticas o de uso (Mendoza & Soncco, 2025).
- **Sobre el límite plástico**, este punto destaca el contenido de agua del suelo cuando el material está en un punto medio, entre su condición plástica, caracterizada porque el suelo se siente flexible y maleable, y su condición sólida, donde el suelo ya no puede deformarse con facilidad. Rolado Se utiliza para identificar este punto de límite, que consiste en manipular una muestra de suelo sobre una superficie plana para eliminar su agua gradualmente a medida que se trabaja en el material. Finalmente, el proceso de rolado continuará en el rolado hasta que el suelo forme pequeñas piezas o se desmorone formando grietas, mostrando pistas de alcanzar el límite plástico. Tal límite

es crucial ya que nos permite analizar el suelo y comprender el grado de cohesión y plasticidad a la que puede llegar mientras mantiene su forma y diseño inicial. Esto le proporcionará información sobre el suelo ya que le permite observar cómo se comportará en el futuro cuando quizás lo use o modifique en su industria. (Romero, 2025).

Ambos límite líquido y plástico; estos son los límites fundamentales y las descripciones de estos dos límites son importantes para la predicción y la comprensión de algunas propiedades específicas de los suelos, y las propiedades relacionadas bajo diferentes condiciones. Esto es importante en muchas áreas y aplicaciones, las aplicaciones de la construcción del suelo, agricultura, y la ingeniería en general. Estos límites son críticos para comprender cómo un suelo reacciona al agua, y cómo la capacidad de deformación y resistencia de un suelo afectan a otro en términos de contenido de agua.

Tabla 2

Identificación de suelos en función del IP

Índice de Plasticidad (IP)	Clasificación	Descripción
$IP > 20$	Alta Plasticidad	Suelos con alta concentración de arcilla.
$7 < IP \leq 20$	Media Plasticidad	Suelos predominantemente arcillosos.
$0 < IP \leq 7$	Baja Plasticidad	Suelos con baja cantidad de arcilla y poca plasticidad.
$IP = 0$	No Plástico	Suelos sin presencia significativa de arcilla.

Nota. Tomada de MTC (2013)

❖ Contenido de humedad

El contenido de humedad es un concepto fundamental en el análisis de suelos, ya que proporciona información crucial sobre la cantidad de agua contenida en una muestra de suelo, comparada con su peso cuando el material está completamente seco. Este indicador no solo refleja las propiedades físicas del suelo, sino que también ofrece una visión detallada de su comportamiento en diversas condiciones ambientales y de carga. Conocer el nivel de humedad es crucial para anticipar cómo responderá el suelo ante

eventos de saturación, evaporación o ante fluctuaciones térmicas. (Vilchez & Sanchez, 2024).

El contenido de humedad del suelo se determina mediante un proceso que consta de varias etapas de medición. En primer lugar, se toma una muestra representativa del suelo en su estado natural, lo que significa que la muestra incluye toda el agua que contiene. Se pesa cuidadosamente para determinar su peso original, que se conoce como el peso de la muestra húmeda. Luego, la muestra se seca por completo. Esto se logra mediante el uso de un horno controlado a la temperatura a la que el agua coincide. Durante este proceso, toda el agua en la muestra se evapora y solo queda material del suelo sólido. (Vilchez & Sanchez, 2024).

Regularmente, este término se da en términos porcentuales, ya que es mucho más sencillo de comparar y de usar en diversos ámbitos. El término Suelo contenido de humedad es un término universal que tiene un gran impacto en los campos de estudio y uso. En agricultura, por ejemplo, cantidad de agua en el Solubilidad del suelo es crítico para crecimiento de plantas que directamente el contenido de agua disponible para las raíces. En ingeniería civil, por otro lado, cantidad de agua que so paso se agrega al suelo es crítico para información proporción agua en su análisis de carga, ya que condiciones con exceso de agua son más propensas a comprender que suelo puede expandirse o colapsarse, lo que puede, finalmente, destruir la infraestructura humana, como los edificios, los caminos o los puentes.

El contenido de humedad es esencial para analizar el comportamiento del suelo frente a la humedad, situación que repercute en determina su idoneidad para distintos usos, desde la agricultura hasta la construcción. Este parámetro ayuda a garantizar que el suelo se utilice de manera adecuada y eficiente, evitando problemas relacionados con la retención o el drenaje excesivo de agua.

❖ Densidad y humedad óptima

La densidad y la humedad óptima son dos conceptos fundamentales que se utilizan para evaluar y optimizar la compactación del suelo en proyectos de ingeniería civil y construcción. La densidad máxima se refiere al peso más alto de una muestra de suelo seco que se puede alcanzar por unidad de volumen cuando se somete a un proceso de compactación. Es decir, representa el estado del suelo en el que se ha logrado la mayor compactación posible. Por otro lado, la humedad óptima es el contenido de agua ideal que el suelo debe tener para alcanzar esa máxima densidad. Este es el punto donde el agua contenida en el suelo ayuda a que las partículas se acomoden de manera más eficiente durante el proceso de compactación, sin que haya un exceso de agua que reduzca la efectividad de la compactación ni una falta de agua que impida que las partículas se agruparán adecuadamente (Amari & Román, 2025).

En cuanto al concepto de humedad óptima, es crucial debido a que cuando el contenido de agua es más alto o más bajo que se des, el suelo no se compacta de manera efectiva. El suelo con demasiada agua no se puede compactar correctamente debido a que las partículas del suelo están demasiado separadas. No se logra la máxima densidad. Por otra parte, igualmente no se compacta de manera eficiente si el suelo está demasiado seco, porque las partículas no pueden deslizarse y ajustarse perfectamente entre ellas, lo que disminuye la densidad. (Añanca, 2025).

Estos parámetros son particularmente críticos para los proyectos de construcción, ya que aseguran que el suelo en el que se encuentra el edificio sea suficientemente estable y fuerte para apoyar grandes cantidades de carga sin comprimirse o fallar. La compactación de los suelos es particularmente crítica en la construcción de carreteras, cimientos y presas, ya que el asentamiento del terreno incluso después de varios años puede crear condiciones inseguras.

Para medir, la máxima densidad y la humedad óptima del suelo se utiliza el ensayo de Proctor modificado, un procedimiento de laboratorio común en la ingeniería que considera cómo la densidad del suelo varía con diferentes cantidades de humedad. Es crucial para definir las condiciones más favorables en que se debería compactar el ensayo

luego en el terreno de construcción, para garantizar el rendimiento máximo del material. (Añanca, 2025).

El análisis de la densidad máxima y la humedad óptima no solo proporciona una base para la correcta compactación del suelo, sino que también ayuda a prevenir problemas de estabilidad en el futuro, convirtiéndolo en un componente esencial en la ingeniería geotécnica y en la construcción (Añanca, 2025).

❖ **Capacidad portante**

La capacidad portante es un parámetro esencial en la planificación y ejecución de obras civiles. Es la cantidad máxima de carga o peso que el terreno o suelo puede soportar de forma segura sin sufrir deformaciones excesivas o colapsar. Al diseñar cualquier estructura que requiera reposar sobre el terreno, la capacidad de carga juega un rol fundamental en su resistencia. Algunas estructuras que descansan en el terreno son edificios, carreteras, puentes y ferrocarriles. La capacidad portante del suelo va a depender de sus propiedades, como su composición, tipo de partículas, nivel de humedad, densidad y grados de compactación. Estas propiedades definen cómo el terreno va a reaccionar bajo la presión de una carga. (Campos, 2025).

La capacidad portante, en el transporte, es qué tanto peso puede llevar subir un suelo a raíz del frecuente paso de vehículos a través de las rutas y calles, como camiones, autobuses y demás medios de transporte. Todos los suelos varían en la capacidad de soportar este tipo de peso; un suelo mal preparado o simplemente malo para el peso de los autos sufre fisuras, hundimientos y erosión a raíz del inmenso peso que lleva continuamente. En otras palabras, los suelos más sólidos no pueden ceder a la presión de un gran grupo de vehículos, pero los más suaves o arenosos lo harán, dejando así al descubierto la vialidad dañada. (Barrios, 2024).

Calcular simplemente la cantidad de carga de tierra que un terreno puede soportar es un factor esencial para garantizar la resistencia y la durabilidad de la infraestructura de transporte. Por lo tanto, algunas de las pruebas que un ingeniero podría realizar incluirían

ensayos de carga o evaluar cómo resiste el suelo al corte y, en consecuencia, a cuánta fuerza puede soportar sin ceder bajo la presión del tráfico sin comprometer su integridad. Dependiendo de los resultados de estas pruebas, se pueden implementar diversas soluciones de ingeniería, como la mejora de la compactación del suelo, el uso de materiales más resistentes para la construcción de la vía o la instalación de cimentaciones especiales que distribuyan mejor el peso.

Este análisis es crucial en la planificación y construcción de carreteras y otras infraestructuras de transporte, ya que la capacidad del suelo para soportar el peso del tráfico. Además de eso, influye no solo en la seguridad y estabilidad de la edificación sino también en el costo y tiempo de vida de ella. Como resultado, determinar la capacidad de carga del suelo es otro paso fundamental para que las soluciones de infraestructura sean seguras, eficientes y duraderas. (Condo et al., 2024).

2.2.1.2. Cemento

El cemento, que es un tipo de material hidráulico ampliamente utilizado en la construcción, se fabrica a partir de la molienda de clinker, un compuesto obtenido a partir de la cocción de una mezcla específica de caliza, arcilla y otros minerales a temperaturas muy altas en un horno. Los silicatos de calcio hidráulicos presentes en el clinker son los agentes fundamentales que permiten al cemento alcanzar su resistencia y endurecer adecuadamente. Es decir, sin estos componentes, el cemento no podría adquirir la dureza y durabilidad que lo caracteriza cuando se expone a la humedad (Mamani, 2023).

Durante el proceso de fabricación, una vez que el clinker ha sido obtenido, se somete a un proceso de molienda fina, y es aquí cuando se le agrega yeso (un sulfato de calcio) para controlar el tiempo de fraguado. El yeso cumple una función crucial: ralentiza el proceso de endurecimiento del cemento para que no se solidifique demasiado rápido, lo que facilitaría su manejo, mezclado y aplicación en los proyectos de construcción. El yeso le permitió manejar el cemento durante mucho tiempo sin que perdiera sus propiedades, lo que significaba que era posible trabajar de una manera más eficiente y controlada.

Es importante mencionar que el cemento en realidad no endurece instantáneamente al ser vertido en agua; en su lugar, es un catalizador en una serie de reacciones químicas iniciadas por el silicato de calcio en el clínker, un producto intermedio de la fabricación de cemento, y es precisamente este proceso el que le confiere su fuerza y resistencia características. Finalmente, el hecho de que sea posible agregar aditivos adicionales también permite ajustar una variedad de sus propiedades, que van desde la resistencia al agua y las temperaturas extremas hasta la capacidad de trabajo adicional. Recopilación.

2.2.1.2.1. Cemento caducado

El cemento caducado se refiere a aquel cuyo periodo de almacenamiento ha superado el límite establecido por las normas internacionales. La normativa relevante, como la ASTM C150 o la NTP 334.090 en Perú, define que el cemento pierde parte de sus propiedades tras caducar, principalmente su capacidad de hidratación y su resistencia a la compresión. Sin embargo, puede seguir siendo parcialmente útil si se somete a pruebas específicas para determinar su efectividad en usos no estructurales o como estabilizante de suelos, siempre bajo control y conforme a los procedimientos establecidos en normas como la ASTM D1633, que regula los ensayos de resistencia de suelos estabilizados (Mamani, 2023).

El cemento caducado mejora la resistencia a la compresión del suelo estabilizado, al aportar cierta cohesión y rigidez incluso después de haber superado su fecha de vencimiento. Sin embargo, el aspecto que tiende a empeorar es su capacidad de hidratación, ya que, con el tiempo, el cemento pierde eficacia en la reacción con el agua, lo que puede reducir su capacidad para formar compuestos hidratados fuertes y, por ende, su capacidad de adhesión y resistencia a largo plazo. Teóricamente, el cemento caducado conserva parte de sus propiedades cementantes debido a la presencia de compuestos como el silicato tricálcico (C3S) y el aluminato tricálcico (C3A), aunque su capacidad de hidratación disminuye con el tiempo (Mamani, 2023).

2.2.1.3. Cal

La cal es un material químico natural que se origina principalmente de la roca caliza, un tipo de roca sedimentaria compuesta mayoritariamente por carbonato de calcio (CaCO_3). Esta sustancia se forma a lo largo de miles de años a partir de la compactación de restos de organismos marinos y vegetales, que se depositan en el fondo de cuerpos de agua. La caliza es reconocida como uno de los materiales más abundantes en la naturaleza debido a su prevalencia en formaciones geológicas. Este tipo de roca sedimentaria juega un papel indispensable en una serie de procesos industriales. La caliza es la materia prima para la producción de varios tipos de cal, necesarios para la construcción, la agricultura y la industria química. (Ccansaya & Tello, 2022).

El nombre "cal" generalmente se utiliza no solo para describir un compuesto en particular, sino también pequeño grupo de compuestos que se forman al reaccionar con otros elementos químicos cuando el carbonato de calcio se calcina. Tales combinaciones pueden ser óxido de calcio, que también se llama cal viva, combinaciones de cal y magnesio, hidróxidos de estos elementos que se forman por la reacción con óxido y agua. La cal sencilla se obtienen por el procesamiento de la piedra caliza a altas temperaturas, pero mediante la adición de ciertos elementos o someten al proceso se puede lograr sustancias muy diferentes que tengan muchas aplicaciones diferentes. (Carmen & Escate, 2025).

2.2.1.3.1. Tipos de cal

La cal se puede clasificar en varias formas según los procesos químicos a los que se someta, y estas variaciones determinan sus aplicaciones específicas. Entre los tipos más comunes se encuentran la cal viva y la cal hidratada, cada una con características y usos únicos.

❖ Cal Viva

El otro producto de la calcinación es conocido como cal viva y es el primero en ser obtenido durante la primera etapa. La cal viva se produce calentando la caliza a temperaturas extremadamente altas, alcanzado entre 700- 900OC. Durante este proceso, el carbonato de calcio de la caliza se descompone en el material original y dióxido de carbono CO₂. La reacción involucrada en la creación de la cal viva es la liberación de dióxido de carbono de carbonato de calcio; en ecuación: $\text{CaCO}_3 = \text{CaO} + \text{CO}_2$. Cabe señalar que este es un proceso exotérmico, lo que significa que ocurrirá sin la aplicación de calor. La cal viva es una de las sustancias más reactivas y se encuentra con más conveniencia en la industria de la construcción, donde se convierte en el material principal para la producción de cemento de varios tipos. También es importante en la fabricación de compensados y en el proceso VDI mencionado anteriormente (Amaya & Soberon, 2024).

❖ Cal Hidratada

Una vez obtenida esta cal viva, puede someterse a un proceso adicional de hidratación en el que se mezcla con agua (H₂O). Este proceso resulta ser exotérmico, es decir, libera calor al formar hidróxido de calcio (Ca (OH)₂), conocido como cal hidratada. Esta forma de cal resulta ser menos reactiva que la cal viva y se utiliza en aplicaciones tales como morteros, yesos, tratamiento de aguas o en la agricultura. En particular, la cal hidratada es útil en casos en que es necesario un óxido más formal, estable o manipulable, con menos reacciones adversas en su manejo (Malaver, 2024).

Los dos tipos de cal, viva e hidratada, son de gran importancia para las industrias y tienen muchos usos en disciplinas como la construcción, la agricultura y el tratamiento del agua, y, sin embargo, tienen sus características y aplicaciones únicas.

2.2.2 Estabilización de suelos

En diversas ocasiones, los suelos en su estado natural no reúnen las propiedades necesarias para ser utilizados en proyectos de construcción debido a su limitada capacidad de soporte. Esta insuficiencia se debe a varios factores que afectan su estabilidad, los



cuales están relacionados con características como la inestabilidad volumétrica, la alta compresibilidad, la estructura y tamaño de sus partículas, así como su resistencia mecánica. Para solucionar estos problemas y mejorar la situación anterior del suelo, un procedimiento como la erosión del suelo se lleva a cabo. El procedimiento implica cambios en las propiedades de la tierra, lo que lleva al hecho de que se vuelve mucho más capaz de resistir las cargas y tensiones presentes (Cubas, 2025).

La mejora del comportamiento del suelo mediante estabilización es una técnica crucial en proyectos y geotécnica, "cuyo objetivo principal es alterar las propiedades físicas y mecánicas del suelo para poder utilizarlo razonablemente". En general, la estabilización intenta mejorar el suelo al hacerlo deformar mucho mejor. Cómo función esto significa que después de ser tratado estabilizado, el suelo será menos probable que pueda comprimirse bajo carga. Esto también reducirá las propiedades sensibles al agua del suelo, también en una gran escala. La humedad en el suelo alterará también las propiedades de este lodo y modelará ondulaciones o compresiones importantes en la calidad de la estructura (Hanco, 2021)

Otro objetivo esencial es minimizar la erosión. la erosión es el proceso por el cual se eliminan las capas superficiales de un suelo que debilitan su resistencia y lo hacen inestable. Al estabilizar el suelo, se apoyan las partículas que lo componen; por lo tanto, la probabilidad de que el agua o el viento provoquen la desintegración de estas partículas se reduce drásticamente. Finalmente, se persigue regular los cambios volumétricos del suelo, lo que sería expansiones o contracciones del suelo debido a condiciones cambiantes del ambiente. En general, estos objetivos permiten que suelos que de otro modo no serían adecuados para la construcción en términos de resistencia o de comportamiento inestable se conviertan en material adecuado para cimentar una estructura.

Además, la estabilización convierte los suelos marginales en una subrasante apropiada para los pavimentos y otras estructuras viales, ya que cumple con los mínimos y máximos requeridos en los preceptos del Ministerio de Transporte y Comunicaciones.

La modificación de las propiedades, como la capacidad de carga del suelo, permite que se utilicen terrenos previamente considerados inaptos para proyectos de construcción.

Existen varias técnicas para la estabilización de suelos, las cuales se describen a continuación:

2.2.2.1. Estabilización mecánica

es un proceso clave en la ingeniería geotécnica que se utiliza para mejorar las propiedades físicas de los suelos, especialmente en proyectos de construcción y pavimentación. El proceso en cuestión implica principalmente la compactación del suelo, ya sea de forma estática o dinámica, dependiendo de las condiciones exactas del proyecto y el tipo de suelo que se deba tratar. El propósito principal de la técnica en cuestión es incrementar la densidad del suelo, lo que aumenta considerablemente su resistencia a la compresión y, en última instancia, la capacidad de resistir la carga²⁰¹⁸. Además, la compactación disminuye la porosidad del suelo, reduciendo así su permeabilidad y eliminando posibles problemas asociados con la penetración⁸. Estas cualidades son cruciales para la estabilidad del último y la durabilidad de las estructuras construidas encima (Ramos, 2025).

En algunos casos, la estabilización mecánica puede implicar la mezcla del suelo con otros tipos de materiales o suelos que tengan propiedades más favorables. Estos materiales adicionales se incorporan con el fin de cumplir con los requisitos técnicos específicos del proyecto, como mejorar la resistencia o garantizar que el suelo tenga la estabilidad necesaria para soportar las cargas de las infraestructuras a largo plazo. Esta técnica es particularmente útil cuando se trabaja con suelos naturales que no cumplen con los estándares de calidad requeridos para el proyecto, ya que permite modificar sus características físicas de manera eficiente (Ramos, 2025).

2.2.2.2. Estabilización física

Este proceso se basa en cambiar las propiedades físicas del suelo sin cambiar sus características químicas. La estabilización física es un contribuyente a la gente que aplica métodos para mejorar las propiedades mecánicas de un suelo modificando su estructura física. La estabilización física es común en su relación con la combinación de diferentes tipos de suelo. La combinación de varios tipos de suelo mejora las propiedades, es decir, optimiza las propiedades individuales necesarias para este tipo de construcción. Al mezclar suelos con diferentes características en un compuesto, los suelos dispersos de una mezcla tienen una mayor capacidad de carga, permeabilidad reducida, una mejor estabilidad de forma con diferentes cohesiones dispersas para combinar suelos con menos cohesión, y menos estabilidad de forma. Este proceso es cómodo si el suelo no es adecuado para la construcción. Además, la estabilización física no requiere procedimientos más caros y complicados (Ramos, 2025).

2.2.2.3. Estabilización química

Otra forma es a través la estabilización química, la cual es una técnica que consiste en incorporar ciertos productos o agentes químicos al suelo, con el propósito de modificar de forma más rápida y controlada sus propiedades. A diferencia de la compactación, la estabilización química se centra en modificar la estructura interna del suelo para lograr una mayor cohesión y resistencia. Esta técnica se logra al añadir a los suelos cal, cemento o polímeros, cumpliendo con una reacción química el cual refuerza el suelo y mejora sus cualidades para soportar cargas. La finalidad de la estabilización química es que el suelo se haga más compacto y resistente, cualidades fundamentales para su rendimiento a largo plazo y que suelen ser esenciales cuando existe una constante presión en él o cambia de nivel de humedad frecuentemente y en situaciones climatológicas extremas. (Ramos, 2025).

Además, la estabilización química ayuda a minimizar la contracción y expansión del suelo, lo cual es crucial para mantener la estabilidad estructural de cualquier construcción. El proceso es más apropiado para suelos inherentemente inestables o problemáticos

debido a su alto límite plástico o a su vulnerabilidad a la descomposición en condiciones específicas. Al mejorar la calidad del suelo, la estabilización química garantiza que cumpla con los requisitos de resistencia y durabilidad necesarios para los proyectos de construcción. (Ramos, 2025).

2.2.3 Subrasantes

La subrasante es una capa fundamental de suelo que forma la base de cualquier vía de tránsito, sirviendo como soporte principal para el resto de la estructura del camino, incluyendo la acera o pavimento. Esta capa tiene como función esencial distribuir el peso y las cargas que el pavimento recibirá a lo largo de su vida útil. Para cumplir eficazmente con esta tarea, la subrasante debe extenderse a una profundidad suficiente como para que no se vean afectadas las cargas de diseño que dependen del volumen de tráfico que se espera transite por la vía (Tacca, 2021).

La formación de la subrasante puede lograrse a través de procesos de corte o relleno de tierra, dependiendo de las condiciones del terreno y los requerimientos del proyecto. El espesor del pavimento o capa superior depende de varios factores, pero uno de los más importantes es la calidad de la subrasante, ya que una subrasante bien compactada y de buena calidad proporcionará una mayor estabilidad a la estructura del camino (Tacca, 2021).

Tabla 3

Jerarquización de la subrasante en base al CBR

Categorías de Subrasante	Valor CBR
Inadecuada	CBR <3%
Ineficiente	CBR $\geq$ 3% y < 6%
Regular	CBR $\geq$ 6% y < 10%
Buena	CBR $\geq$ 10% y < 20%
Muy Buena	CBR $\geq$ 20% y < 30%
Excelente	CBR $\geq$ 30%

Nota. Tomada de MTC (2013)

La calidad de la subrasante está determinada por la capacidad de carga o resistencia que el suelo puede ofrecer frente a las fuerzas que se le aplican. Además, la sensibilidad del suelo a la humedad es otro factor clave, ya que los cambios en la humedad del suelo pueden provocar variaciones en el volumen de la subrasante, afectando la estabilidad del pavimento. Por ello, la subrasante debe ser cuidadosamente diseñada y preparada para asegurar que pueda soportar las cargas previstas, independientemente de las variaciones estacionales o de humedad que puedan ocurrir (Arribasplata, 2025).

La subrasante es la última capa de terreno que forma la base de una carretera, preparada después de excavar y depositar tierra hasta alcanzar la altura deseada para la estructura del pavimento. Es donde se colocan las diferentes capas del pavimento, que son la subbase y la base, además de la capa de rodadura. La función principal de la subrasante es proporcionar fortaleza a las cargas que se trasladen a través de las capas del pavimento, lo que permite al peso del tráfico no llevar a deformidades o fallas en la calzada (Caceres, 2024).

Los suelos que conforman la subrasante deben ser seleccionados cuidadosamente en función de ciertas características que aseguren su estabilidad y resistencia. Estos suelos deben ser compactados por capas sucesivas durante la construcción, con el fin de garantizar que la subrasante sea lo suficientemente fuerte y estable para soportar las cargas del tráfico durante un largo período. Esta compactación es esencial, ya que asegura que no haya movimientos indeseados o asentamientos en la base de la carretera, lo que podría afectar su integridad (Huaman, 2024).

Según el MTC, para que los suelos que conforman la subrasante sean aceptados, los primeros 0.60 m por debajo de la capa superior de la subrasante deben cumplir con ciertos estándares. En efecto, se deberá contar con un CBR de no menos de seis, lo que significa que los suelos tienen el potencial para apoyar un tráfico eficiente, de lo contrario, el ingeniero a cargo deberá analizar el tipo de suelo y determinar algunas de las alternativas para mejorar recurso. Algunas de las opciones para mejorar la subrasante incluyen técnicas como estabilización mecánica o química, o el uso de geosintéticos, entre

otras. El ingeniero seleccionará la opción que sea más adecuada tanto desde el punto de vista económico como técnico, de acuerdo con las necesidades del proyecto y las características del terreno (Armenta et al., 2025).

2.2.4 Estabilización de la subrasante con cal

La estabilización de la subrasante con cal es una técnica ampliamente utilizada en la ingeniería civil para mejorar las propiedades mecánicas de los suelos, un proceso clave que busca optimizar las condiciones de los suelos que servirán como base para diversas estructuras. Este procedimiento tiene como propósito principal aumentar la estabilidad y la capacidad de carga del suelo, de manera que pueda soportar cargas pesadas sin que se produzcan deformaciones o fallos. En proyectos de infraestructura vial es particularmente importante, debido a que la subrasante debe soportar el peso de los vehículos que transitan por ella, así como la presión que generan las infraestructuras construidas en ella, tales como pavimentos, caminos o edificaciones (Castro & Juárez, 2024).

Este proceso consiste en una serie de reacciones químicas entre la cal y las partículas del suelo, principalmente los más finos, de arcilla, que tiene un impacto directo sobre las propiedades del material. Uno de las reacciones más cruciales es la del cambio de iones y la floculación, que describe cómo las partículas del suelo, en especial las más finas, se agrupan y se atraen una a la otra. Este fenómeno disminuye la plasticidad del suelo – es decir, sujeta a deformación, es más resistente a las cargas significativas, resistiendo su deformación significativa (Castro & Juárez, 2024).

Asimismo, la cal tiene la capacidad de cumplir también una función cementante. Al reaccionar con los elementos del suelo, especialmente con las partículas de arcilla, la cal funciona de aglomerante, es decir, se produce una especie de “cemento” que hace que el suelo sea rígido y estable. Este efecto es especialmente valioso, ya que, como resultado, el suelo se vuelve notablemente más sólido, lo que significa que es capaz de soportar cargas pesadas. En consecuencia, el suelo se vuelve mucho más resistente. Sin embargo, mi grado de compatibilidad depende de muchos factores diferentes, incluido el tipo preciso

de cal que se usa, la cantidad de arcilla en el suelo con el que interactúa y también el entorno, es decir, la temperatura y la humedad. Uno de los aspectos cruciales es que, una vez que se ha combinado con el suelo, la mezcla de cal y suelo se compacte rápidamente, o de lo contrario, el proceso de cementación se realiza lo más eficiente y eficazmente posible. (Zambrano & Zambrano, 2023).

Para finalizar, la carbonatación es una de las reacciones más importante de la estabilización de los suelos con cal. Esta acción se produce cuando el dióxido de carbono presente en el aire reacciona con el hidróxido de cal de la cal, lo que da lugar al carbonato de cal, lo que contribuye a lograr la fuerza adicional del suelo. Aunque este proceso ocurre con el tiempo, es esencial para consolidar la mejora del terreno y aumentar su capacidad de carga (Vizcarra & Lujan, 2021).

El Ministerio de Transporte declaró que la estabilización de la subbase con cal busca fortalecer el suelo, reducir su plasticidad y reducir su sensibilidad a la humedad. De esta manera, el suelo se vuelve apto para su uso en carreteras, caminos y otras estructuras pesadas. Sin embargo, para que esta medida sea realmente efectiva, se deben cumplir ciertos requisitos técnicos. Por ejemplo, el suelo debe estar libre de materiales orgánicos y contaminantes. El diámetro de las partículas del suelo no debe exceder 1 1/3 mm. Además, la cal debe ser de alta calidad, ya sea cal viva o cal hidratada, que cumpla con las normas AASHTO (Vizcarra & Lujan, 2021).

Es crucial que la cal sea suficientemente seca al aplicarse, para garantizar que fluya fluidamente y se entrelace eficazmente con el terreno. En cuanto a la dosificación, los suelos más apropiados para este proceso son aquellos con un alto contenido de arcilla, ya que estos materiales son los que más se benefician de las propiedades estabilizadoras de la cal. Dependiendo del tipo de suelo y su ubicación en la estructura, la dosificación de cal varía: para las capas superficiales se recomienda una proporción de entre el 5 y el 10% de cal en peso, mientras que para las capas inferiores esta proporción puede ser de entre el 1 y el 3% (Arohuilca, 2024).

El tipo de estabilización mencionado no solo mejora las propiedades del material del suelo en términos de mecánica, sino que también hace que las infraestructuras construidas sobre él sean más duraderas, seguras y resistentes. Por lo tanto, al seguir estos principios, los ingenieros garantizarán que los caminos, puentes u otras infraestructuras que construyan sean resistentes, duraderos y adecuados para el tráfico y cualquier tipo de cambio climático a largo plazo (Arohuilca, 2024).

2.2.5 Estabilización de la subrasante con cemento

La estabilización de subrasante con cemento es una de las técnicas más efectivas utilizadas en la ingeniería de suelos para mejorar la capacidad estructural de terrenos granulares. Esta técnica consiste en la mezcla de cemento con el suelo, lo que desencadena un proceso químico conocido como hidratación, donde el agua interactúa con el cemento. Durante este proceso, el cemento se une a las partículas del suelo formando una estructura enredada de enlaces que proporcionan mayor cohesión y rigidez al suelo. Por lo tanto, la capacidad de carga de dicho suelo se refuerza significativamente junto con la resistencia mecánica, permitiéndole soportar de manera efectiva cargas alto incluso grandes volúmenes, como los presentes en el suelo de la red de infraestructuras viales (Watson & Manrique, 2021).

El uso de cemento en el tratamiento de suelos granulares ofrece muchas ventajas. En particular, la durabilidad y la resistencia del suelo al desgaste por humedad aumentan, ya que la principal razón por la que la humedad arruina un terreno es porque el suelo no está suficientemente tratado. El suelo tratado con cemento es mucho menos probable que se erosione, se deteriore y se rompa a causa del tráfico pesado, las inclemencias del tiempo y otras formas de deterioro, lo que contribuye a una vida más larga de las estructuras encima de él (Gutierrez, 2022).

El proceso de estabilización con cemento conlleva tres pasos básicos y bien definidos. En primer lugar es necesario pulverizar el suelo, eliminando cualquier conglomerado de grandes partículas y aumentando la homogeneidad del mismo. Esto

permite una mejor mezcla del suelo con el cemento, logrando que la distribución del estabilizante tenderá a ser bastante homogénea. En segundo lugar, se agrega una cantidad controlada de cemento al suelo, asegurándose que la mezcla sea lo más homogénea posible. La cantidad de cemento utilizado será función de las propiedades del suelo en cuestión y los requerimientos específicos del proyecto. Para lograr la máxima homogeneidad de la mezcla de suelo y cemento, es necesario asegurarse de que el cemento esté perfectamente mezclado con todas las partículas del suelo. En tercer lugar, se agrega agua a la mezcla de suelo y cemento. El agua es fundamental para activar el cemento, ya que el proceso de hidratación inicia la producción de enlaces interparticulares en el suelo, creando una masa más fuerte (Villalba & Venegas, 2023).

Este proceso es crucial para la construcción de vías de transporte y otras infraestructuras que requieren suelos fuertes y estables para soportar el peso y la presión a lo largo del tiempo. Además de su eficacia, la estabilización con cemento es un método accesible y rentable para la mejora de las cualidades del suelo sin necesidad de recurrir a soluciones costosas o complejas. Los suelos estabilizados con cemento son ideales para la construcción de carreteras, pistas de aeropuertos, puentes y otras estructuras donde se necesita garantizar una alta resistencia y durabilidad (Villalba & Venegas, 2023).

2.3 Marco conceptual

- a. **Cal como estabilizante de suelos.** - La cal es uno de los estabilizantes más utilizados debido a su disponibilidad, bajo costo y efectividad en la mejora de las propiedades de suelos arcillosos y expansivos. Cuando se incorpora al suelo, la cal reacciona con los minerales del suelo, lo que provoca un cambio en su estructura, reduciendo su plasticidad y mejorando su cohesión. La adición de cal permite la mejora de la resistencia a la compresión, la reducción de la expansión volumétrica y la mejora de la estabilidad del suelo frente a la humedad. Este método resulta especialmente

beneficioso en terrenos arcillosos que, de lo contrario, serían inestables y susceptibles a la deformación.

- b. Cemento caducado como estabilizante.** - El cemento vencido implica cemento que ha vencido su vencimiento o que ha sido almacenado durante mucho tiempo, lo que le disminuye la efectividad como material de construcción. Aunque, estudios de investigación recientes muestran que el cemento vencido puede emplearse como un buen estabilizador de suelos. Esto es posible debido al hecho de que, aunque existe una disminución en temperatura de fraguado, aun así, mantiene propiedad de cementación suficiente para mejorar la estructura del suelo. El uso de cemento vencido como estabilizador de suelos es una alternativa verde y económica. El reciclaje de cemento que sería desechado ayuda a preservar el medio ambiente y a reducir el uso de recursos en la industria de la construcción.
- c. Estabilización de suelos.** - La estabilización del suelo es un proceso de modificación de las propiedades físicas y mecánicas de un suelo con el fin de aumentar la resistencia al corte, la carga que soporta y la durabilidad de la capa, al tiempo que reduce su sensibilidad a la humedad y la erosión. Los alógenos más comúnmente utilizados en el proceso de estabilización incluyen cal, cemento, ceniza volante, polímeros y otros. Este proceso es esencial para suelos con características negativas inherentes como alta plasticidad, baja resistencia o susceptibilidad a las variaciones volumétricas asociadas con el cambio de humedad.
- d. Propiedades geotécnicas del suelo de subrasante.** - Las propiedades geotécnicas del suelo de subrasante comprenden las propiedades físicas y mecánicas clave para su comportamiento bajo carga. Los Límites de Atterberg definen la plasticidad de un suelo y cuanta agua puede sostener sin perder su forma. La Muestra Máxima Dispersa es un requisito de soporte, y la Plasticidad Índice es una medida de expansividad y contracción al cambiar la humedad. La Relación de Soporte de la California evalúa la



capacidad de carga del suelo y un valor más alto implica un soporte de carga mayor contra el tráfico rodado.

- e. **Suelo de subrasante.** -Se refiere a el terreno sobre la que se construyen las estructuras de pavimentación y la superficie de rodadura. Por lo tanto, se deduce que debe poseer ciertas dimensiones predefinidas para asegurar que las estructuras viales anteriores sean estables y duren más. Las características geotécnicas, incluida la resistencia, la aptitud de carga, la plasticidad y la susceptibilidad del agua, son algunas de las cualidades necesarias para determinar Si es razonable como base para pavimento. Un suelo de subrasante inadecuado puede ser una causa importante de problemas de deformación, grietas o fallos estructurales en las infraestructuras viales, por lo que su mejora es crucial para la durabilidad de la infraestructura.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Es un conjunto desagregado de métodos y técnicas para recopilar y analizar información, organizados y planificados de forma sistemática para obtener y procesar dicha información, que se utiliza como herramienta para el desarrollo de cualquier actividad de investigación. Las metodologías guían a los investigadores a lo largo de un camino estructurado para recopilar, analizar e interpretar datos de forma organizada e imparcial. El diseño implica varias fases, que incluyen la selección de sujetos, la formulación de hipótesis, la recopilación y el análisis de datos. Los investigadores deben elegir la técnica apropiada para cada etapa según los objetivos del estudio de investigación. La metodología de la investigación científica presenta una estructura que permite a los investigadores realizar sus estudios de investigación con rigor, garantizando la calidad y la coherencia de sus hallazgos. (Alfonso et al., 2020).

3.1 Enfoque de la investigación

Adopta un enfoque **cuantitativo** porque se centra en la medición objetiva y sistemática de variables relacionadas con las propiedades físicas y mecánicas del suelo de subrasante. A través de ensayos normalizados como CBR, Proctor Modificado e índices

de plasticidad, se obtuvo datos numéricos que nos permitieron analizar el efecto de diferentes porcentajes de estabilizantes sobre el comportamiento del suelo.

La principal característica del enfoque cuantitativo es por el uso de herramientas y técnicas matemáticas y estadísticas para estudiar fenómenos y establecer relaciones entre variables. Este enfoque busca medir, contar y analizar datos numéricos, permitiendo realizar generalizaciones a partir de muestras representativas de una población. Este enfoque se distingue por su objetividad, ya que busca evitar la influencia de factores subjetivos del investigador en la interpretación de los datos. Los datos recolectados se analizan de manera estructurada, utilizando herramientas estadísticas como la regresión, la correlación y otras pruebas, lo que permite validar o refutar las hipótesis planteadas. Además, el enfoque cuantitativo facilita la replicabilidad de los estudios, ya que al seguir procedimientos estandarizados, otros investigadores pueden realizar investigaciones similares y obtener resultados comparables (Alfonso et al., 2020).

3.2 Tipo de investigación

Corresponde a una investigación de tipo **aplicada** porque busca resolver un problema concreto del entorno real, específicamente la mejora de las condiciones del suelo de subrasante para su uso en infraestructura vial. Esta investigación utiliza principios científicos y técnicos para proponer una solución práctica mediante el uso de materiales accesibles como el cemento vencido y la cal.

La investigación aplicada es un tipo de estudio que se orienta hacia la resolución de problemas específicos y concretos, utilizando los conocimientos adquiridos en la teoría para encontrar soluciones prácticas. Esta investigación busca respuestas a problemas que afectan directamente a individuos, grupos o comunidades y contribuye significativamente a mejorar los procesos o condiciones existentes. Se caracteriza por su perspectiva práctica sobre el tema o actividad. Se centra en resultados específicos e inmediatos. La investigación aplicada utiliza teorías y principios científicos ya establecidos para resolver

desafíos específicos. Los investigadores aplicados también implementan sus hallazgos en situaciones reales para mejorar las prácticas y los procesos en un campo determinado. Se aseguran de que los hallazgos sean útiles y fáciles de implementar (Pimienta et al., 2018).

3.3 Nivel de investigación

Corresponde a un nivel **explicativo**, ya que no solo describe ni compara los efectos de los estabilizantes, sino que busca comprender y explicar las causas del comportamiento del suelo frente a la incorporación de cemento vencido y cal.

El nivel explicativo de la investigación se refiere al tipo de estudio que busca entender las causas y los efectos de un fenómeno, con el propósito de proporcionar una explicación detallada sobre cómo y por qué ocurre un determinado evento o comportamiento. Explicativo: en este nivel se establece una causa lógica para los hechos observados, se identificarán las causas subyacentes entre las variables registradas y los eventos en cuestión. Se usa mucho más en la investigación, abordando cómo y por qué los elementos producen los comportamientos y pensamientos observados. Será mediante este análisis que se puede establecer teorías y hacer predicciones. Este tipo de investigación suele ser más compleja y requiere el uso de métodos y herramientas que permitan probar hipótesis y desarrollar modelos causales (Pimienta et al., 2018).

3.4 Diseño de la investigación

Experimental, ya que implica la manipulación intencional de variables en condiciones controladas para determinar sus efectos sobre las variables específicas del suelo. En función de esta descripción, se realizan pruebas con varios porcentajes de cemento vencido y cal en la subrasante para determinar cómo las mezclas afectan el IP, la MD y el CBR.

El diseño experimental es un tipo de estudio utilizado en la investigación para evaluar las relaciones causales entre variables manipulando una o más para determinar

su efecto en otras. Este tipo de diseño se caracteriza por crear condiciones específicas y controladas que permiten abstraer los factores externos que puedan influir en el fenómeno observado. El deseo central es determinar la causalidad de una intervención, demostrar que un cambio en una variable produce un cambio en otra. Los diseños experimentales incluyen un grupo experimental, que recibe la intervención o tratamiento, y un grupo de control, en el cual no se aplica la intervención. Esto permite comparar los datos y comprobar si la variable independiente integralmente produjo un cambio en la variable dependiente. Además, el diseño experimental se caracteriza por asignar aleatoriamente a los participantes a cada uno de los grupos, reduciendo el sesgo y asegurando la validez y generalizabilidad de los resultados (Alfonso et al., 2020).

3.5 Método de la investigación

S.I. es un procedimiento científico, ya que intenta seguir los pasos de manera sistemática, lógica y ordenada para abordar un problema particular. Implica la observación de un problema actual, genera hipótesis con respecto a los efectos de los tratamientos alternos, recopila datos a través de ensayos experimentales controlados., se proyecta hipotéticamente con los ensayos de predeformación controlados de laboratorio. and compara los resultados reales obtenidos con la hipótesis previamente generada.

En otras palabras, el método científico es un procedimiento ordenado y lógico utilizado para explorar fenómenos, generar nuevo conocimiento y probar teorías previamente establecidas. El propósito central del método científico es llevar a respuestas objetivas y verificables y mantener la coherencia lógica entre los hechos y/o la ciencia. En el proceso, los investigadores buscan ser imparciales manteniendo el sesgo al mínimo y asegurando que los resultados sean reproducibles. Finalmente, el ciclo de investigación es continuo y flexible. Esto se refiere a que los datos de una etapa de investigación evaluarán o influirán en el diseño de una nueva hipótesis, o los problemas de diseño podrán modificar el enfoque central de la teoría. Sin embargo, la aplicación del método científico no solo se

limita a la generación exitosa de nuevos conocimientos, sino también a la evaluación y aplicación de sus conclusiones en situaciones prácticas, ya que en mi caso, el tema de la investigación fue la evaluación de la seguridad en obstetricia y la calidad de atención en Birmania. (Pimienta et al., 2018).

3.6 Población y muestra de la investigación

3.6.1 Población

En el ámbito investigativo, se entiende por población al grupo completo de personas, objetos o unidades que comparten una o más características específicas y que resultan relevantes para los fines del estudio. Esta puede ser una población de personas, animales, objetos o cualquier otro grupo que comparta ciertas características que sean relevantes para la investigación. La población se define con base en criterios específicos, como edad, género, ubicación geográfica o cualquier otra variable relevante, y es el grupo sobre el cual se pretende hacer generalizaciones a partir de los resultados obtenidos. Es fundamental identificar adecuadamente la población para que los resultados de la investigación sean aplicables y representativos (Alfonso et al., 2020).

La población de esta investigación está constituida por los suelos de subrasante (4 km) presentes en el trazado completo de la vía vecinal Coplay – Nuevo Coplay.

3.6.2 Muestra

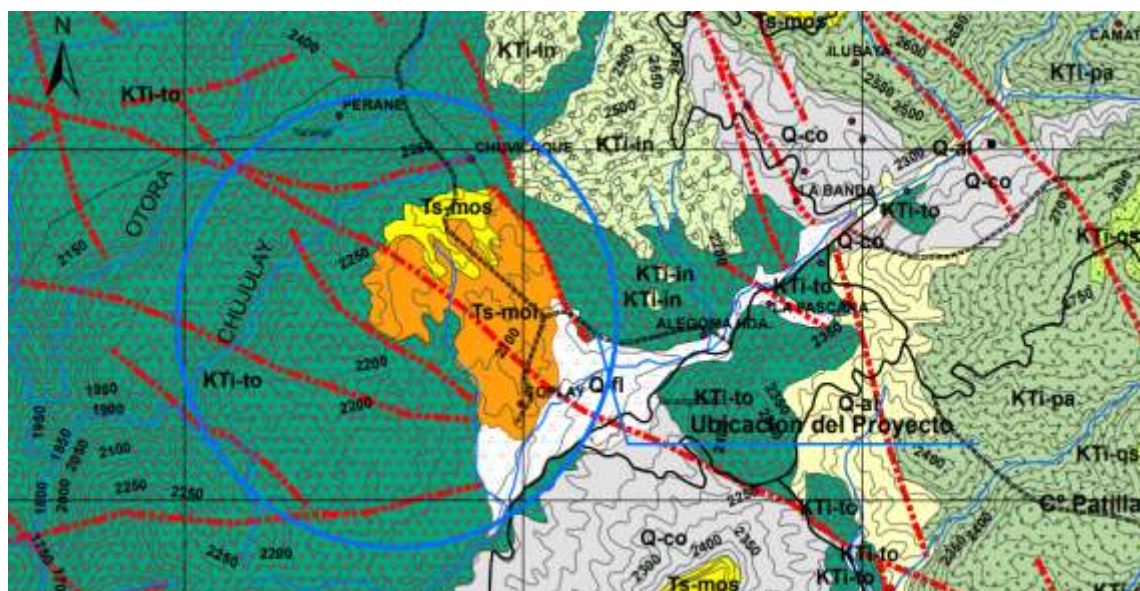
Una muestra es una porción representativa extraída de una población amplia, seleccionada con el propósito de ser analizada dentro de un estudio. Debido a que resulta inviable investigar a la totalidad de los elementos del universo poblacional por limitaciones de tiempo, recursos o acceso, se recurre al muestreo para obtener conclusiones válidas y generalizables al conjunto total. La muestra debe ser seleccionada cuidadosamente, utilizando métodos adecuados para asegurar que refleje las características esenciales de la población, lo que permite que las conclusiones derivadas sean válidas y representativas.

Una muestra bien diseñada puede proporcionar información precisa y fiable sin la necesidad de estudiar a todos los individuos de la población. La muestra es una parte de la población que se examina para hacer inferencias sobre el todo, y su selección adecuada es crucial para la validez y la aplicabilidad de los resultados de la investigación. (Alfonso et al., 2020).

La muestra de esta investigación está conformada por las unidades de suelo de subrasante recolectadas en puntos estratégicos a lo largo del tramo de la vía vecinal Coplay – Nuevo Coplay, las cuales presentan características arcillosas con baja capacidad de soporte ($\text{CBR} < 4\%$). Estas muestras fueron seleccionadas mediante muestreo no probabilístico por conveniencia, considerando accesibilidad, representatividad geotécnica del tramo, para la aplicación de tratamientos con cemento vencido y cal.

Figura 1

Vía vecinal Coplay – Nuevo Coplay



Se presenta la vía de estudio, la cual corresponde a un tramo de 4 kilómetros de longitud. Para fines de caracterización y análisis, se extrajeron tres muestras representativas de suelo, ubicadas estratégicamente en los kilómetros 1+000, 2+000 y 3+000 del eje vial.

3.7 Técnicas e instrumentos

3.7.1 Técnicas

Las técnicas de recolección de datos son los métodos y herramientas utilizadas por los investigadores para obtener información relevante durante el proceso de investigación. Estas técnicas son imprescindibles para confirmar la validez, consistencia y adecuación de los datos generados según los fines del estudio. Las técnicas habitualmente empleadas son encuestas, entrevistas, observación directa y revisión documental. Cada una de estas herramientas tiene sus propias características y se utiliza en función de los objetivos del estudio, el tipo de datos que se necesiten y el contexto en el que se lleva a cabo la investigación. El uso adecuado de estas técnicas permite al investigador recopilar datos tanto cualitativos como cuantitativos, lo que facilita el análisis y la interpretación de los resultados (Pino, 2019).

Las técnicas empleadas en el presente estudio están dadas por:

- Observación directa
- Muestreo de suelo de subrasante en campo.
- Ensayos de caracterización.
- Preparación y estabilización del suelo.
- Pruebas de contenido de humedad
- Pruebas de granulometría
- Pruebas de índices de plasticidad
- Pruebas de proctor modificado
- Pruebas de CBR
- Análisis comparativo de resultados.

3.7.2 Instrumentos

Definición: son los dispositivos utilizados por los investigadores para la recolección, medición y registro de datos de manera precisa y estructurada. Clasificación: existen

muchos instrumentos de estos tipos, y algunos de los más comunes incluyen cuestionarios, entrevistas, pruebas psicológicas, dispositivos de medición y escalas de observación. Propósito: llevan datos de una manera consistente, lo que debería permitir a los investigadores llevar a cabo análisis rigurosos e inferencias válidas. Consideraciones y precauciones de diseño: el diseño e implementación de estos instrumentos debe realizarse de forma cuidadosa para garantizar que sea adecuado para el tipo de datos que se desean obtener y que garantice la fiabilidad y validez de los resultados (Pino, 2019).

Los instrumentos considerados en el estudio, son:

- Cilindros de compactación, molde y martillo.
- Balanza digital de precisión y estufa de secado.
- Cucharillas, bandejas y recipientes de mezcla.
- Equipo de CBR.
- Equipos para determinación de límites de Atterberg.
- Hoja de registro y fichas técnicas para anotación de resultados.

3.8 Validación y confiabilidad del instrumento

3.8.1 Validación

Proceso mediante el cual se verifica si un instrumento de recolección de datos mide lo que realmente se pretende medir. Este proceso asegura que los resultados obtenidos a través del instrumento sean precisos, fiables y representativos del fenómeno estudiado. Para validar un instrumento, se utilizan diferentes métodos, como la validez de contenido, en la que expertos revisan los elementos del instrumento para confirmar que cubren adecuadamente el tema de interés, o la validez constructiva. La validación es un paso fundamental en la investigación, ya que garantiza que el instrumento no solo sea adecuado, sino que también proporcione resultados confiables. Si un instrumento no está debidamente validado, los datos recolectados pueden estar sesgados o no ser

representativos, lo que comprometería la calidad de la investigación (Pimienta et al., 2018).

3.8.2 Confiabilidad

La capacidad de un instrumento de medición para proporcionar resultados consistentes y estables a lo largo del tiempo y en diferentes condiciones. Un instrumento es confiable si, en las mismas circunstancias, produce resultados similares cuando se usa una y otra vez. De lo anterior, se puede inferir que la confiabilidad mide lo que se pretende medir muy preciso y certeramente. La confiabilidad se puede medir de varias maneras, incluido el coeficiente alfa de Cronbach, que mide la homogeneidad interna del instrumento, o la prueba y el error, que prueba si los resultados serían consistentes si el instrumento se aplicara en dos ocasiones diferentes. Es importante hacer que los instrumentos sean confiables ya que; los datos informados pueden tener error debido a fluctuaciones o error al azar. Lo cual puede resultar en generalización inválida o conclusión. Los resultados de los instrumentos que no son confiables serían menos que plausibles y no se podría llegar a conclusiones basadas en ellos ni en generalizaciones válidas. Por lo tanto, los investigadores deben asegurarse de que sus instrumentos sean confiables, lo que aumenta la validez de los datos. (Pimienta et al., 2018).

3.9 Plan de recolección de datos

3.9.1 Vía de estudio

La presente investigación empleará un suelo con características de un valor de CBR (menor al 4%), representativo de las condiciones encontradas en la vía vecinal Coplay – Nuevo Coplay, en la región Moquegua. Este tipo de suelo, debido a su baja capacidad portante, no es apto para obras viales sin tratamiento, por lo que se propone su estabilización mediante la adición controlada de cemento caducado en combinación con cal, con el objetivo de mejorar sus propiedades.

Figura 2

Vía vecinal Coplay – Nuevo Coplay



En función de estudios previos, se seleccionará un porcentaje fijo del 5% de cemento caducado, valor que ha demostrado ser efectivo para incrementar la resistencia del suelo. Por su parte, la cal se dosificará en cuatro proporciones distintas: 1%, 2%, 4% y 6%, con el propósito de evaluar cuál combinación con cemento caducado ofrece mejores resultados en la estabilización del material, especialmente en la reducción del índice de plasticidad.

Con el fin de lograr lo anterior, se extrajeron muestras representativas del suelo natural en el tramo de estudio. De hecho, se tratará una muestra con un 5% de cemento caducado y uno de los cuatro porcentajes de cal establecidos. Las mezclas serán homogeneizadas minuciosamente para garantizar una diseminación uniforme de los estabilizantes.

A continuación, se realizará la compactación de las muestras utilizando el método del Proctor Modificado, garantizando que cada muestra alcance su densidad seca y

humedad ideal. Sobre estas muestras compactadas se aplicarán los ensayos de laboratorio pertinentes para evaluar las siguientes propiedades geotécnicas:

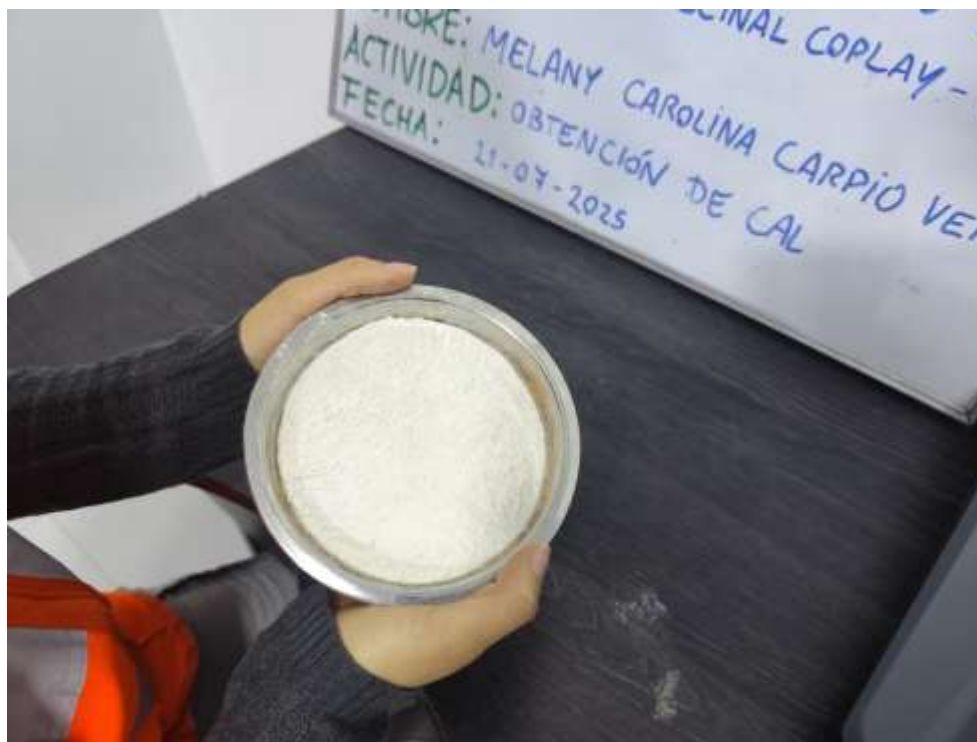
- Límites (límite líquido, plástico e índice de plasticidad)
- Proctor Modificado (DMS y OCH)
- CBR (a 95% y 100% de la MDS)

Los resultados obtenidos permitirán comparar el desempeño de cada tratamiento, identificando la combinación óptima de cemento caducado y cal que maximice la capacidad de soporte del suelo, minimice su plasticidad y lo haga apto como subrasante para infraestructura vial.

3.9.2 Obtención de la Cal

Figura 3

Presentación de cal



Para el desarrollo de la presente investigación, la cal utilizada como agente estabilizante fue adquirida mediante una compra, lo que permitió garantizar la disponibilidad del

producto en condiciones controladas y con especificaciones técnicas adecuadas para su aplicación en ensayos geotécnicos. La cal empleada corresponde a cal hidratada de uso industrial, seleccionada por su alta reactividad y capacidad de mejorar las propiedades físicas y mecánicas del suelo arcilloso, la cal empleada para la combinación fue el pasante el tamiz N° 200, el cual se combinó con el cemento vencido.

3.9.3 Obtención del cemento vencido

Figura 4

Presentación de cemento vencido



Para el desarrollo de la presente investigación, el cemento vencido proviene de desechos de antiguos proyectos de construcción que se encuentran almacenados. Dichos lotes de cemento, al no ser utilizados dentro del plazo recomendado por el fabricante, superaron su fecha de caducidad. En condiciones normales, este material sería descartado por considerarse no apto para obras convencionales; sin embargo, en el presente estudio se le dio un nuevo enfoque experimental, el cemento vencido empleado para la combinación fue el pasante el tamiz N° 200, el cual se combinó con la cal.

Tabla 4

Cantidad de cemento y cal empelado en el estudio

Cantidad de materiales empleados en (kg)			
Diseño	Cantidad de material empleado de la subrasante para los ensayos (kg)	Cantidad de cemento	Cantidad de cal
5%CE + 1%CA	13	0.65	0.13
5%CE + 2%CA	13	0.65	0.26
5%CE + 4%CA	13	0.65	0.52
5%CE + 6%CA	13	0.65	0.78
Cantidad del material (kg)		2.60	1.69

Para el estudio la cantidad de cemento empleado fue del 2.6 kg mientras que la cal usada fue de 1.69 kg.

Ensayos realizados

❖ MTC E 107 – Análisis granulométrico

El objetivo principal de este ensayo es llevar a cabo una determinación precisa de cómo se distribuyen las partículas en el suelo en función de su tamaño. A través de un análisis granulométrico, se busca clasificar el material en diferentes franjas de tamaño, lo que es fundamental para entender sus propiedades físicas y su comportamiento en aplicaciones como la construcción o la ingeniería civil.

Equipos y materiales necesarios:

- Un conjunto de tamices con malla cuadrada de diversos tamaños, con medidas de 2", 1 ½", 1", ¾", ½", 3/8", N°4, N°10, N°20, N°40, N°60, N°100, N°200, que incluyen fondo y tapa para cada uno.
- Una balanza electrónica con una sensibilidad que permita una precisión del 1% en el peso de la muestra a analizar.
- Una balanza electrónica adicional con una sensibilidad más precisa, de aproximadamente 0.01 gramos, para pesar fracciones pequeñas.

- Recipientes de aluminio, que son ideales para contener las muestras durante los distintos pasos del procedimiento.
- Una brocha para facilitar el proceso de limpieza de los tamices durante el ensayo.
- Un horno eléctrico que pueda mantener de forma constante una temperatura de 110 ± 5 °C, necesario para el secado de las muestras.

Pasos del procedimiento:

- Preparación de la muestra: El procedimiento comienza con el desmenuzamiento de la muestra de suelo, de la cual se selecciona una cantidad representativa de aproximadamente 4 kg. Esta cantidad debe ser adecuada para que el análisis sea representativo del total del material.
- Secado inicial: Una vez obtenida la muestra, se coloca en un horno eléctrico, donde se mantiene a una temperatura constante de 110 ± 5 °C durante un período de 24 horas. El paso anterior tiene la función que se logre extraer de suelos húmedos la humedad que contienen, para que las partículas ya estén en un estado seco, por lo que al momento del tamizado los resultados sean exactos.
- Peso de la muestra deshidratada. Una vez que la muestra se haya secado, se quitará del horno en deshidratador y se pesará con precisión. El valor se utilizará para calcular la distribución de partículas después del tamizado.
- Tamizado inicial con el tamiz N°4: Se inicia el proceso de tamizado utilizando el tamiz N°4, que es el primero de la serie. Este tamiz se utiliza para separar las gravas (material grueso) del material más fino que pasará a través del tamiz. El material retenido en el tamiz N°4 es pesado nuevamente para cuantificar la cantidad de gravas presentes.
- Desmenuzado con herramientas de mayor calibre: El siguiente paso implica recolectar el contenido del tamiz N°4 y atravesarlo por una secuencia de filtros de tamices con mayor tamaño de malla, que incluyen los de 2", 1 ½", 1", ¾", ½", 3/8" y nuevamente el

tamiz N°4. Este paso permite separar las partículas más gruesas y clasificarlas según su tamaño.

- Pesar los materiales retenidos: después de que el procedimiento de tamizado ha concluido el, el material retenido en cada tamiz se pesa. Esto es crucial cuando se quiere determinar la distribución granulométrica del suelo, porque cada fracción retenida representa un rango en particular de tamaño de partícula.
- Procesamiento del material fino: De lo que paso por el tamiz N°4, definir una muestra de cerca de 800 gramos. Esta cantidad someter a un proceso de lavado utilizando el tamiz N°200, con el objetivo de quitar la mayoría de partículas finas. Se busca quitar el mínimo de partículas muy pegadas que podrían cambiar los resultados del análisis.
- Secado del material lavado. Luego de lavar la muestra, el material que sigue retenido por el tamiz N°200 se seca en un horno por un día completo a 110 ± 5 °C. Este proceso garantiza que las partículas de suelo estén totalmente secas y listas para el tamizado final.
- Tamizado final con tamices más finos: finalmente, después del secado, la muestra se tamiza una vez más a través de tamices cada vez más finos, que van desde los #10, #20, #40, #60, #100 y #200 hasta el fondo. Esta etapa separa las partículas aún más, y se clasifican en tamaños más pequeños.
- Pesado final: Finalmente, se mide el residuo acumulado en cada tamiz. Estos pesajes ofrecen los datos definitivos para determinar la granulometría integral de la muestra de terreno.

Este procedimiento permite realizar un análisis detallado y preciso de las partículas de suelo, lo que es crucial para estudios geotécnicos y otras aplicaciones relacionadas con la ingeniería y la construcción, donde la composición y las propiedades del suelo tienen un impacto directo en el diseño y ejecución de proyectos.

❖ MTC E 108 - Determinación del contenido de humedad en muestras de suelo

El propósito principal de este ensayo consiste en la medida y cuantificación de la cantidad de agua presente en una muestra de suelo, expresada en porcentaje en peso con respecto al peso total del suelo en su estado seco. Este ensayo es crítico porque ser capaces de determinar la influencia de la humedad en las asignaturas del suelo es crítico. Esto es debido a que las propiedades dadas pueden variar grandemente bajo la influencia de la humedad. Más aún, el componente hídrico del suelo se convierte en un factor limitante en construcción y estudios geotécnicos, ya que la humedad influye en la carga asignatura, resistencia, y estabilidad, elementos críticos para la durabilidad de la infraestructura sobre o sobre el suelo.

Equipos y materiales necesarios:

- Un horno de secado capaz de mantener una temperatura constante de 110 ± 5 °C.
- Una balanza electrónica con una sensibilidad de 0.01 gramos, ideal para muestras con un peso inferior a los 200 gramos.
- Otra balanza electrónica con precisión de 0.1 gramos, destinada a muestras que superen los 200 gramos.
- Recipientes resistentes a la corrosión, que sean adecuados para contener las muestras de suelo durante el proceso de secado.
- Herramientas adicionales como guantes, tenazas, espátula y cuchara, que se utilizarán para manipular las muestras y evitar cualquier posible error en el procedimiento.

Procedimiento:

- Determinación del peso inicial del recipiente: El primer paso en el proceso consiste en medir y registrar el peso de los recipientes vacíos que se utilizarán para contener las muestras de suelo. Este peso inicial será utilizado posteriormente para determinar el contenido de humedad del suelo.
- Adición de la muestra de suelo: A continuación, se toma una cantidad representativa de suelo, aproximadamente 150 gramos, y se coloca en los recipientes previamente

pesados. Tras incorporar la muestra, la balanza electrónica determina el peso total del recipiente y la muestra húmeda, basándose en el peso de la muestra.

- **Muestra secada:** El tiempo especificado es insuficiente para un secado completo en algunos de los casos; por lo tanto, los recipientes con las muestras de suelo húmedo se trasladaron al horno de secado. El horno de secado calentará durante 24 horas a la siguiente temperatura: 110 ± 5 °C para secar completamente la humedad de la muestra.
- **Pesado final de la muestra seca:** Después del tiempo de secado, los recipientes se retiran del horno con cuidado, utilizando guantes para evitar quemaduras. Posteriormente, se deja que los recipientes se enfríen a temperatura ambiente antes de ser pesados nuevamente en la balanza. El peso obtenido en este paso corresponde al peso del recipiente con la muestra de suelo completamente seca.

Este procedimiento permite calcular el contenido de humedad del suelo utilizando la siguiente fórmula:

$$W = \frac{\text{Peso de agua}}{\text{Peso de suelo secado al horno}} \times 100$$

❖ MTC E 110 - Límite líquido de los suelos

El objetivo principal de esta investigación es determinar el límite líquido de una muestra de suelo, el cual es el punto en el que el material cambia de un comportamiento plástico a un comportamiento líquido. Este ensayo es esencial para evaluar la capacidad de un suelo para ser trabajado o modelado, especialmente en aplicaciones de ingeniería civil.

Equipos y materiales necesarios:

- Recipientes de porcelana, para contener las muestras durante el procedimiento.
- Tamiz N°40, para clasificar la muestra y eliminar las partículas gruesas.
- Agua destilada, utilizada para preparar la pasta de la muestra.
- Copa Casagrande, herramienta estándar para realizar la prueba del límite líquido.

- Acanalador, para crear una ranura definida en la muestra.
- Balanza electrónica con precisión de 0.01 g, adecuada para muestras menores a 200 g.
- Horno de 110 ± 5 °C, necesario para secar la muestra.
- Espátula, para manipular la muestra durante el proceso.

Procedimiento:

- El primer paso en el proceso consiste en someter una muestra representativa del suelo a un procedimiento de secado controlado. Para ello, la muestra se coloca en un horno ajustado a una temperatura constante de 110 ± 5 °C, donde se mantiene durante 24 horas. Este paso es crucial, ya que tiene como objetivo eliminar toda la humedad presente en el suelo antes de continuar con las pruebas. De este modo, se asegura que el contenido de agua en la muestra no interfiera con los resultados del ensayo.
- Después de secar nuestra muestra, delicadamente extraemos del horno y movimiento para pasar a través de un tamiz N°40; el objetivo de este paso es separar las partículas más gruesas del material, para que solo las fracciones finas del suelo queden para la prueba. Al eliminar los componentes gruesos, nuestro ensayo está centrado en la fracción más verdadera del suelo, lo que significa que los resultados que se forman nos dan un reflejo de las propiedades del material fino.
- Teniendo el material tamizado, se toma una porción representativa del mismo y se coloca en una vasija adecuada. Posteriormente, se añade agua destilada en la cantidad justa que puede oscilar entre 15 y 20 ml para lograr una pasta homogénea. La cantidad de agua es crucial porque debe permitir que la mezcla sea plástica, es decir, tenga la consistencia correcta para ser manipulada sin perder su forma hecha líquida o, por el contrario, quedar demasiado rígida como para hacer cualquier cambio final. Este paso será fundamental, el resto de los pasos se realicen de forma adecuada ya que sin ello la pasta no se podrá trabajar ni comprobar de esta manera.

- La pasta obtenida se introduce en la copa Casagrande a través de Placa, que es una plantilla utilizada para uso común en este laboratorio. La cuchilla de una espátula grande se pasa sobre la superficie de la pasta girando. Cuando la altura de la pasta en la copa es aproximadamente de unos 10 mm, la superficie de la pasta se niveló. Esta preparación es crítica para garantizar que se distribuya en la copa uniformemente un poco más tarde y que el ensayo de acanalado resultante se realice de manera coherente.
- Una vez que se ha preparado la pasta, se emplea un acanalador para formar una ranura en la superficie; esta está hecha para hacer que la pasta se divida en dos iguales de manera que se pueda obtener una vista interna de ambas desde un costado. Luego se coloca la otra mitad encima de la otra, dejando una cara plana en una superficie. Entonces, el suelo se mantiene molido tirando de la parte superior de este, mientras que la parte superior se lleva a altura, dejando que la muestra reciba impactos, haciendo fácil ver cómo se deforma cada muestra, y el experimentador puede medir todas las deformaciones.
- El siguiente paso es ajustar la manivela de la copa de casagrande para empezar a dar los golpes. estos son impartidos de forma controlada hasta que la ranura clausurara a una longitud de 13 mm. Durante este proceso, se cuenta el número de golpes necesarios para cerrar completamente la ranura. Este número es un dato clave en la prueba, ya que se utiliza para calcular el índice de plasticidad del suelo, una medida de su capacidad para deformarse sin romperse.
- Para concluir la prueba, se toma una pequeña porción de la pasta de suelo, utilizando una espátula, y se almacena en un recipiente específico para cuantificar la humedad del suelo. Este paso se realiza utilizando el método de secado en horno, donde la muestra se somete a un secado adicional para eliminar cualquier cantidad de agua restante. Posteriormente, el contenido de humedad se calcula a partir de la diferencia de peso entre la muestra húmeda y la seca.

❖ MTC E 111 - (L.P.) de los suelos e (I.P.)

Este ensayo tiene como objetivo definir el LP de un suelo, que es el punto en que el material se solidifica de lo plástico a lo rígido. También se determinará el (I.P.), que es determinado por el (L.L.) medido para el material en este caso suelo. Es particularmente importante en cuanto a la descripción de la plasticidad de un suelo en aplicaciones de la construcción y la ingeniería civil.

Equipos y materiales necesarios:

- Tamiz N°40, para tamizar el suelo y eliminar las partículas gruesas.
- Agua destilada, que se utiliza para preparar la pasta de la muestra.
- Vidrio grueso esmerilado, para mezclar la muestra y el agua.
- Recipiente de porcelana, donde se colocará la muestra para su tratamiento.
- Balanza electrónica con precisión de 0.01 g, para medir muestras de menos de 200 g.
- Horno de 110 ± 5 °C, utilizado para secar la muestra.
- Espátula, para manipular y mezclar la muestra.

Procedimiento:

- Preparación de la muestra: Se selecciona una muestra representativa de aproximadamente 200 gramos de suelo. Esta muestra se seca durante 24 horas en un horno a 110 ± 5 °C para eliminar cualquier humedad inicial.
- Tamizado de la muestra: Tras el secado, la muestra se retira del horno y se pasa a través de un tamiz N°40. Este tamizado permite separar las partículas más gruesas, dejando solo el material fino para el ensayo.
- Mezcla de la muestra con agua: una vez tamizada, la muestra se coloca sobre una superficie de vidrio esmerilado de 0.5 cm. de espesor. Se adiciona el agua destilada y

se mezcla a fondo más hasta lograr una pasta homogénea. La pasta debe tener la suficiente consistencia que permita amoldarla y manejarla durante la prueba.

- Límite plástico: el procedimiento para determinar el límite plástico es similar al límite líquido, con la diferencia de que el plasma se mide en términos de suavidad mediante la aplicación de una técnica que utiliza la deformación progresiva. Este valor se utiliza junto con el límite líquido para calcular el índice de plasticidad.
- Cálculo del índice de plasticidad (I.P.): El índice de plasticidad se calcula utilizando la siguiente fórmula:

$$I.P. = L.L. - L.P$$

❖ MTC E 115 - Compactación de suelos (Proctor Modificado)

El objetivo de este ensayo es definir el procedimiento adecuado para compactar una muestra de suelo utilizando una energía modificada de 2,700 kN-m/m³. Este proceso se utiliza para obtener la densidad máxima de compactación del suelo a un nivel determinado de humedad, lo cual es crucial para la construcción y otros proyectos geotécnicos.

Equipos y materiales necesarios:

- Equipo de Proctor de 6 pulgadas, compuesto por un molde cilíndrico, una base de placa y un anillo de extensión.
- Un pisón manual, utilizado para compactar el suelo en el molde.
- Tamices con tamaños de malla de ¾", 3/8" y N°4.
- Una regla metálica, necesaria para enrasar el exceso de suelo después de la compactación.
- Balanza electrónica con una precisión de 0.1 g, ideal para pesar muestras de más de 200 g.
- Horno de 110 ± 5 °C, utilizado para el secado de las muestras y la determinación del contenido de humedad.

- Cucharas, bandejas y espátulas, que se emplean para mezclar y manejar el suelo durante el proceso.

Procedimiento:

1. Preparación de la muestra: Inicialmente, la muestra de suelo se pasa a través de tamices de $\frac{3}{4}$ ", $\frac{3}{8}$ " y N°4, lo que asegura que se eliminen las partículas más gruesas. La porción de suelo que queda retenida en cada tamiz se redistribuye adecuadamente entre los tamices, con el objetivo de obtener una muestra representativa para la prueba. Se prepara una cantidad total de aproximadamente 5 kg de muestra para ser utilizada en el proceso.
2. La medición del equipo de compactación: Para este proceso, se deberá medir la altura, diámetro y peso del molde de 6", el mismo que se empleará para la prueba. Con las medidas obtenidas, se procederá a ensamblar correctamente el molde con la base de placa y con el collarín de extensión; este es montado en las nervaduras del molde, finalmente, él está listo para recibir la muestra.
3. Alquimia de la muestra: Se infunde gradualmente agua en la muestra de suelo hasta que la humedad se reparta de manera homogénea. El objetivo es alcanzar un contenido de humedad adecuado que permita la compactación eficiente del suelo.
4. Compactación de las capas: Se coloca una capa inicial de la muestra en el molde y se compacta utilizando el pisón manual. Se deben dar 56 golpes sobre la capa de suelo, asegurándose de que la compactación sea uniforme. Este proceso se repite para un total de 5 capas, añadiendo una capa nueva de suelo después de compactar la capa anterior.
5. Retiro del collarín y enrasado: una vez compactadas las 5 capas, retire cuidadosamente el collarín de extensión. A continuación, con una regla metálica, enrasede los excesos de suelo que sobresalen del molde a fin de dejar la superficie adecuadamente nivelada y precisa para el siguiente análisis.

6. Ensayo de pesaje de la muestra compactada. Después de que el molde está en el bisel adecuadamente, la muestra compactada se pesa de modo que se determina el peso total de la muestra; este dato es esencial en el cálculo de la densidad del suelo compactado.
7. Extracción de muestras representativas: Se extraen dos porciones representativas extraídas del suelo de las zonas superior e inferior del molde. Estas muestras se tomarán con cuidado para asegurarse de que sean representativas de la compactación lograda en el molde.
8. Determinación del contenido de humedad: Las muestras extraídas de la parte superior e inferior del molde se introducen en un horno para determinar su contenido de humedad. Este proceso consiste en secar las muestras a una temperatura de 110 ± 5 °C hasta que se elimine toda la humedad, permitiendo obtener el porcentaje de agua presente en el suelo.
9. Repetición del proceso con diferentes humedades: El procedimiento se repite varias veces, agregando agua en incrementos aproximados del 2% entre cada ensayo. Esto permite crear una curva de compactación, que muestra cómo varía la densidad del suelo en función del contenido de humedad. Para cada variación en el contenido de humedad, se preparan 5 especímenes diferentes, asegurando que los resultados sean representativos y confiables.

Este procedimiento permite determinar la densidad de compactación y el contenido de humedad de un suelo específico, lo cual es crucial para su aplicación en proyectos de construcción y otros usos geotécnicos. La curva de compactación resultante proporciona información importante sobre la capacidad del suelo para compactarse eficiente y eficazmente en condiciones específicas de humedad.

❖ MTC E 132 - CBR de suelos (Laboratorio)

El propósito principal de este ensayo es determinar el (CBR) de una muestra de suelo. Primero, necesito mencionar que esta prueba es uno de los métodos estándar y, al

mismo tiempo, básico de ingeniería geotécnica para definir la penetración del suelo. En segundo lugar, este ensayo es una parte crucial en la medición de las características mecánicas del suelo. El resultado de esta prueba proporcionará datos vitales sobre la carga que puede llevar un suelo específico, lo que es necesario en el diseño de pavimentadoras, carreteras y muchos otros tipos de construcciones que dependen de la tierra.

En términos sencillos, el CBR mide la capacidad del suelo de resistir la penetración de un pistón bajo condiciones específicas de carga y humedad. Por lo general, un valor más alto de CBR indica que el suelo es más resistente a la penetración, lo que también significa que puede soportar mayores cargas sin experimentar deformaciones significativas. Este indicador es especialmente importante en la construcción de infraestructuras viales, ya que se utiliza para calcular el espesor de las capas de pavimento necesarias para asegurar la estabilidad y durabilidad de las carreteras y caminos.

Equipos y materiales necesarios:

- Un conjunto de equipos para realizar el ensayo CBR, compuesto por 3 moldes cilíndricos de 6 pulgadas de diámetro, cada uno con una base, collarín de extensión y placas de expansión, además de 3 discos espaciadores, 3 sobrecargas y 3 tripodes.
- Pisón manual para la compactación del suelo.
- Horno con capacidad de 110 ± 5 °C.
- Balanza de 30 kg y otra de 1000 g para medir las muestras y sus componentes.
- Probeta de 1000 ml para medir líquidos.
- Bandejas para manejar las muestras durante el proceso.
- Espátulas y filtro de papel en forma de disco del mismo tamaño. que el molde para evitar obstrucciones en los ensayos.

Procedimiento:

- Preparación de la muestra: La muestra de suelo se prepara siguiendo las mismas proporciones utilizadas en el ensayo de Proctor, y se ajusta para alcanzar su contenido de humedad previamente determinado. Esto asegura que el suelo tenga las condiciones adecuadas para el ensayo.
- Medición de moldes y peso inicial: Se toman las medidas de altura y diámetro de los moldes cilíndricos de 6" y se pesa cada molde junto con su base para obtener el peso inicial. Posteriormente, se coloca un disco espaciador y los collarines idóneos para asegurar que la muestra se acomode adecuadamente en el molde.
- Distribución y compactación de la muestra: la muestra de suelo de cada prueba CBR se divide en tres moldes de ensayo, donde cada molde recibe la cantidad alavada de material. Posteriormente, cada uno de estos moldes se compacta en cinco capas sucesivas. Se aplica un número específico de golpes para cada capa para asegurar la uniformidad de la compactación. Los números de golpes son: 12 para la primera capa, 26 para la segunda, 55 para la tercera.
- Conclusión niveladora y ajuste final de peso: después de terminar de compactar, se quita el collar de extensión y la superficie compactada se nivela cuidadosamente con regla de acero de acuerdo con la masa colectiva del molde, la base y la muestra después de la compactación.
- Placa de colocación y sobrecargas: después de una superficie compactada arriba, se coloca una placa perforada con dos sobrecargas dimensionales y una abocetada, de forma circular y anular. Este paso es esencial para simular las condiciones reales antes de la carga sobre el suelo durante las pruebas.
- Montaje del trípode y medición preliminar: Se coloca un trípode con un dial sobre el molde para medir la penetración del pistón. Antes de sumergir los moldes en agua, se tomó una lectura inicial con el dial para registrar la expansión inicial del suelo.
- Se garantiza que los moldes con la muestra compactada se cubren completamente de agua y empapan durante 4 días, lo que asegura que el suelo puede salvaguardarse.

Luego, después de 4 días, se toma una segunda lectura del dial para señalar el grado en que el suelo se ha expandido debido al agua absorbida.

- Secado de los moldes. Una vez efectuada la inmersión en el líquido de baja viscosidad, se dejan escurrir los moldes durante 15 minutos para facilitar el drenaje del líquido excedido. Después de su retiro, restan 225 y diariamente se pesa uno de ellos para definir el peso de humedad.
- Medición de peso después de saturación. Luego de retirar los moldes y escurrir, se realiza los respectivos pesajes a fin de determinar el peso de la porción saturada de suelo, para ello es necesario el uso del molde.
- Reubicación de la sobrecarga y preparación para la penetración: La sobrecarga circular y el anillo se reubican nuevamente sobre la muestra, y la muestra se lleva al dispositivo de carga para ser penetrada por el pistón de penetración.
- Aplicación de carga y medición de penetración: Se aplica una carga al suelo a una razón de penetración controlada de 0.05 pulgadas/minuto. Se ajustan ambos diales a cero antes de iniciar el ensayo. Durante la penetración, se toman lecturas de carga en intervalos de 0.025, 0.050, 0.075, 0.1, 0.125, 0.150, 0.175, 0.2, 0.3, 0.4 y 0.5 pulgadas de penetración.
- Desmoldado y determinación del contenido de humedad: Finalmente, después de la penetración, se retira la muestra del molde. Se extraen dos muestras representativas de suelo del entorno del punto de penetración, con el fin de determinar el valor de la humedad, lo que a su vez permite calcular el comportamiento del suelo para múltiples valores de saturación.

Relación de Carga de California (CBR). La relación de carga de California (CBR) se utiliza para evaluar la penetración del suelo con resistencia en condiciones controladas. Los datos son importantes para el diseño de pavimentos y otras estructuras que interactúan con el suelo. Los resultados de una CBR proporcionan un valor numérico que a menudo se describe como la capacidad de carga del suelo. Esto se compara con un

suelo estándar. Este valor es fundamental para determinar la idoneidad del suelo para soportar estructuras pesadas o pavimentación en proyectos de construcción.

3.9.4 *Análisis e interpretación de los resultados*

El análisis e interpretación de los resultados es una etapa esencial en cualquier proceso de investigación, ya que proporciona la comprensión necesaria sobre los efectos de los tratamientos aplicados. Esta fase permite evaluar de manera crítica si los objetivos establecidos al inicio del estudio han sido alcanzados y qué impacto han tenido las modificaciones o tratamientos sobre los parámetros analizados. Dado el contexto de un estudio que examina la estabilización del suelo a través del uso de cal tratada y cemento caducado, el análisis de los resultados se centra en la comparación exhaustiva de las propiedades físicas y mecánicas del suelo antes y después de la aplicación de estos tipos de estabilizante.

Deben hacerse conclusiones basadas en el análisis efectuado para identificar variaciones significativas en las propiedades geotécnicas que son claves para evaluar la mejora de la capacidad de carga, desempeño a la humedad y estado de equilibrio del suelo. La interpretación de estos resultados permitirá establecer el porcentaje óptimo de cal y cemento vencido necesario para lograr el balance adecuado entre costo y desempeño para también emitir conclusiones acerca de la viabilidad de este tratamiento para mejorar la subrasante en el tramo de la vía vecinal Coplay – Nuevo Coplay.

Es vital que este análisis se lleve a cabo con imparcialidad, contrastando los hallazgos experimentales con las normas de calidad vigentes para suelos subrasantes y las leyes nacionales pertinentes. Las interpretaciones también deben considerar los posibles efectos de los tratamientos sobre el medio ambiente, la sostenibilidad y los costos, contribuyendo a una evaluación integral de la solución propuesta.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Resultados obtenidos

Se presentan los resultados obtenidos de la evaluación de las propiedades del suelo de subrasante con la adición controlada de cemento vencido tratado con cal.

4.1.1 Características físicas y mecánicas del suelo de subrasante que se extienden a lo largo de la vía vecinal Coplay – Nuevo Coplay

❖ Granulometría del suelo natural de subrasante

Tabla 5

Porcentaje pasante en cada tamiz de las muestras de subrasante

% Pasante en cada tamiz de las muestras de subrasante			
Tamiz	CS-1	CS-2	CS-3
1/2"	100.00	100.00	100.00
3/8"	98.50	98.09	95.78
No4	95.71	94.09	90.75
No 10	91.50	88.89	85.01
No20	86.41	83.21	78.05
No40	80.79	76.76	70.24
No 50	73.83	69.60	60.55
No100	65.98	61.08	50.73
No200	56.01	50.87	38.10

Se muestra los porcentajes que pasan en cada tamiz de las 3 muestras tomadas de la subrasante actual del Coplay – Nuevo Coplay.

Figura 5

Curva granulometría de suelo de subrasante de CS-1

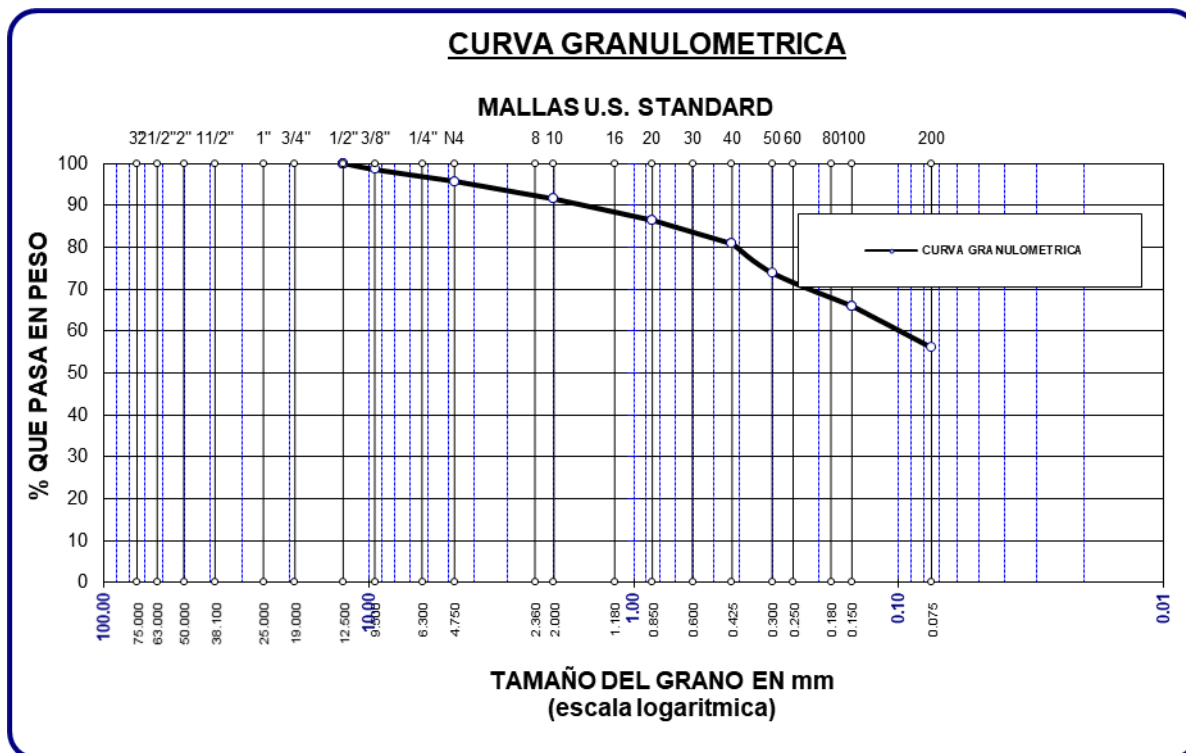


Figura 6

Curva granulometría de suelo de subrasante de CS-2

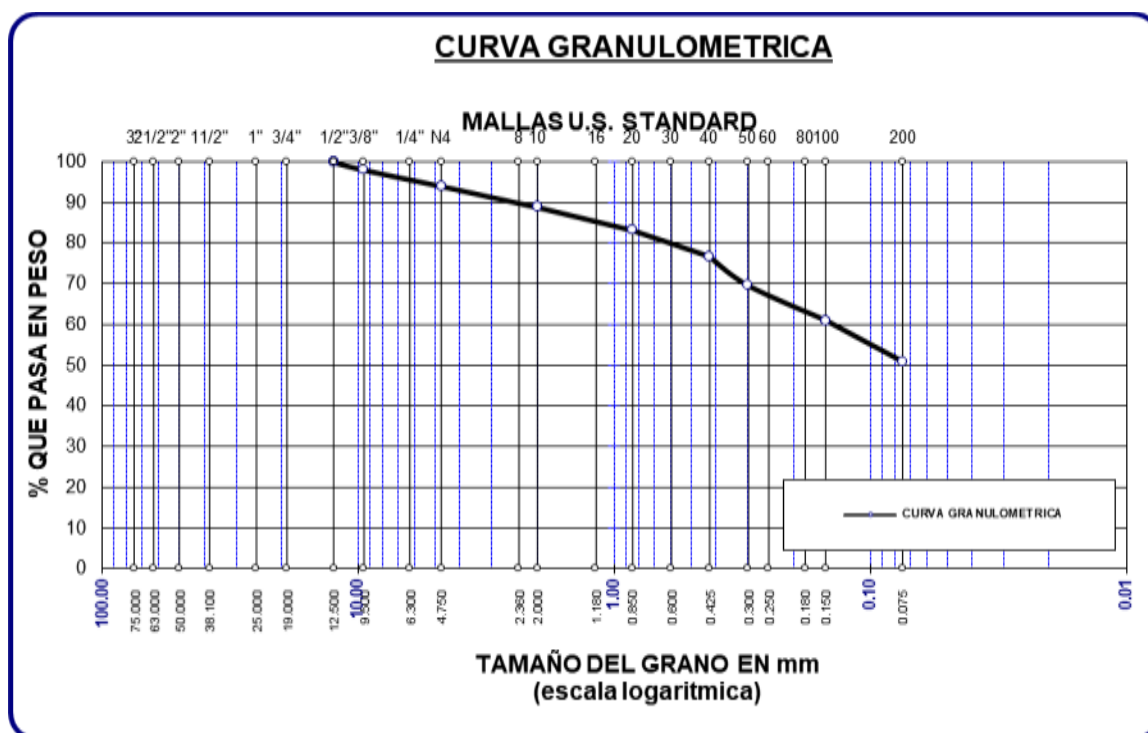
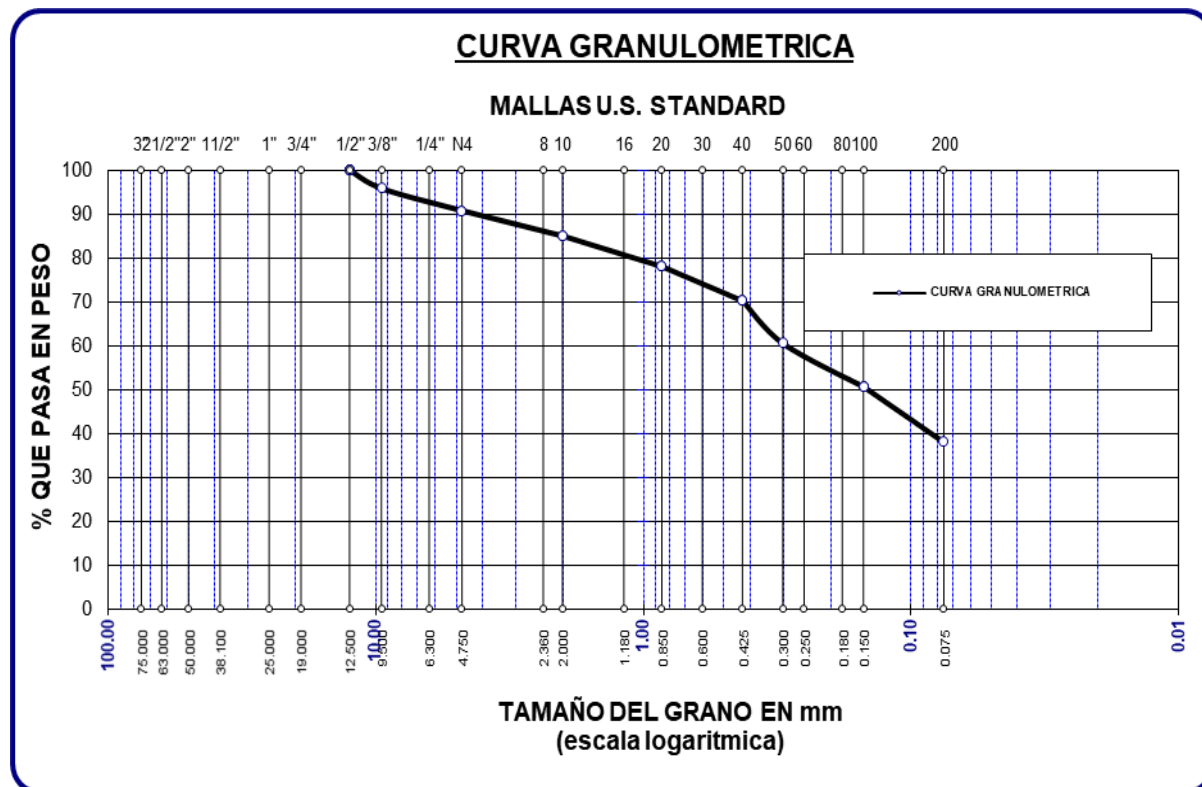


Figura 7

Curva granulometría de suelo de subrasante de CS-3



❖ Humedad de la subrasante

Tabla 6

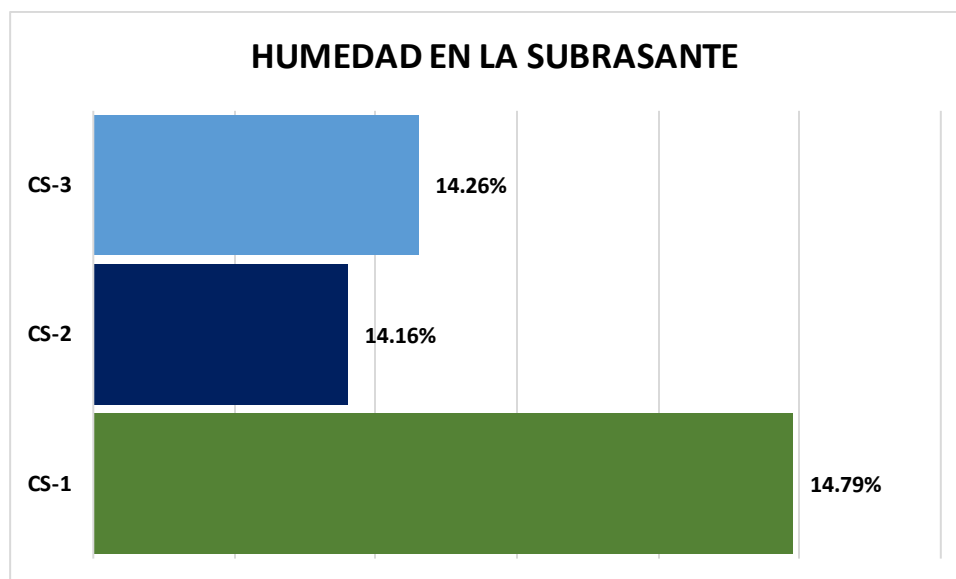
Contenido de humedad en las muestras del suelo natural de subrasante

Detalles	Margen de vía	Humedad
CS-1	Derecho	14.79%
CS-2	Izquierdo	14.16%
CS-3	Derecho	14.26%
Promedio		14.40%

Se muestra las humedades encontradas en la subrasante natural teniendo como promedio un 14.40%.

Figura 8

valores de contenido de humedad del suelo natural de subrasante



Se muestra los resultados de humedad en las muestras de subrasante natural obtenidas en diferentes márgenes de la vía. Se observa que la humedad en la muestra "CS-1" (margen derecho) es de 14.79%, mientras que en la muestra "CS-2" (margen izquierdo) es de 14.16%, y en la muestra "CS-3" (margen derecho) es de 14.26%. El promedio general de humedad de las muestras de subrasante es de 14.40%. Este análisis es crucial para determinar las condiciones iniciales del suelo antes de realizar el tratamiento de estabilización.

❖ Límites de consistencia del suelo natural de subrasante

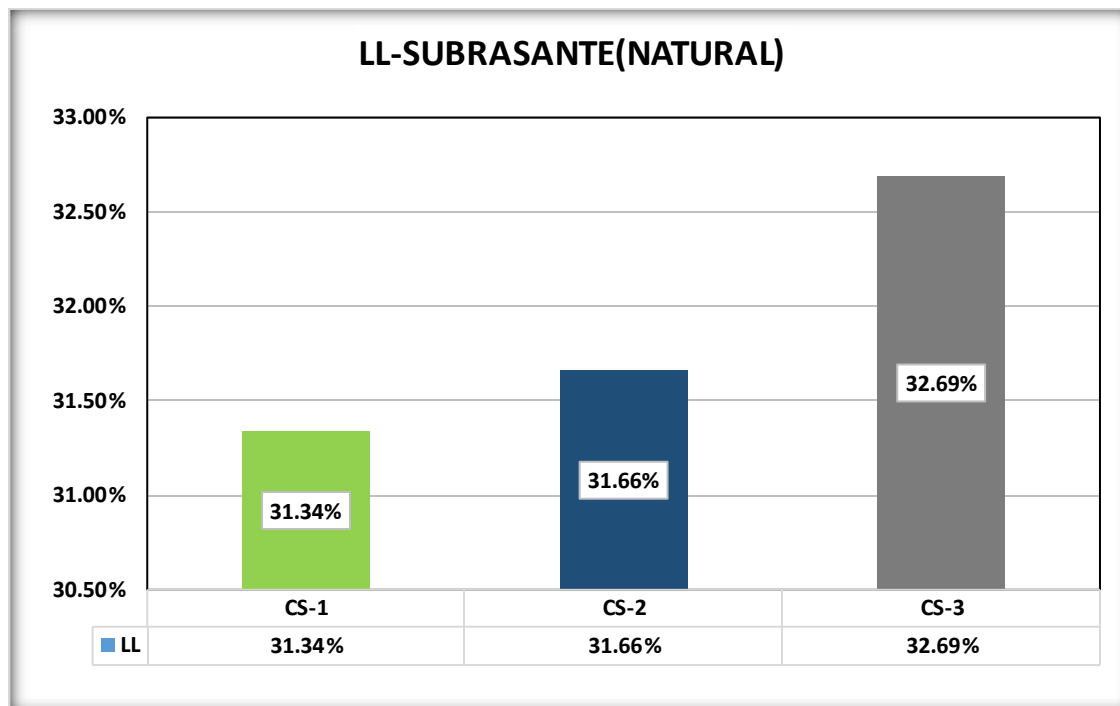
Tabla 7

Valores de límite líquido del suelo natural de subrasante

Detalles	Margen de vía	LL
CS-1	Derecho	31.34%
CS-2	Izquierdo	31.66%
CS-3	Derecho	32.69%
Promedio		31.90%

Figura 9

Valores de límite líquido del suelo natural de subrasante



Se presenta los resultados de los Límites Líquidos (LL) de las muestras de subrasante natural obtenidas en diferentes márgenes de la vía. Los resultados muestran que la muestra "CS-1" (margen derecho) tiene un LL de 31.34%, "CS-2" (margen izquierdo) tiene un LL de 31.66%, y "CS-3" (margen derecho) presenta un LL de 32.69%. El promedio general de los Límites Líquidos de las muestras es de 31.90%.

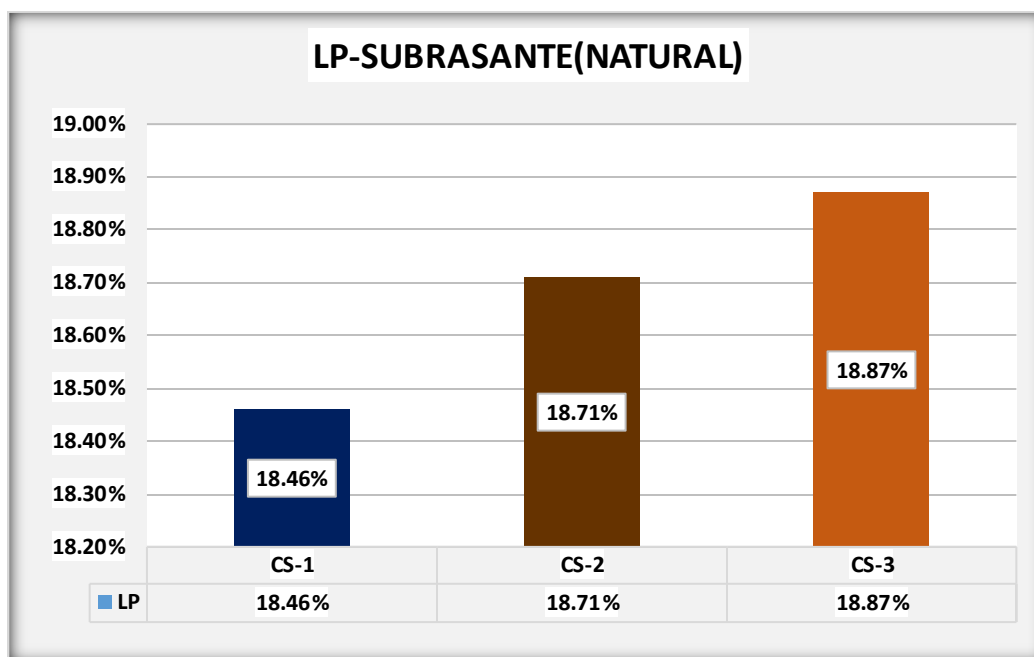
Tabla 8

Valores de límite plástico del suelo natural de subrasante

Detalles	Margen de vía	LP
CS-1	Derecho	18.46%
CS-2	Izquierdo	18.71%
CS-3	Derecho	18.87%
Promedio		18.68%

Figura 10

Valores de límite plástico del suelo natural de subrasante



Se muestra los resultados de los (LP) de las muestras de subrasante natural obtenidas en diferentes márgenes de la vía. La muestra "CS-1" (margen derecho) tiene un LP de 18.46%, la muestra "CS-2" (margen izquierdo) presenta un LP de 18.71%, y la muestra "CS-3" (margen derecho) tiene un LP de 18.87%. El promedio general de los LP de las muestras es de 18.68%. Estos valores indican la capacidad del suelo para deformarse plásticamente, lo cual es fundamental para evaluar su comportamiento en la estabilización.

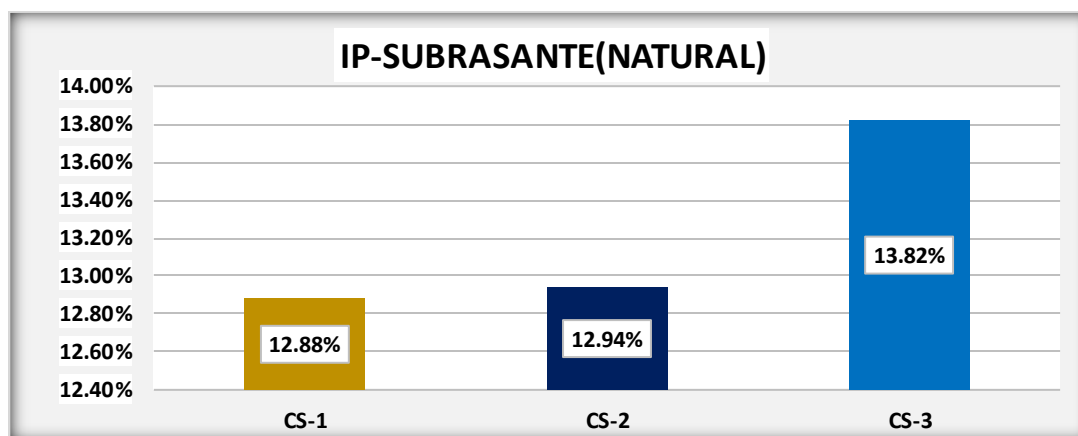
Tabla 9

Valores de índice de plasticidad del suelo natural de subrasante

Detalles	Margen de vía	IP
CS-1	Derecho	12.88%
CS-2	Izquierdo	12.94%
CS-3	Derecho	13.82%
Promedio		13.21%

Figura 11

Valores de índice de plasticidad del suelo natural de subrasante



Se presenta los resultados de los (IP). La muestra "CS-1" tiene un IP de 12.88%, "CS-2" muestra un IP de 12.94%, y "CS-3" tiene un IP de 13.82%. El promedio general del Índice de Plasticidad de las muestras es de 13.21%.

Tabla 10

Resumen de los límites de consistencia del suelo natural de subrasante

Límites de las muestras de la subrasante			
Definición	LL	LP	IP
CS-1	31.34%	18.46%	12.88%
CS-2	31.66%	18.71%	12.94%
CS-3	32.69%	18.87%	13.82%
Promedio	31.90%	18.68%	13.21%

Se muestra un resumen de los (LL), (LP) e (IP) de las muestras de subrasante natural de la vía. Los resultados indican que los valores promedio para el LL, LP e IP son 31.90%, 18.68% y 13.21%, respectivamente.

❖ Grado de compactación del suelo natural de subrasante

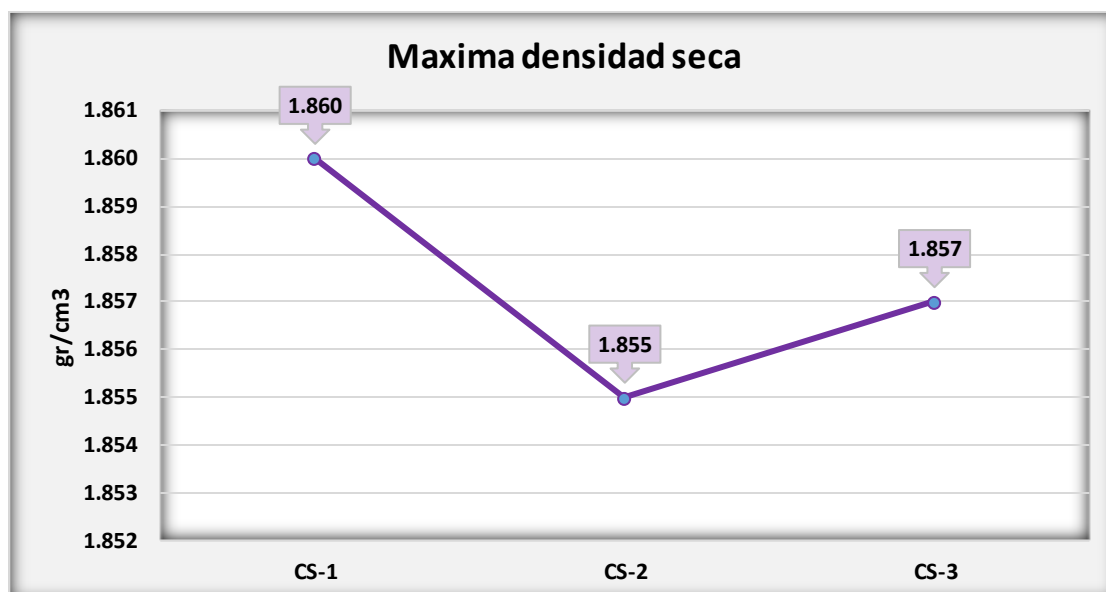
Tabla 11

Valores del grado de compactación del suelo natural de subrasante

Detalles	Margen de vía	MDS (grcm3)	OCH (%)
CS-1	Derecho	1.860	10.58%
CS-2	Izquierdo	1.855	10.62%
CS-3	Derecho	1.857	10.56%
Promedio		1.857	10.59%

Figura 12

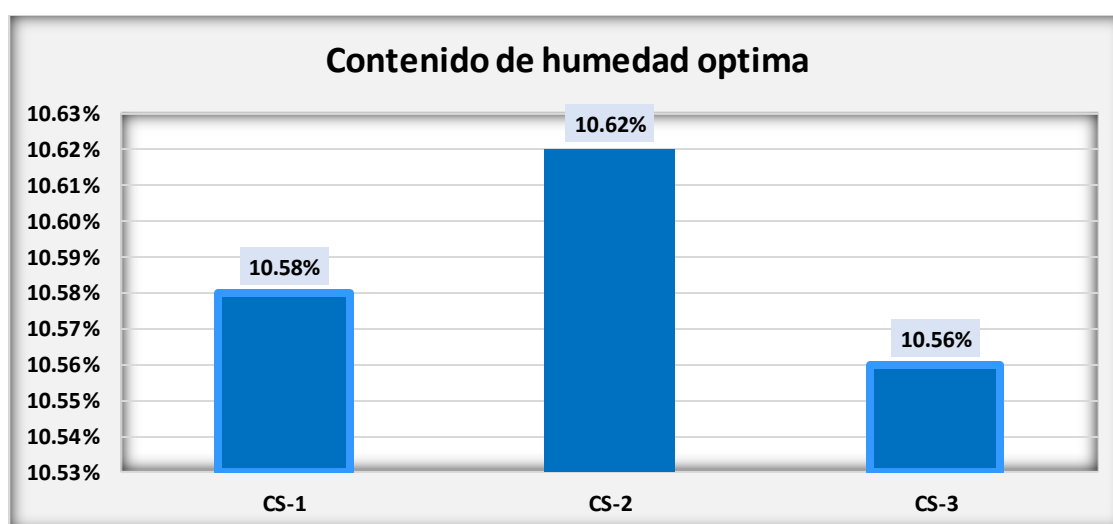
Valores de la máxima densidad seca del suelo natural de subrasante



Se presenta la DMS para las muestras de subrasante natural, mostrando valores entre 1.855 y 1.860 g/cm³, con un promedio de 1.857 g/cm³.

Figura 13

Valores del grado de compactación del suelo natural de subrasante



Se presenta los datos del contenido de humedad optimo donde el CHO fluctuó entre 10.56% y 10.62%, con un promedio de 10.59%. Estos valores son fundamentales para evaluar la compactación y comportamiento del suelo bajo condiciones de carga.

❖ CBR del suelo natural de subrasante

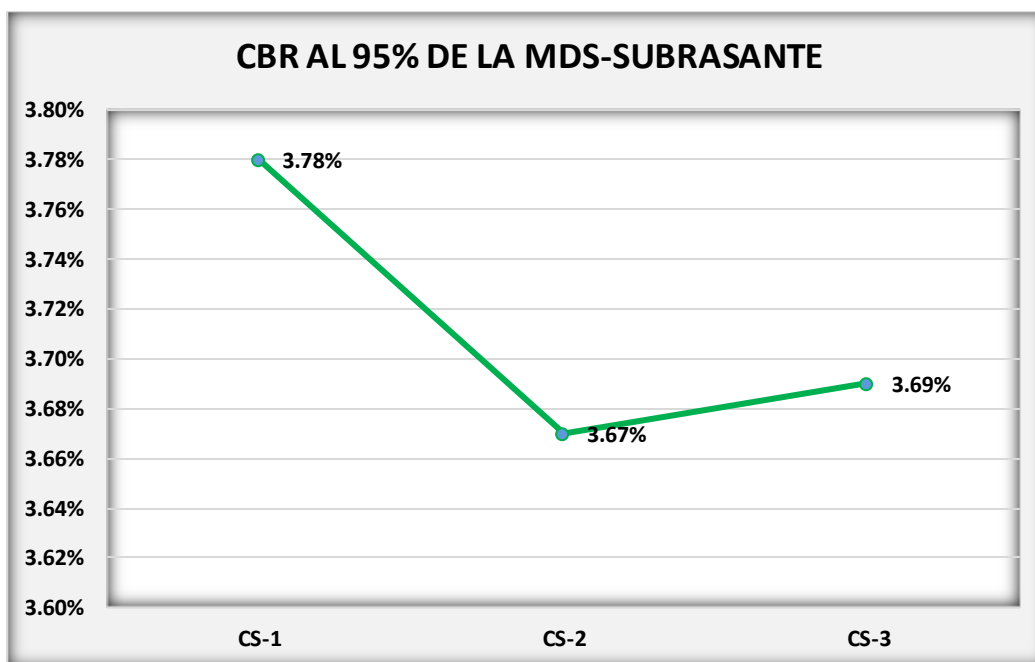
Tabla 12

Valores de CBR de las muestras de suelo natural de subrasante

Detalles	Margen de vía	CBR 95%	CBR 100%
CS-1	Derecho	3.78%	4.82%
CS-2	Izquierdo	3.67%	4.66%
CS-3	Derecho	3.69%	4.65%
Promedio		3.71%	4.71%

Figura 14

Valores de CBR de las muestras de suelo natural de subrasante



Se muestra los valores del CBR al 95%, los resultados de CBR al 95% varían entre 3.67% y 3.78%, con un promedio de 3.71%, Estos resultados reflejan una baja capacidad de soporte del suelo, lo que justifica la necesidad de estabilización.

Tabla 13*Resumen de las características de la subrasante(natural)*

Propiedades de la Subrasante natural	Valores obtenidos
LL	31.90%
LP	18.68%
IP	13.21%
MDS	1.857 gr/cc
OCH	10.59%
CBR (95% MDS)	3.71%

Se presentan las características de subrasante en la vía vecinal Coplay – Nuevo Coplay, evidenciando un índice CBR insuficiente para cumplir con los requisitos mínimos de capacidad de soporte exigidos para infraestructura vial, lo que justifica la necesidad de su estabilización.

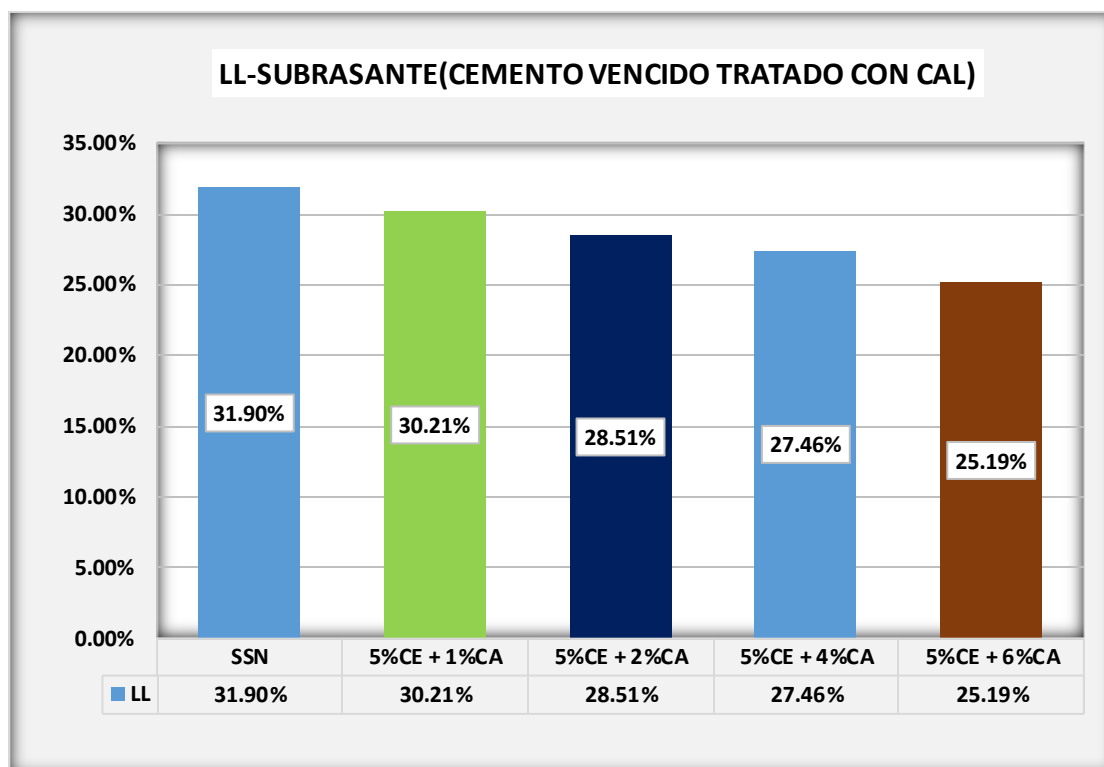
4.1.2 Influencia de la adición controlada de cemento vencido tratado con cal sobre el índice de plasticidad del suelo de subrasante

Tabla 14*Valores de límite líquido de subrasante con cemento vencido tratado con cal*

Grupo de prueba	LL
SSN	31.90%
5%CE + 1%CA	30.21%
5%CE + 2%CA	28.51%
5%CE + 4%CA	27.46%
5%CE + 6%CA	25.19%

Figura 15

Valores de límite líquido de subrasante con cemento vencido tratado con cal



Se presenta los valores de los (LL) del suelo de subrasante tratado con una mezcla fija de 5% de cemento vencido (CE) y porcentajes variables de cal (CA). Se observa una disminución progresiva del LL conforme se incrementa la cantidad de cal, partiendo de 30.21% con 1% de cal hasta alcanzar 25.19% con 6% de cal. Esta tendencia indica que la adición controlada de cal contribuye a reducir el LL.

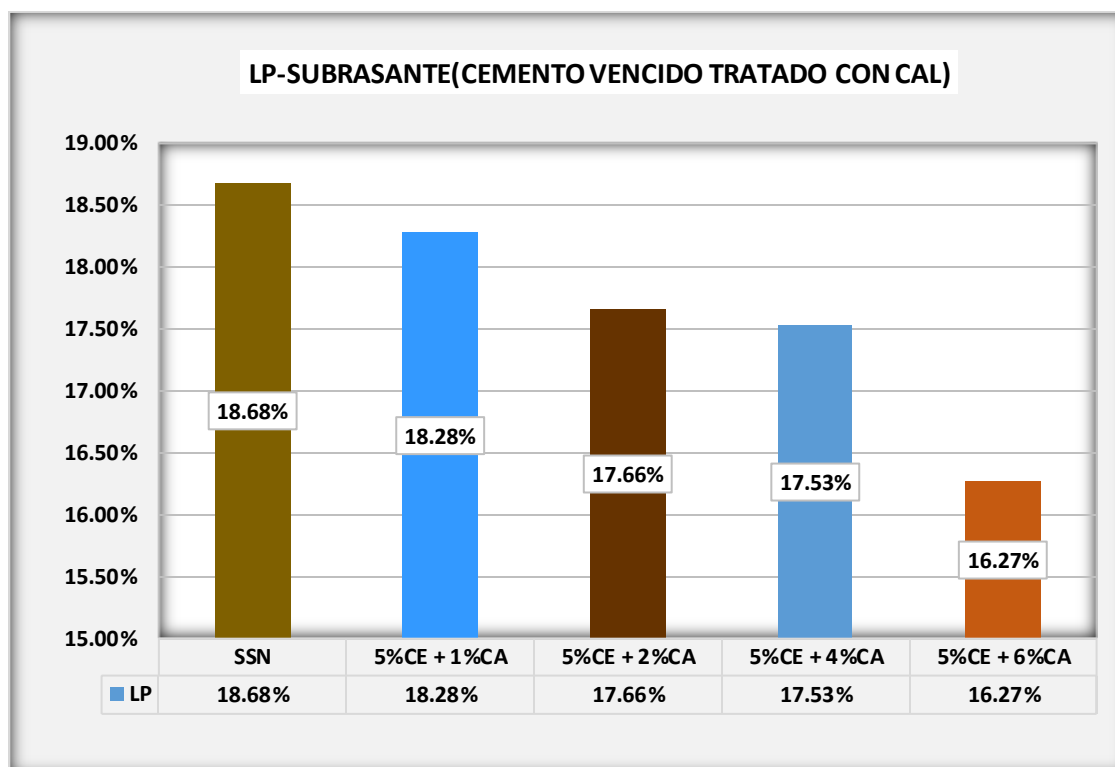
Tabla 15

Valores de límite plástico de subrasante con cemento vencido tratado con cal

Grupo de prueba	LP
SSN	18.68%
5%CE + 1%CA	18.28%
5%CE + 2%CA	17.66%
5%CE + 4%CA	17.53%
5%CE + 6%CA	16.27%

Figura 16

Valores de límite plástico de subrasante con cemento vencido tratado con cal



Se muestra los resultados de los (LP) del suelo de subrasante tratado con 5% de cemento vencido (CE) y distintos porcentajes de cal. A medida que se incrementa la cantidad de cal, el LP disminuye de 18.28% (con 1% de cal) a 16.27% (con 6% de cal). Esta reducción indica una mejora en la plasticidad del suelo, favoreciendo su estabilidad y comportamiento.

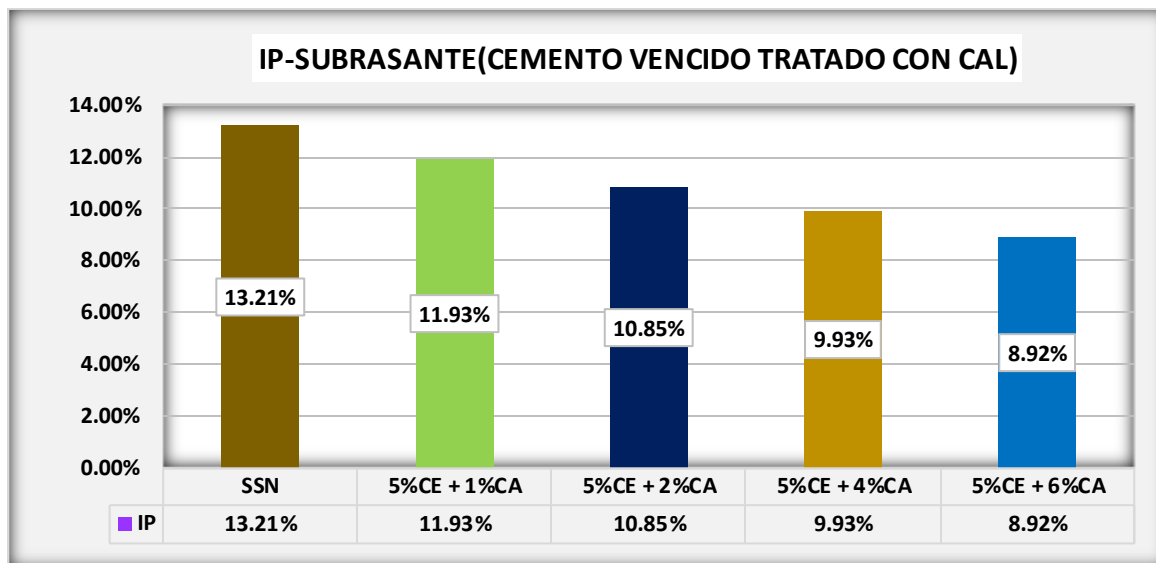
Tabla 16

Valores de índice de plasticidad de subrasante con cemento vencido tratado con cal

Grupo de prueba	IP
SSN	13.21%
5%CE + 1%CA	11.93%
5%CE + 2%CA	10.85%
5%CE + 4%CA	9.93%
5%CE + 6%CA	8.92%

Figura 17

Valores de índice de plasticidad de subrasante con cemento vencido tratado con cal



Se muestra la evolución del (IP) del suelo de subrasante tratado con 5% de cemento vencido y diferentes proporciones de cal. Se evidencia una disminución progresiva del IP desde 11.93% con 1% de cal hasta 8.92% con 6% de cal. Esta reducción indica una mejoría reveladora en la trabajabilidad y estabilidad del suelo tratado, favoreciendo su comportamiento estructural.

Tabla 17

Resumen de límites de consistencia de subrasante con cemento vencido tratado con cal

Límites de las muestras de la subrasante			
Grupo de prueba	LL	LP	IP
SSN	31.90%	18.68%	13.21%
5%CE + 1%CA	30.21%	18.28%	11.93%
5%CE + 2%CA	28.51%	17.66%	10.85%
5%CE + 4%CA	27.46%	17.53%	9.93%
5%CE + 6%CA	25.19%	16.27%	8.92%

Se muestra la evolución de los (LL), (LP) e (IP) del suelo estabilizado con 5% de cemento vencido y distintas proporciones de cal. Se observa una disminución progresiva en los tres parámetros conforme aumenta la dosis de cal, destacando una mejora en la consistencia del suelo. Estos resultados indican una reducción en la plasticidad y una mayor estabilidad del material tratado.

4.1.3 Influencia de la adición controlada de cemento vencido tratado con cal sobre el grado de compactación del suelo de subrasante

Tabla 18

Valores de grado de compactación de subrasante con cemento vencido tratado con cal

Detalles	MDS (grcm3)	OCH (%)
SSN	1.857	10.59%
5%CE + 1%CA	1.950	11.34%
5%CE + 2%CA	1.979	12.15%
5%CE + 4%CA	1.994	12.59%
5%CE + 6%CA	2.015	13.21%

Figura 18

Curva de compactación de subrasante con 5%CE + 1%CA

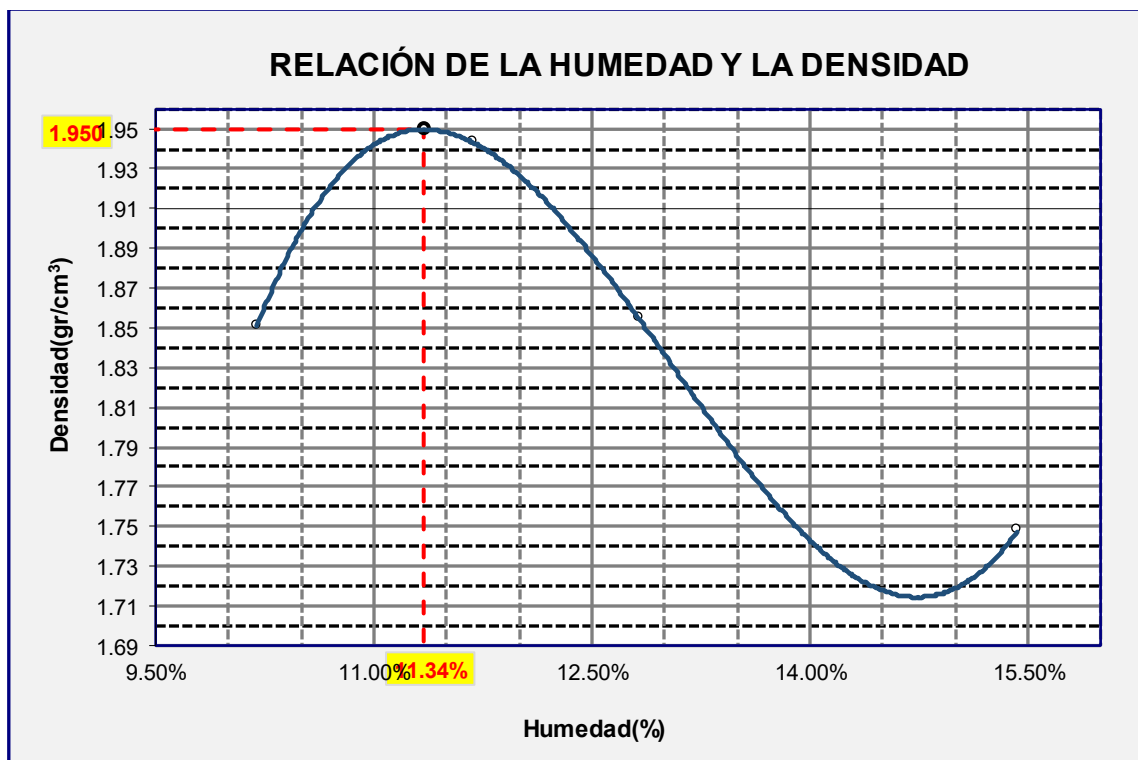


Figura 19

Curva de compactación de subrasante con 5%CE + 2%CA

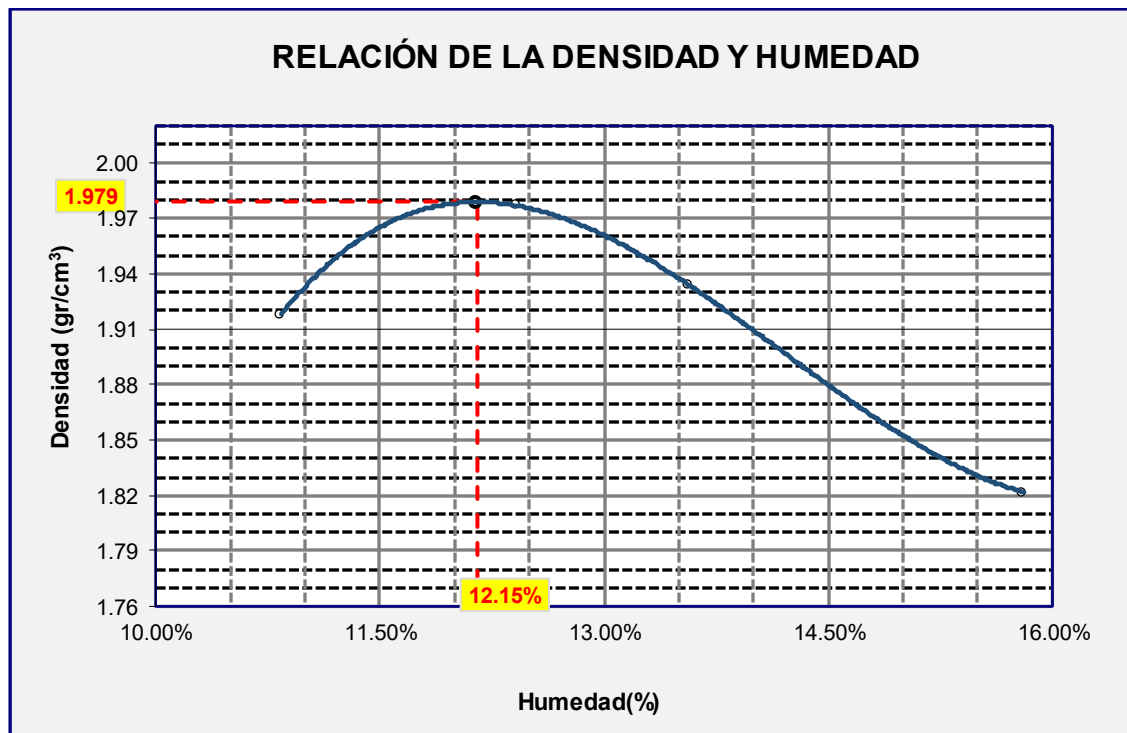


Figura 20

Curva de compactación de subrasante con 5%CE + 4%CA

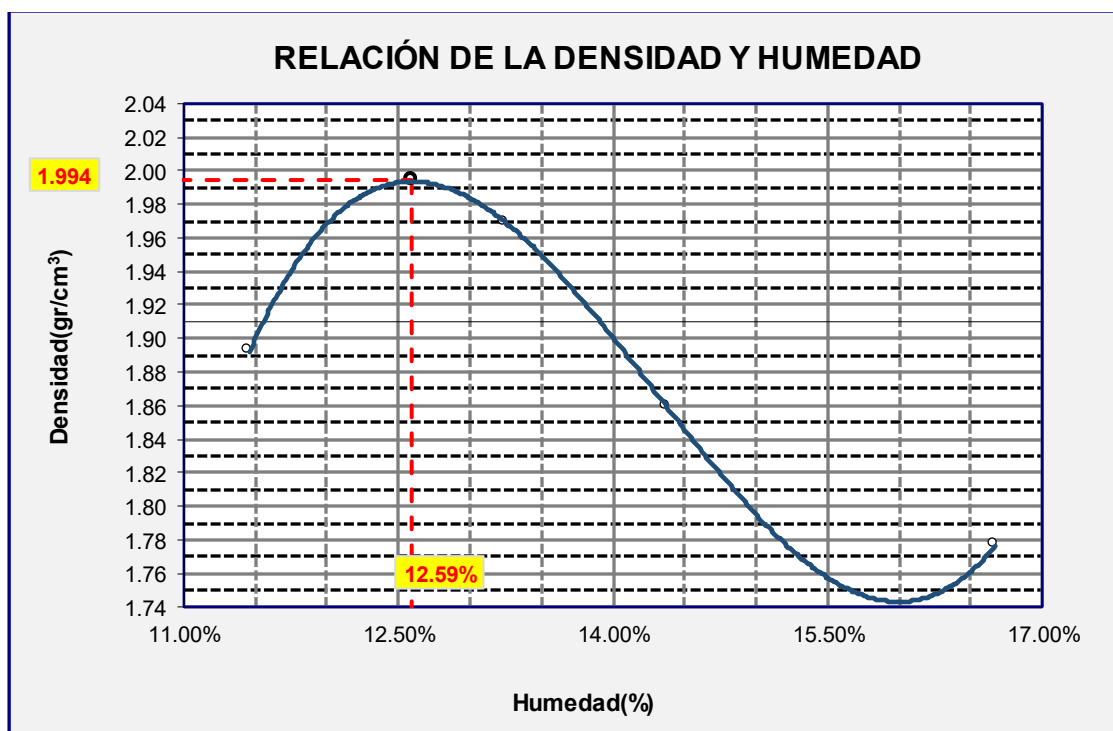


Figura 21

Curva de compactación de subrasante con 5%CE + 6%CA

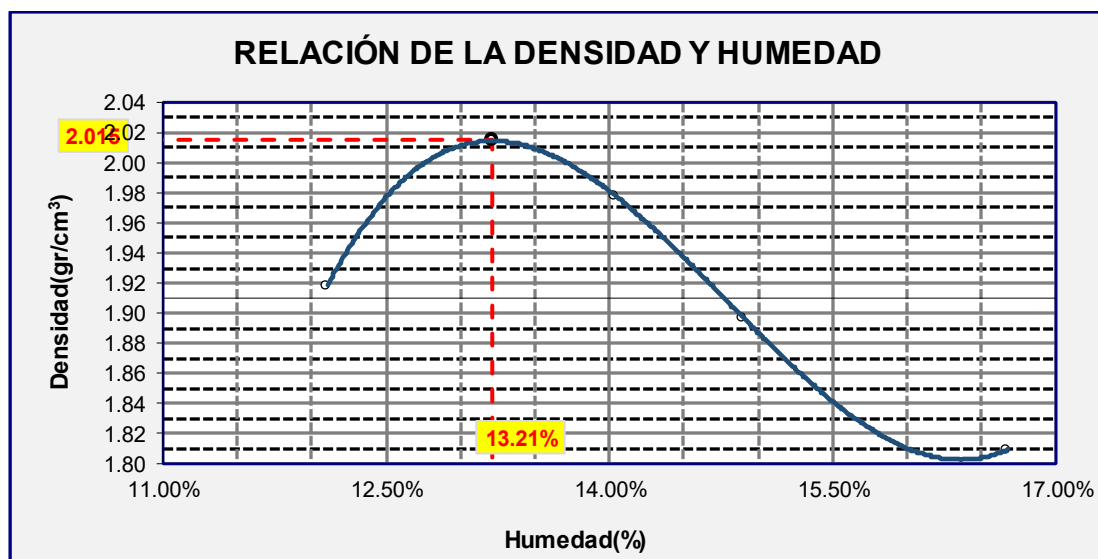
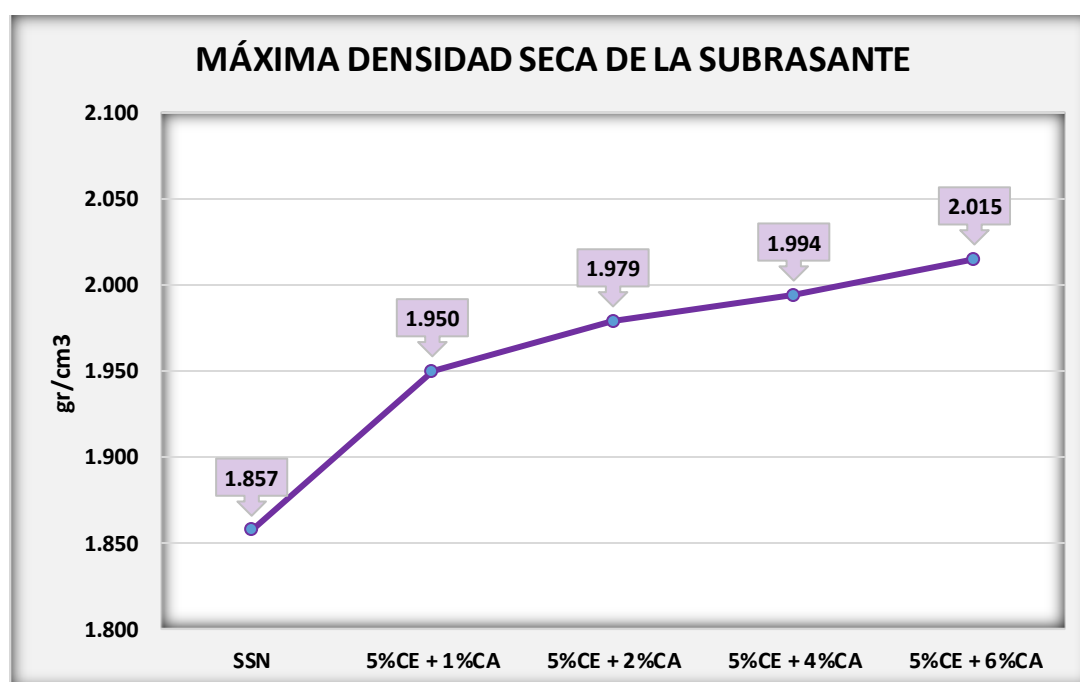


Figura 22

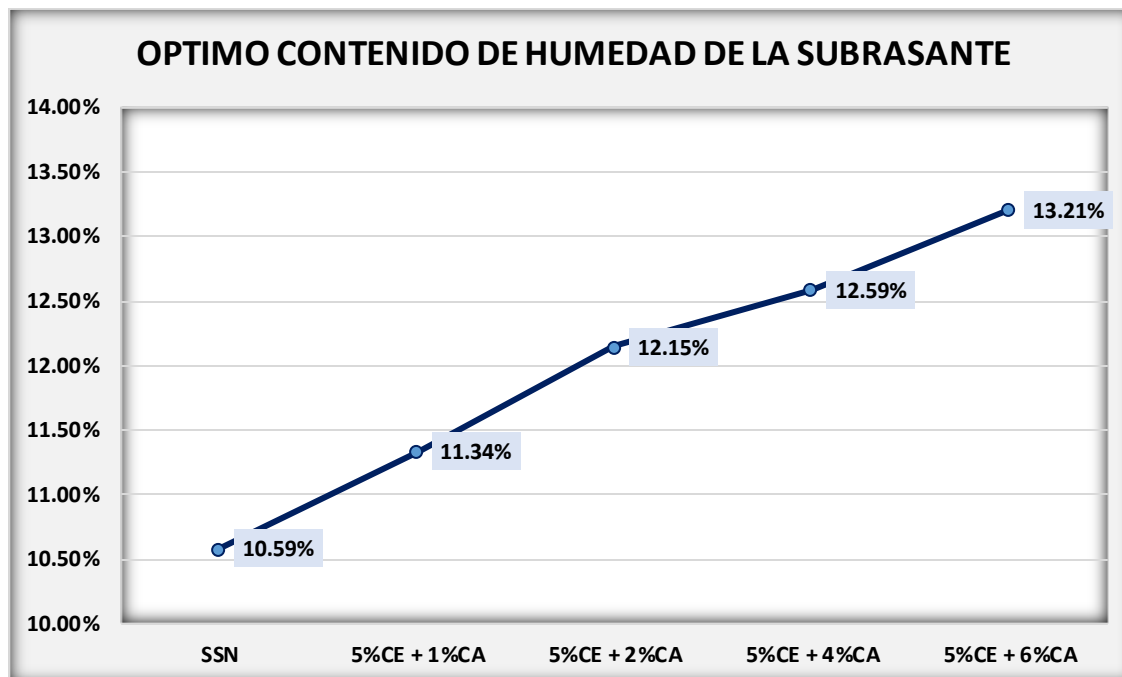
Valores de la MDS de subrasante con cemento vencido tratado con cal



Se incluyen los valores registrados en el ensayo de la MDS para el suelo tratado con 5% de cemento vencido y distintos porcentajes de cal. Se observa un aumento progresivo de 1.950 a 2.015 g/cm³.

Figura 23

Valores del OCH de subrasante con cemento vencido tratado con cal



Se incluyen los valores registrados en el ensayo del OCH para el suelo tratado con 5% de cemento vencido y distintos porcentajes de cal. Se observa un aumento progresivo de 11.34% a 13.21%. Estos incrementos reflejan una mejora en la compactabilidad y en la capacidad del suelo para resistir cargas.

4.1.4 Influencia de la adición controlada de cemento vencido tratado con cal sobre el CBR del suelo de subrasante

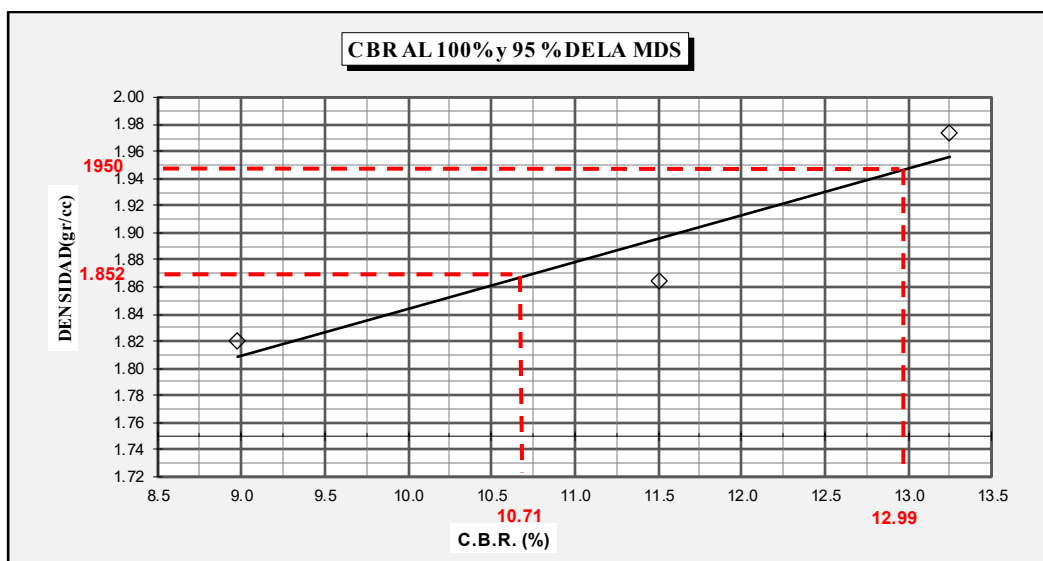
Tabla 19

Resumen de CBR de subrasante con cemento vencido tratado con cal

Grupo de prueba	CBR al 95%MDS	CBR al 100%MDS
SSN	3.71%	4.71%
5%CE + 1%CA	10.71%	12.99%
5%CE + 2%CA	13.98%	16.12%
5%CE + 4%CA	16.24%	18.86%
5%CE + 6%CA	17.82%	20.25%

Figura 24

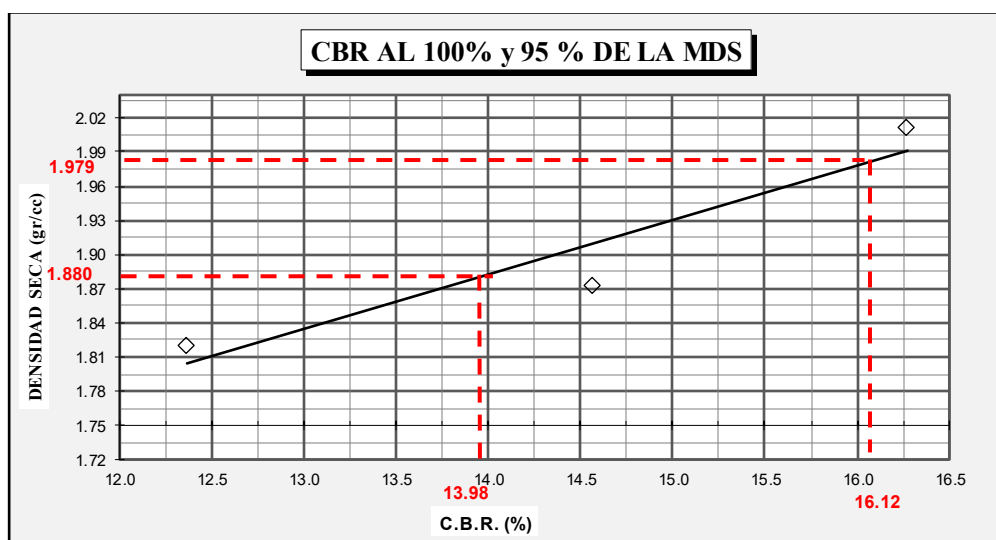
Representación de CBR de subrasante con 5%CE + 1%CA



Se muestra los datos de CBR al 95% y 100% de la MDS para la subrasante estabilizada con 5% de cemento vencido y 1% de cal. Se obtuvo un CBR de 10.71% al 95% de la MDS y 12.99% al 100%, evidenciando una mejoría en la capacidad de soporte del suelo.

Figura 25

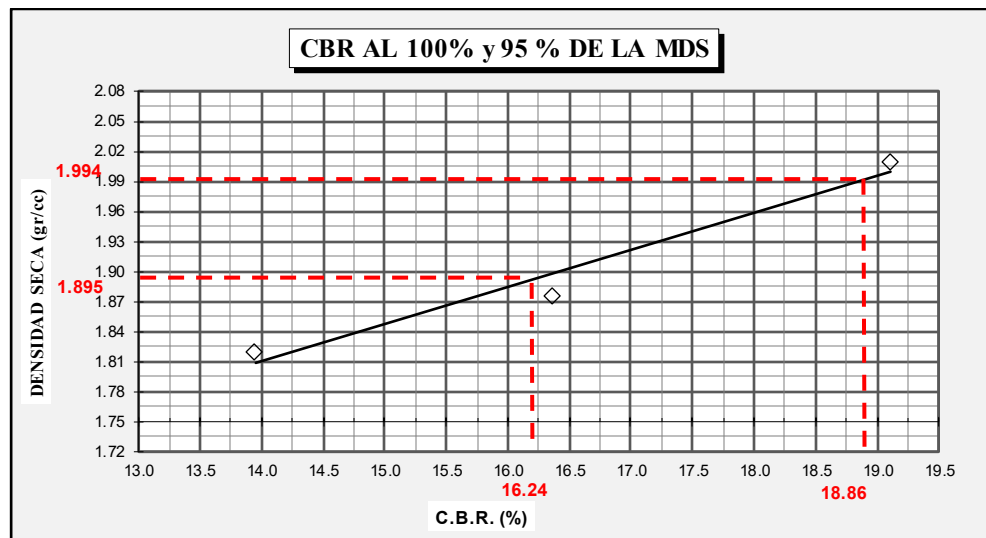
Representación de CBR de subrasante con 5%CE + 2%CA



Se muestra los datos de CBR al 95% y 100% de la MDS para la subrasante estabilizada con 5% de cemento vencido y 2% de cal. Se obtuvo un CBR de 13.98% al 95% de la MDS y 16.12% al 100%, evidenciando una mejoría en la capacidad de soporte del suelo.

Figura 26

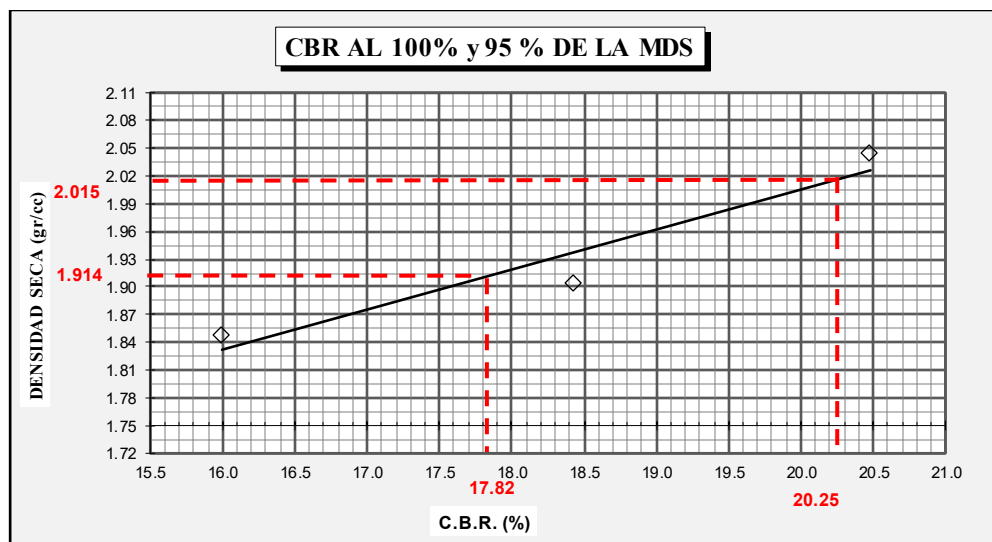
Representación de CBR de subrasante con 5%CE + 4%CA



Se muestra los datos de CBR al 95% y 100% de la MDS para la subrasante estabilizada con 5% de cemento vencido y 4% de cal. Se obtuvo un CBR de 16.24% al 95% de la MDS y 18.86% al 100%, evidenciando una mejoría en la capacidad de soporte del suelo.

Figura 27

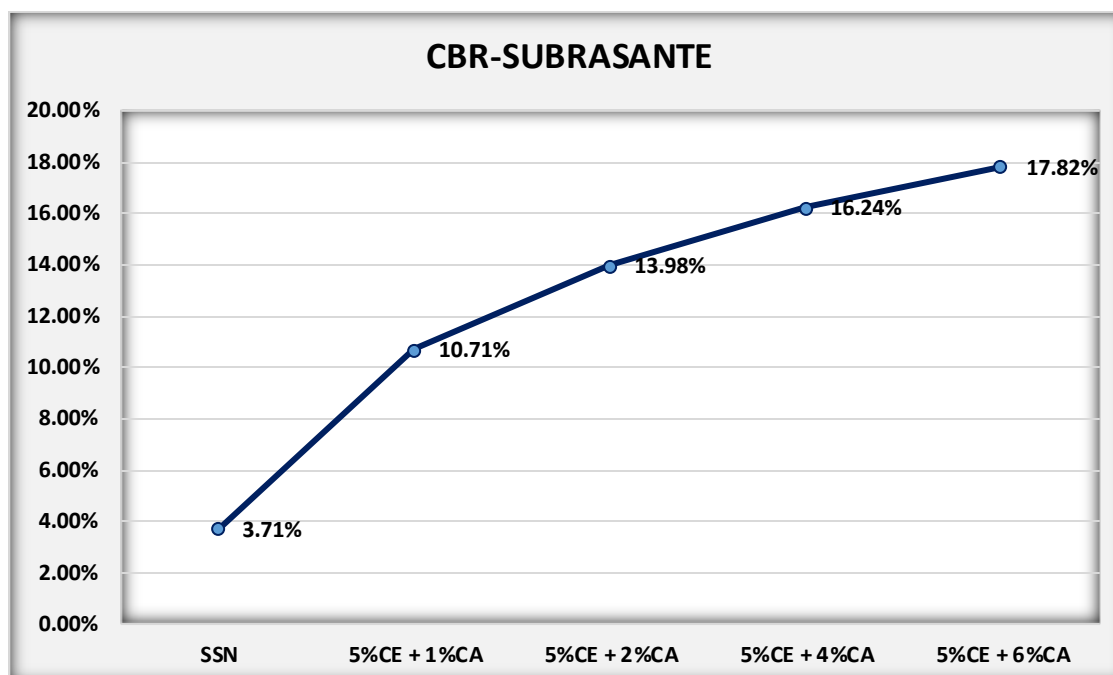
Representación de CBR de subrasante con 5%CE + 6%CA



Se muestra los datos de CBR al compactarlo al 95% y 100% de la MDS para la subrasante estabilizada con 5% de cemento vencido y 6% de cal. Se obtuvo un CBR de 17.82% al 95% de la MDS y 20.25% al 100%, evidenciando una mejoría en la capacidad de soporte del suelo.

Figura 28

Variación general de CBR de subrasante con cemento vencido tratado con cal



Se muestra la variación del CBR al 95% en el suelo de subrasante, comparando el estado natural (SSN) con mezclas estabilizadas con 5% de cemento vencido y distintos porcentajes de cal. Se observa un incremento progresivo del CBR conforme se añade más cal, pasando de 3.71% (natural) a 17.82% con 6% de cal al 95 % de MDS. Este comportamiento evidencia una mejoría sustancial en la capacidad estructural del suelo gracias al tratamiento aplicado.

4.2 Discusión de Resultados

Al revisar los antecedentes internacionales y nacionales relacionados con la estabilización de suelos arcillosos para proyectos de infraestructuras viales, se observa una tendencia común hacia el uso de aditivos como la cal y el cemento para mejorar las propiedades físico-mecánicas de estos suelos. Los suelos arcillosos, conocidos por su alta plasticidad y baja capacidad de soporte, a menudo requieren tratamientos especiales para que sean aptos para la construcción de pavimentos y otras estructuras pesadas. La investigación realizada por Zamora y Ortiz (2023) se centró en estudiar cómo la

estabilización de un suelo arcilloso con cal y cemento impacta en sus propiedades mecánicas, particularmente en su capacidad de soporte, evaluada mediante el índice de California Bearing Ratio (CBR). Se constató una clara mejora según los resultados obtenidos significativa en el CBR del suelo estabilizado, destacando que, con una dosificación del 4% de cemento, el suelo alcanzó valores que permitieron clasificarlo como adecuado para ser utilizado en la subrasante de pavimentos.

Estos hallazgos están en línea con los resultados de estudios previos, los cuales sugieren que el uso de cemento en la estabilización de suelos arcillosos tiene un efecto considerable en la mejora del material. La adición de cemento no solo mejora el comportamiento mecánico del suelo, sino que también optimiza su capacidad para resistir cargas pesadas, lo que es esencial para garantizar la durabilidad y seguridad de las infraestructuras viales. De esta manera, el uso de aditivos como la cal y el cemento se ha consolidado como una práctica eficaz y confiable para la estabilización de suelos en proyectos de construcción vial, brindando una solución accesible y efectiva frente a los desafíos de los suelos con baja capacidad de carga.

De manera similar, la investigación de Mejía (2024), que analizó la relatividad costo-beneficio de la estabilización de suelos en carreteras de segundo orden, encontró que la adición del 4% de cal incrementó considerablemente el CBR en suelos arcillosos, mientras que para las muestras de lastre, el 6% de cemento fue más efectivo. Estos hallazgos refuerzan la idea de que la cantidad de estabilizante debe ser ajustada según las características del suelo, lo que permite optimizar los costos de estabilización sin comprometer la calidad de la base vial.

En cuanto a los antecedentes nacionales, el estudio de Velásquez y Véliz (2025) sobre la consolidación de terrenos usando cal y cemento, demuestra que la adición de estos estabilizantes mejora significativamente la capacidad de carga y la estabilidad del suelo arcilloso, alcanzando valores de CBR de 26.32%. Este estudio también respalda la conclusión de que el aumento de los aditivos mejora la resistencia estructural del suelo, lo

que es crucial para las subrasantes de pavimentos, ya que los suelos más estables son capaces de soportar cargas más altas y resistir deformaciones a largo plazo.

Por otro lado, la investigación de Mamani (2023), que exploró repercusiones del cemento vencidos en suelos arcillosos, mostró que con una dosificación del 5% de cemento vencido, el CBR aumentó a 7.88%, mientras que la densidad máxima seca también mejoró significativamente. Este estudio destaca el uso sostenible y económico del cemento caducado como una alternativa viable para la estabilización de suelos, lo cual es una solución innovadora que puede ser aprovechada en proyectos de infraestructura vial en regiones como Cusco.

Los resultados de esta investigación también coinciden con los presentados por Mamani (2024), quien al emplear cal y zeolita en diferentes concentraciones obtuvo una mejora progresiva del CBR hasta alcanzar un 28.10% con 6% de aditivos. La disminución del índice de plasticidad desde 19.5 a 9.10 validó la eficiencia de dicha combinación, y refuerza la viabilidad de técnicas de estabilización complementarias como la utilizada en este estudio.

Por último, en el estudio realizado por Meneses (2023) sobre la estabilización del suelo de la Av. El Trébol con cemento tipo IP, se observó una disminución en el LL y el IP con la adición de cemento. Estos resultados indican que el uso de cemento tipo IP no solo mejora la trabajabilidad del suelo, sino que también aumenta su estabilidad, permitiendo que el suelo sea más resistente y adecuado para soportar cargas de tráfico. Los resultados obtenidos, donde el CBR aumentó significativamente con la adición de cemento, refuerzan la hipótesis de que el tratamiento con aditivos estabilizantes es fundamental para la mejoría las cualidades mecánicas de los suelos de baja plasticidad, haciéndolos más aptos para su uso en la construcción de pavimentos.

Tabla 20

Comparación de CBR de según antecedentes

Autor	Materiales empleados	CBR %
Zamora y Ortiz, (2023)	4% de cemento	39.6
	4% de cal	12.9
Mejia, (2024)	6% de cemento	16.79
	4% de cal	17.84
Mamani, (2023)	5% de cemento caducado	7.88
Valcarcel, (2024)	3% de cal	19.64
Mamani, (2024)	6% de cal	28.1
Trabajo actual	5% de cemento vencido + 6% de calcio	17.82

En resumen, los antecedentes revisados coinciden en que la adición de cal, cemento y otros estabilizantes mejora significativamente las propiedades mecánicas de los suelos arcillosos, como se demuestra en los incrementos del CBR y las reducciones en el índice de plasticidad. Además, los estudios sugieren que la cantidad de estabilizante debe ajustarse según las características específicas de cada tipo de suelo, lo que optimiza tanto los resultados como los costos de estabilización. Estos hallazgos respaldan la viabilidad de utilizar estos aditivos para estabilizar suelos en proyectos de infraestructura vial, especialmente en zonas donde los suelos presentan características desfavorables para el soporte de cargas y la construcción de pavimentos duraderos.

CONCLUSIONES

General, la evaluación de las propiedades del suelo de subrasante tratado con la adición controlada de cemento vencido y cal en la vía vecinal Coplay – Nuevo Coplay 2025 permitió comprobar que este tratamiento mejora significativamente el comportamiento del suelo. Se evidenció una reducción progresiva en la plasticidad (IP de 13.21% a 8.92%), un incremento en la densidad máxima seca (de 1.857 g/cm³ a 2.015 g/cm³) y un aumento notable en el CBR (de 3.71% a 17.82% al 95% de MDS), validando así la eficacia técnica del uso combinado de estos estabilizantes en suelos arcillosos con baja capacidad portante.

Primero, las muestras naturales de subrasante analizadas a lo largo del tramo estudiado mostraron características geotécnicas poco favorables, con un índice de plasticidad promedio de 13.21%, una humedad natural de 14.40%, densidad máxima seca de 1.857 g/cm³, un contenido óptimo de humedad de 10.59% y valores de CBR de solo 3.71% al 95% de MDS clasificada como subrasante ineficiente, lo que confirma la necesidad de estabilización del suelo para que sea apto como subrasante en infraestructura vial.

Segundo, la adición controlada de 5% de cemento vencido combinado con 1%, 2%, 4% y 6% de cal generó una disminución progresiva del índice de plasticidad del suelo de subrasante, pasando de un IP inicial de 13.21% (suelo natural) a 11.93%, 10.85%, 9.93% y 8.92% respectivamente, lo cual demuestra una mejora sustancial en la plasticidad del material y mayor estabilidad ante la presencia de humedad.

Tercero, los resultados del ensayo Proctor Modificado evidencian que la estabilización con 5% de cemento vencido y cal en proporciones crecientes permitió mejorar la compactabilidad del suelo, elevando la densidad máxima seca desde 1.857 g/cm³ (suelo



natural) hasta 2.015 g/cm^3 con 5% de cemento combinada con 6% de cal, y aumentando el contenido óptimo de humedad de 10.59% a 13.21%, lo que indica una mayor eficiencia en la disposición del suelo para soportar cargas.

Cuarto, la adición controlada de un 5% de cemento vencido combinado con 1%, 2%, 4% y 6% de cal produjo un incremento progresivo en el valor del CBR del suelo de subrasante, pasando de 3.71% en su estado natural a 10.71%, 13.98%, 16.24% y 17.82% al 95% de la MDS, respectivamente. Estos resultados evidencian que la combinación de 5% de cemento vencido con 6% de cal genera una mejora significativa en la capacidad portante del suelo, convirtiéndolo en un material apto para ser utilizado en capas de subrasante.



RECOMENDACIONES

Primero, se recomienda replicar esta investigación en otras zonas con suelos de distinta naturaleza (arenosos, limosos o con alta salinidad) para analizar el comportamiento del cemento vencido y la cal bajo diferentes condiciones geotécnicas.

Segundo, en este estudio se utilizó un porcentaje fijo del 5% de cemento vencido; futuras investigaciones podrían experimentar con otras proporciones (como 3%, 7% o 10%) para identificar el porcentaje óptimo según el tipo de suelo y nivel de deterioro del cemento.

Tercero, se recomienda realizar estudios comparativos usando otros estabilizantes no convencionales como cenizas volantes, escoria granulada o zeolita, junto con cemento vencido, para determinar combinaciones más sostenibles y eficaces.

Cuarto, se recomienda llevar a cabo pruebas en tramos piloto o bancos de prueba en campo, donde se pueda monitorear el desempeño del suelo estabilizado bajo cargas reales de tránsito durante un periodo prolongado.

Quinto, incluir análisis de ciclo de vida y evaluación de costos permitiría demostrar la viabilidad económica y el aporte ambiental de reutilizar cemento vencido en proyectos de estabilización vial.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alarcón Hernández, J. (2024). Influencia del cemento Portland tipo I en las propiedades físico mecánicas del suelo arcilloso de la subrasante de la carretera entre el centro poblado Shumbana y el caserío El Diamante, Santa Rosa, Jaén, Cajamarca, 2023.

Universidad Nacional de Cajamarca.

<http://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/7085>

Amari Córdova, F. L., & Román Zurita, E. F. (2025). Influencia de ceniza de mesocarpio de coco sobre la subrasante de la carretera la Huaca – Las Peñas, Huabal, Jaén, 2024.

Universidad Nacional de Jaén||Repositorio Institucional - UNJ.

<http://repositorio.unj.edu.pe/jspui/handle/UNJ/806>

Amaya Díaz, G. A., & Soberon Leon, A. J. (2024). Comportamiento del cloruro de magnesio (bischofita) y óxido de calcio (cal) como estabilizadores de suelos para fines de pavimentación.

Añanca Estrada, J. A. (2025). Estabilización de la subrasante empleando filler calizo en suelos arenosos en la Av. Los Alamos Villa el Salvador, Lima-2023. *Universidad Peruana Los Andes*. <http://repositorio.upla.edu.pe/handle/20.500.12848/8906>

Armenta Farías, S. G., Becerra Ramírez, N., & Juárez Vergara, A. (2025). *Evaluación de materiales alternativos para la estabilización de arcillas expansivas en la zona metropolitana de Puebla.*

<https://repositorio.iberopuebla.mx/handle/20.500.11777/6230>

Arohuilca Huamán, S. (2024). Determinación de adición de cal para mejorar estabilidad de suelo cohesivo con alta actividad, para tránsito industrial en Lurín, Lima 2024.

Universidad Nacional Federico Villarreal.

<https://repositorio.unfv.edu.pe/handle/20.500.13084/9605>



- Arribasplata Nimboma, E. (2025). Influencia de la ceniza del bagazo de caña de azúcar en el California Bearing Ratio (CBR) de suelos arcillosos. *Universidad Nacional de Cajamarca*. <http://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/7746>
- Barrios, B. (2024). *Optimización de la estabilidad de suelos arcillosos aplicando óxido de calcio en la subrasante de la carretera Huaraclla distrito de Jesús km8 – km10—Cajamarca, 2024—Buscar con Google*.
- Caceres Crispin, L. E. (2024). *Evaluación de ensayos de compactación e índice CBR de suelos mejorados con ceniza de cáscara de arroz activada alcalinamente con cal*. <http://hdl.handle.net/20.500.12404/29357>
- Campos Calderon, J. G. (2025). *Estabilización química de suelos con geopolímero elaborado de cerámica reciclada mediante activación alcalina para subrasante mejorada*. <http://tesis.usat.edu.pe/handle/20.500.12423/8433>
- Carmen Quintana, S. Y., & Escate Tanta, R. (2025). *Adición de cal y ceniza de caña de azúcar para mejoramiento de la capacidad de soporte de la subrasante arcillosa de la carretera Paimas—Ayabaca en Piura*. <https://repositorio.usil.edu.pe/entities/publication/9802000d-1e32-4e4d-abc0-c129e7229d41>
- Castro Diaz, E. F., & Juarez Chuquista, R. (2024). *Estudio experimental en la estabilización de suelos de baja capacidad portante para caminos no pavimentados utilizando cal natural, ceniza de briquetas de combustión de ladrilleras artesanales y ceniza de cascarilla de arroz, Lambayeque 2024*. <http://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/13278>
- Ccansaya Maldonado, R., & Tello Vargas, A. J. (2022). *Análisis comparativo entre los métodos de estabilización por sustitución y por adición de cal de obra, para el mejoramiento de una subrasante arcillosa en la carretera Canta—Huayllay KM 57-59*.
- Condo, J. T. F., Salazar, D. P. A., Cruz, B. R. C., & Condo, M. K. F. (2024). *Comparativa de métodos químicos en la estabilización de suelos Cohesivos (Arcillosos): Cal,*



- Cloruro de Calcio y Sulfato de Calcio (Yeso): Comparative Study of Chemical Methods in the Stabilization of Cohesive (Clay) Soils: Lime, Calcium Chloride, and Gypsum (Calcium Sulfate). *Revista Científica Multidisciplinar G-nerando*, 5(1), Article 1. <https://doi.org/10.60100/rcmg.v5i1.228>
- Cubas Toro, J. P. (2025). Mejoramiento de la capacidad de soporte de la subrasante de la vía Antenor Orrego mediante la adición de cal y escoria—Jaén 2023. *Universidad Nacional de Cajamarca*.
- Cueva Turpo, W. (2024). Potencial de expansión y capacidad portante de los suelos arcillosos en la Asociación de Vivienda El Paraíso – distrito de San Antonio – Moquegua 2022. *Universidad José Carlos Mariátegui*. <https://repositorio.ujcm.edu.pe/handle/20.500.12819/3432>
- Fonseca Sanchez, K. M. (2023). Estabilización de suelos con cal y cemento para tratamiento de subrasante de la carretera en el Distrito la Ramada Provincia de Cutervo – Cajamarca—Perú. *Repositorio Institucional - USS*. <https://repositorio.uss.edu.pe/handle/20.500.12802/12100>
- Gutierrez Balbin, K. (2022). Efecto del Tiempo de Almacenamiento del Cemento Portland Tipo I en la Estabilización de las Propiedades del Suelo para Subrasante.
- Huaman Rojas, E. (2024). Influencia de estabilizantes económicos en la estabilización de suelos arcillosos de la subrasante del pasaje San Martín en el distrito de Quinua, Huamanga, Ayacucho, 2022. *Universidad Continental*. <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/15130>
- Larico Ccasa, A. J. (2024). *Mejoramiento de la subrasante del Jirón Aeropuerto con la estabilización de suelo cemento en el Distrito de Juliaca Provincia de San Román Región Puno*.
- Luna Baca, E., & Quispe Herhuay, G. (2021). Fibras de agave americana tratada con óxido de calcio en la estabilización de suelos arcillosos en la subrasante de pavimentos rígidos en la ciudad de Cusco.



- Malaver Cerdan, K. G. (2024). *Mejoramiento de suelo arcilloso con óxido de calcio al 5%, 8% y 12% para el tratamiento de la subrasante en la carretera El Empalme—Catilluc km 01 000-km 06 000, Cajamarca—2023.*
- Mamani Quispe, E. (2023). Adición del cemento caducado en la subrasante de un suelo arcilloso para mejorar sus propiedades mecánicas Cusco 2023.
- Mamani Ramos, J. (2024). Modificación de las propiedades del suelo de la subrasante de la Av. Santa Fortunata usando Cal y Zeolita, Moquegua, 2023.
- Marquez Cerron, M. M. (2024). Comparación de la estabilización de suelos con asfalto espumado y cemento portland tipo I en el Jr. Ica Antigua—Huancayo.
- Mejia Gallegos, M. A. (2024). *Relación costo beneficio en el mantenimiento de carreteras de segundo orden estabilizando la subrasante con cal o cemento.*
- Mendoza Cruz, E. H. (2023). Estudio comparativo de estabilización de suelos arcillosos entre las adiciones de cemento, cal y ceniza de carbón para subrasante.
- Repositorio Institucional - USS.*
<https://repositorio.uss.edu.pe/handle/20.500.12802/11854>
- Mendoza Rios, G. N., & Soncco Puma, W. D. (2025). Mejoramiento de las propiedades físico-mecánicas del suelo arcilloso de la subrasante prolongación Wiracocha, distrito de Sicuani-Cusco mediante el uso de cemento Portland Tipo IP. *Universidad Continental*. <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/17358>
- Meneses Mamani, E. D. (2023). Efecto de la adición de un cemento tipo IP en la estabilización de la capa base del pavimento flexible de la Av. El Trebol, distrito San Antonio, Moquegua—2021. *Universidad José Carlos Mariátegui*.
<https://repositorio.ujcm.edu.pe/handle/20.500.12819/2080>
- Pimienta, J., Orden, A. de la, & Estrada, R. (2018). *METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION*.
- Pino, R. (2019). *METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION*.
- Ramirez Pinchi, P., & Guerra Sánchez, E. F. (2021). *Estabilización de la subrasante con cemento portland y su influencia en el diseño del pavimento flexible, en el camino*



- vecinal, Morales—Polvoraico, en el distrito de Morales, provincia y región San Martín – 2020. <http://hdl.handle.net/20.500.14503/1430>
- Ramos Auris, J. J. (2025). Aplicación de cenizas volantes y cal en la estabilización de la subrasante con presencia de suelos arcillosos, Huancayo—2022. *Universidad Peruana Los Andes*.
- Romero Manrique, J. D. (2025). Analisis comparativo de la estabilizacion de suelos arcillosos a nivel de la subrasante con enzimas orgánicas y suelo cemento en Huancayo—2022. *Universidad Peruana Los Andes*.
<http://repositorio.upla.edu.pe/handle/20.500.12848/9150>
- Tacca Huaracca, J. A. (2021). Estabilización de suelo arcilloso con adición de cal para el mejoramiento de la subrasante, Vía de evitamiento, Abancay – Apurímac, 2021.
- Valcarcel Arocutipa, D. A. (2024). *Influencia de la cal en las propiedades fisico-mecánicas del suelo de subrasante del tramo Coasa – saco, km 62+295 – 62+545, Provincia de Carabaya, Puno*.
- Velásquez-Chávez, P. D., & Véliz-Rivadeneira, J. M. (2025). Estabilización de suelo arcilloso con el empleo de cal y cemento para el mejoramiento de la subrasante. *Revista Científica INGENIAR: Ingeniería, Tecnología e Investigación*. ISSN: 2737-6249., 8(15), Article 15.
- Vilchez Bachiao, M. A., & Sanchez Carrasco, K. W. (2024). Comportamiento físico-mecánico de la subrasante, entre la vía Vinchamarca Grande—Virahuanca, al sustituir vinaza y adicionar cal viva, Moro – 2022.
- Villalba Velasque, A., & Venegas Vergara, M. del P. (2023). Evaluación de las propiedades físico—Mecánicas de entre un suelo estabilizado con cemento y suelo con polímero 2022.
- Vizcarra Arapa, S., & Lujan Cabrera, I. L. (2021). Análisis experimental de las características mecánicas de la subrasante arcillosa del camino vecinal N° SM-707 Tarapoto – San Francisco de Río Mayo estabilizada con 3% de cal tras la adición



- de Cenizas de Cáscara de Arroz (CCA). *Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC)*. <https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/656757>
- Watson Blanco, E. H., & Manrique Medina, M. (2021). *Dimensionamiento de estructuras de pavimento en función del contenido de cal o cemento en la subrasante*. <http://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/3735769>
- Zambrano-Bravo, T. V., & Zambrano-Meza, M. I. (2023). ESTABILIZACIÓN DE SUELO CON CAL Y CEMENTO PARA EL MEJORAMIENTO DE SUBRASANTE. *REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINARIA ARBITRADA YACHASUN - ISSN: 2697-3456*, 7(13), Article 13.
- Zamora Chávez, C. I., & Ortiz Hernández, E. H. (2023). Estabilización de la subrasante mediante cal y cemento para una obra vial, ubicada en Rocafuerte-Tosagua sector El Junco. *Polo del Conocimiento: Revista científico - profesional*, 8(11 (NOVIEMBRE 2023)), 907-926.



ANEXOS



Anexo 1. Matriz de consistencia

EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES DEL SUELO DE SUBRASANTE CON LA ADICIÓN CONTROLADA DE CEMENTO VENCIDO TRATADO CON CAL EN LA VÍA VECINAL COPLAY – NUEVO COPLAY 2025				
Problemas	Objetivos	Hipótesis	Variables	Inst. de Medición
Problema General: ¿Cuáles son las propiedades del suelo de subrasante con la adición controlada de cemento vencido tratado con cal en la vía vecinal Coplay – Nuevo Coplay 2025?	Objetivo General: Evaluar las propiedades del suelo de subrasante con la adición controlada de cemento vencido tratado con cal en la vía vecinal Coplay – Nuevo Coplay 2025.	Hipótesis General: Las propiedades del suelo de subrasante con la adición controlada de cemento vencido tratado con cal en la vía vecinal Coplay – Nuevo Coplay 2025, siendo uno mejor que el otro componente de estabilización.	Variable Independiente Cemento vencido tratado con cal	Balanza, mezclador.
Problemas Específicos	Objetivos Específicos	Hipótesis Específicas	<i>5% de cemento vencido con las adiciones de (1%, 2%, 4% y 6%) de cal.</i>	
¿Cuáles son las características físicas y mecánicas del suelo de subrasante que se extienden a lo largo de la vía vecinal Coplay – Nuevo Coplay?	Analizar las características físicas y mecánicas del suelo de subrasante que se extienden a lo largo de la vía vecinal Coplay – Nuevo Coplay.	El suelo de subrasante presente a lo largo de la vía vecinal Coplay – Nuevo Coplay presenta propiedades físicas y mecánicas deficientes que requieren estabilización para cumplir con los estándares mínimos de capacidad de soporte establecidos para infraestructura vial.	Variable Dependiente	Equipos y herramientas de laboratorio.
¿Cuál es la influencia de la adición controlada de cemento vencido tratado con cal sobre el índice de plasticidad del suelo de subrasante en la vía vecinal Coplay – Nuevo Coplay?	Evaluar la influencia de la adición controlada de cemento vencido tratado con cal sobre el índice de plasticidad del suelo de subrasante en la vía vecinal Coplay – Nuevo Coplay.	La adición controlada de cemento vencido tratado con cal reducirá significativamente el índice de plasticidad del suelo de subrasante, mejorando su comportamiento.	Propiedades del Suelo de Subrasante	
¿Cuál es la influencia de la adición controlada de cemento vencido tratado con cal sobre el grado de compactación del suelo de subrasante en la vía vecinal Coplay – Nuevo Coplay?	Evaluar la influencia de la adición controlada de cemento vencido tratado con cal sobre el grado de compactación del suelo de subrasante en la vía vecinal Coplay – Nuevo Coplay.	La incorporación de cemento vencido tratado con cal en proporciones controladas mejorara los valores de densidad máxima seca y contenido óptimo de humedad del suelo de subrasante, optimizando su compactabilidad según los resultados del ensayo de proctor modificado.	<i>Índice de plasticidad</i> <i>Grado de compactación (MDS y OCH)</i> <i>CBR</i>	
¿Cuál es la influencia de la adición controlada de cemento vencido tratado con cal sobre el CBR del suelo de subrasante en la vía vecinal Coplay – Nuevo Coplay?	Evaluar la influencia de la adición controlada de cemento vencido tratado con cal sobre el CBR del suelo de subrasante en la vía vecinal Coplay – Nuevo Coplay.	El uso de cemento vencido tratado con cal incrementara de manera significativa el valor del CBR del suelo de subrasante, elevando su capacidad portante y haciéndolo apto para su uso en la construcción de capas estructurales de pavimento.		

Anexo 2. Panel fotográfico



Fotografía 1. Trituración del cemento vencido.



Fotografía 2. Cemento vencido triturado en gradación pasante la malla N° 4.



Fotografía 3. Obtención de cemento vencido en gradación fina.



Fotografía 4. Cemento vencido pasante la malla N° 200.



Fotografía 5. Pesaje de cemento vencido para su adición.



Fotografía 6. Presentación de cal.



Fotografía 7. Cal fina pasante la malla N° 200.



Fotografía 8. Pesaje de cal para su combinación.



UNIVERSIDAD ANDINA "NESTOR CACERES VELASQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERIAS Y CIENCIAS PURAS
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS



PROYECTO

EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES DEL SUELO DE SUBRASANTE CON LA ADICIÓN CONTROLADA DE CEMENTO VENCIDO TRATADO CON CAL EN LA VÍA VECINAL COPLAY - NUEVO COPLAY 2025

SOLICITANTE

BACHILLER MELANY CAROLINA CARPIO VERA

UBICACIÓN

COPLAY

LUGAR

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS

MUESTRA

M- 01

FECHA

22 DE JULIO DEL 2025

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

SUELO HUMEDO + TARRO	gr	114.80
SUELO SECO + TARRO	gr	103.10
PESO DEL TARRO	gr	24.00
PESO DEL AGUA	gr	11.70
PESO DEL SUELO SECO	gr	79.10
HUMEDAD %	%	14.79

LIMITE LIQUIDO - LIMITE PLASTICO E INDICE DE PLASTICIDAD ASTM - D424 D-4318 AASHTO - T90

LIMITE LIQUIDO		LIMITE PLASTICO				
TARRO N°		1	2	3	A	B
SUELO HUMEDO + TARRO	gr	43.32	44.33	42.89	13.85	13.57
SUELO SECO + TARRO	gr	39.60	40.65	39.57	12.92	12.72
PESO DEL TARRO	gr	28.25	28.62	29.14	8.00	8.00
PESO DEL AGUA	gr	3.72	3.68	3.32	0.93	0.85
PESO DEL SUELO SECO	gr	11.35	12.03	10.43	4.92	4.72
HUMEDAD %	%	32.78	30.59	31.83	18.90	18.01
N° DE GOLPES		30	25	15		
LIMITE LIQUIDO :		31.34	LIMITE PLASTICO :		18.46	

INDICE PLASTICO : 12.88

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

Donde:

LL = Limite Liquido

Wn = Contenido de Humedad Promedio (%)

N = Numero de Golpes



UNIVERSIDAD ANDINA "NESTOR CACERES VELASQUEZ"
FICP - CIVIL INGENIERIA CIVIL
Dr. Arnoldo Yana Torres
CIP: 103257



UNIVERSIDAD NACIONAL "NESTOR CACERES VELASQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
CARRERA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS



ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO (ASTM D422)

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

PROYECTO : EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES DEL SUELO DE SUBRASANTE CON LA ADICIÓN CONTROLADA DE CEMENTO VENCIDO TRATADO CON CAL EN LA VÍA VECINAL COPLAY - NUEVO COPLAY 2025

SOLICITANTE : BACHILLER MELANY CAROLINA CARPIO VERA

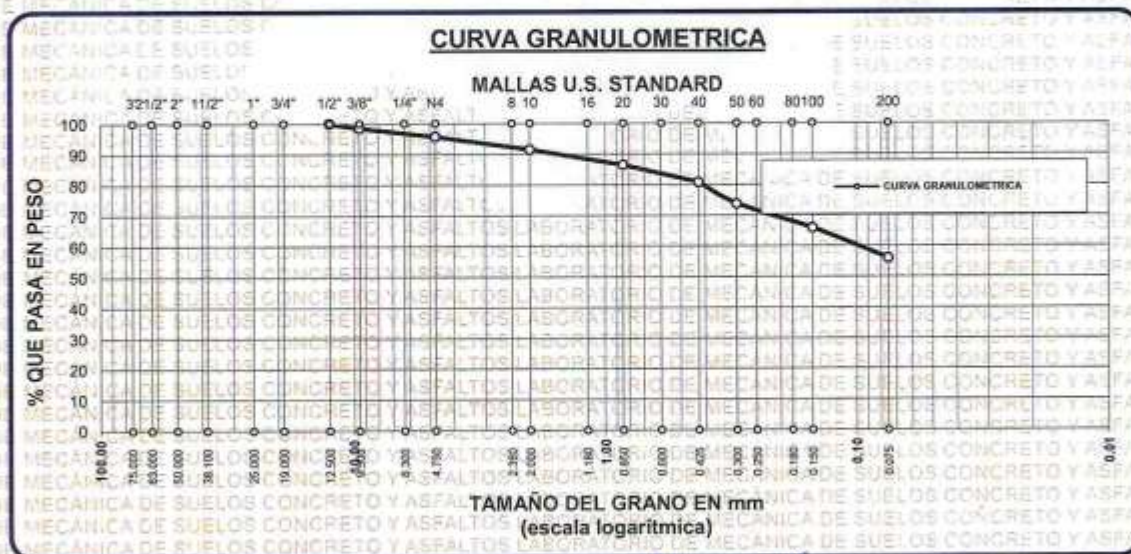
UBICACIÓN : COPLAY

LUGAR : LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS

MUESTRA : M-01

FECHA : 22 DE JULIO DEL 2025

TAMICES ASTM	ABERTURA mm	PESO RETENIDO	%RETENIDO PARCIAL	%RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	ESPECIF.	TAMAÑO MÁXIMO: DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
3"	75.000						P.I.= 700.00
2 1/2"	63.000						P.L.= 307.92
2"	50.000						P.P.= 392.08
1 1/2"	38.100						% W = 14.79
1"	25.000						LÍMITES DE CONSISTENCIA:
3/4"	19.000						L.L.= 31.34
1/2"	12.500	0.00	0.00	0.00	100.00		L.P.= 18.46
3/8"	9.500	10.50	1.50	1.50	98.50		I.P.= 12.88
1/4"	6.300						CARACT. GRANULOMÉTRICAS:
No4	4.750	19.50	2.79	4.29	95.71		D10= — Cu= —
No8	2.360						D30= — Cc= —
No10	2.000	29.50	4.21	8.50	91.50		D60= 0.11
No16	1.180						CLASIFICACION:
No20	0.850	35.60	5.09	13.59	86.41		I.G. =
No30	0.600						SUSCS CL-ML
No40	0.425	39.40	5.63	19.21	80.79		ASSTHO A-4
No50	0.300	48.72	6.96	26.17	73.83		OBSERVACIONES:
No60	0.250						
No80	0.180						
No100	0.150	54.92	7.85	34.02	65.98		
No200	0.075	69.78	9.97	43.99	56.01		
BASE		392.08	56.01	100.00	0.00		
TOTAL		700.00	100.00				
% PERDIDA		56.01					



UNIVERSIDAD NACIONAL "NESTOR CACERES VELASQUEZ"
FICP - CAP INGENIERÍA CIVIL

Dr. Arnaldo Yana Torres



UNIVERSIDAD ANDINA "NESTOR CACERES VELASQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERIAS Y CIENCIAS PURAS
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS



PROYECTO : EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES DEL SUELO DE SUBRASANTE CON LA ADICIÓN CONTROLADA DE CEMENTO VENCIDO TRATADO CON CAL EN LA VÍA VECINAL COPLAY - NUEVO COPLAY 2025

SOLICITANTE : BACHILLER MELANY CAROLINA CARPIO VERA

UBICACIÓN : COPLAY

LUGAR : LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS

MUESTRA : M - 02

FECHA : 22 DE JULIO DEL 2025

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

SUELO HUMEDO + TARRO	gr	111.87
SUELO SECO + TARRO	gr	100.90
PESO DEL TARRO	gr	23.41
PESO DEL AGUA	gr	10.97
PESO DEL SUELO SECO	gr	77.49
HUMEDAD %	%	14.16

LIMITE LIQUIDO - LIMITE PLASTICO E INDICE DE PLASTICIDAD ASTM - D424 D-4318 AASHTO - T90

LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLASTICO		
TARRO N°		4	5	6	C D
SUELO HUMEDO + TARRO	gr	40.92	41.80	40.99	14.97 14.86
SUELO SECO + TARRO	gr	37.95	38.62	37.99	13.86 13.79
PESO DEL TARRO	gr	28.25	28.62	29.14	8.00 8.00
PESO DEL AGUA	gr	2.97	3.18	3.00	1.11 1.07
PESO DEL SUELO SECO	gr	9.70	10.00	8.85	5.86 5.79
HUMEDAD %	%	30.62	31.80	33.90	18.94 18.48
N° DE GOLPES		30	25	15	
LIMITE LIQUIDO :		31.66	LIMITE PLASTICO :		18.71

INDICE PLASTICO : 12.94

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

Donde:

LL = Limite Líquido

W_n = Contenido de Humedad Promedio (%)

N = Numero de Golpes



UNIVERSIDAD ANDINA "NESTOR CACERES VELASQUEZ"
FICP - CAP INGENIERIA CIVIL
Dr. Arnaldo Yana Torres
CIP. 103257



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



ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO (ASTM D422)

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

PROYECTO : EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES DEL SUELO DE SUBRASANTE CON LA ADICIÓN CONTROLADA DE CEMENTO VENCIDO TRATADO CON CAL EN LA VÍA VECINAL COPLAY - NUEVO COPLAY 2025

SOLICITANTE : BACHILLER MELANY CAROLINA CARPIO VERA

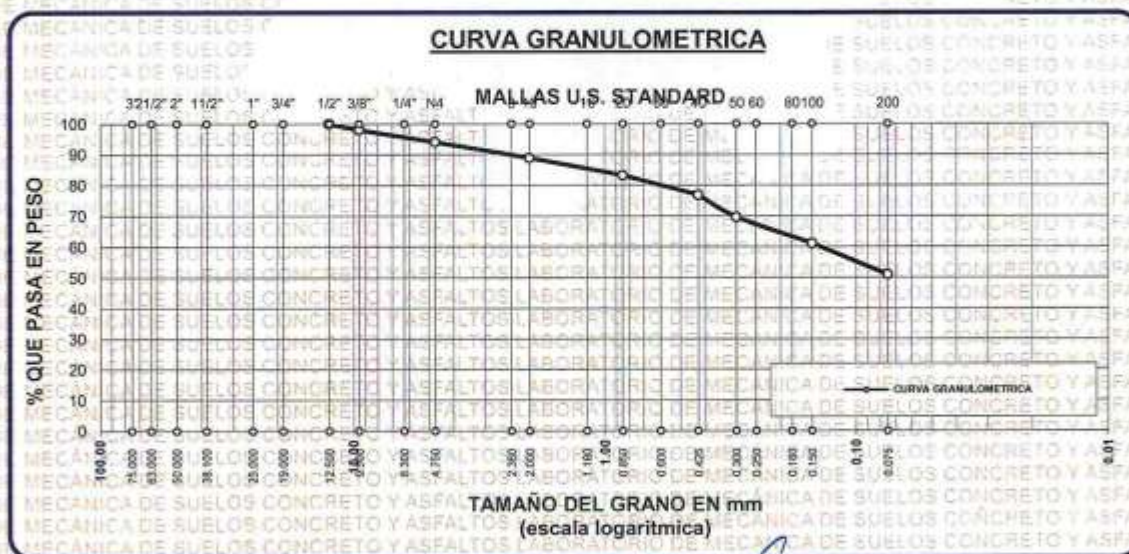
UBICACIÓN : COPLAY

LUGAR : LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS

MUESTRA : M - 02

FECHA : 22 DE JULIO DEL 2025

TAMICES	ABERTURA	PESO	%RETENIDO	%RETENIDO	% QUE	ESPECIF.	TAMAÑO MÁXIMO:
ASTM	mm	RETENIDO	PARCIAL	ACUMULADO	PASA		DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
3"	75.000						P.I.= 700.00
2 1/2"	63.000						P.L.= 343.91
2"	50.000						P.P.= 356.09
1 1/2"	38.100						% W = 14.16
1"	25.000						LÍMITES DE CONSISTENCIA:
3/4"	19.000						L.L.= 31.66
1/2"	12.500	0.00	0.00	0.00	100.00		L.P.= 18.71
3/8"	9.500	13.40	1.91	1.91	98.09		I.P.= 12.94
1/4"	6.300						CARACT. GRANULOMÉTRICAS:
No4	4.750	27.95	3.99	5.91	94.09		D10= — Cu= —
No8	2.360						D30= — Cc= —
No10	2.000	36.40	5.20	11.11	88.89		D60= 0.14
No16	1.180						CLASIFICACIÓN:
No20	0.850	39.78	5.68	16.79	83.21		I.G. =
No30	0.600						SUSCS CL-ML
No40	0.425	45.12	6.45	23.24	76.76		ASSTHO
No50	0.300	50.12	7.16	30.40	69.60		OBSERVACIONES:
No60	0.250						
No80	0.180						
No100	0.150	59.70	8.53	38.92	61.08		
No200	0.075	71.44	10.21	49.13	50.87		
BASE		356.09	50.87	100.00	0.00		
TOTAL		700.00	100.00				
% PERDIDA							



UNIVERSIDAD ANDINA "NESTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FICP - CAP INGENIERÍA CIVIL

D^a Arnaldo Viana Torres



UNIVERSIDAD ANDINA "NESTOR CACERES VELASQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERIAS Y CIENCIAS PURAS
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS



PROYECTO

EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES DEL SUELO DE SUBRASANTE CON LA ADICIÓN CONTROLADA DE CEMENTO TRATADO CON CAL EN LA VÍA VECINAL COPLAY - NUEVO COPLAY 2025

SOLICITANTE

BACHILLER MELANY CAROLINA CARPIO VERA

UBICACIÓN

COPLAY

LUGAR

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS

MUESTRA

MUESTRA 3

FECHA

22 DE JULIO DEL 2025

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

SUELO HUMEDO + TARRO	gr	111.40
SUELO SECO + TARRO	gr	100.45
PESO DEL TARRO	gr	23.64
PESO DEL AGUA	gr	10.95
PESO DEL SUELO SECO	gr	76.81
HUMEDAD %	%	14.26

LIMITE LIQUIDO - LIMITE PLASTICO E INDICE DE PLASTICIDAD ASTM - D424 D-4318 AASHTO - T90

LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLASTICO			
TARRO N°		7	8	9	E	F
SUELO HUMEDO + TARRO	gr	41.45	42.42	41.54	14.14	14.27
SUELO SECO + TARRO	gr	38.14	38.97	38.50	13.17	13.27
PESO DEL TARRO	gr	28.25	28.62	29.14	8.00	8.00
PESO DEL AGUA	gr	3.31	3.45	3.04	0.97	1.00
PESO DEL SUELO SECO	gr	9.89	10.35	9.36	5.17	5.27
HUMEDAD %	%	33.47	33.33	32.48	18.76	18.98
N° DE GOLPES		30	25	15		
LIMITE LIQUIDO :		32.69	LIMITE PLASTICO :		18.87	

INDICE PLASTICO : 13.82

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

Donde:

LL = Limite Liquido

Wn = Contenido de Humedad Promedio (%)

N = Numero de Golpes



UNIVERSIDAD ANDINA "NESTOR CACERES VELASQUEZ"
FICP - CAP INGENIERIA CIVIL

Dr. Arnaldo Yana Torres
CIP. 103257



UNIVERSIDAD ANDINA "NESTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
CARRERA ACADEMICO PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS



ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO (ASTM D422)

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

PROYECTO : EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES DEL SUELO DE SUBRASANTE CON LA ADICIÓN CONTROLADA DE CEMENTO VENCIDO TRATADO CON CAL EN LA VÍA VECINAL COPLAY - NUEVO COPLAY 2025

SOLICITANTE : BACHILLER MELANY CAROLINA CARPIO VERA

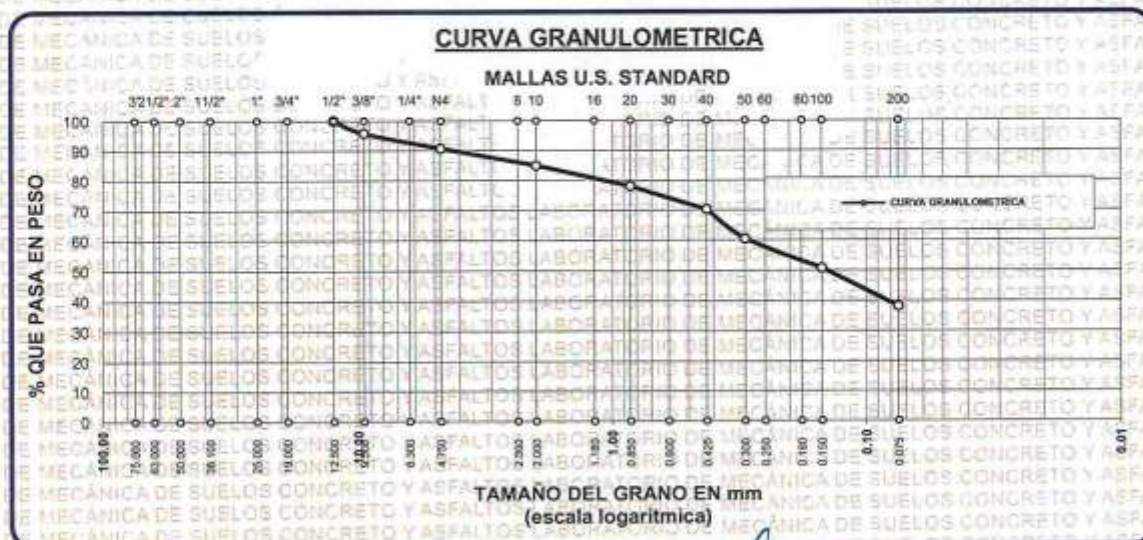
UBICACIÓN : COPLAY

LUGAR : LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS

MUESTRA : MUESTRA 3

FECHA : 22 DE JULIO DEL 2025

TAMICES ASTM	ABERTURA mm	PESO RETENIDO	%RETENIDO PARCIAL	%RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	ESPECIF.	TAMANO MAXIMO: DESCRIPCION DE LA MUESTRA
3"	75.000						P.L.= 700.00
2 1/2"	63.000						P.L.= 433.32
2"	50.000						P.P.= 266.68
1 1/2"	38.100						%w = 14.26
1"	25.000						LIMITES DE CONSISTENCIA:
3/4"	19.000						L.L.=
1/2"	12.500	0.00	0.00	0.00	100.00		L.P.=
3/8"	9.500	29.51	4.22	4.22	95.78		I.P.= 13.82
1/4"	6.300						CARACT. GRANULOMETRICAS:
No4	4.750	35.26	5.04	9.25	90.75		D10= — Cu= —
No8	2.360						D30= — Cc= —
No10	2.000	40.15	5.74	14.99	85.01		D60= 0.29
No16	1.180						CLASIFICACION:
No20	0.850	48.70	6.96	21.95	78.05		I.G. =
No30	0.600						SUSCS SC-SM
No40	0.425	54.67	7.81	29.76	70.24		ASSTHO A-4
No 50	0.300	67.87	9.70	39.45	60.55		OBSERVACIONES:
No60	0.250						
No80	0.180						
No100	0.150	68.70	9.81	49.27	50.73		
No200	0.075	88.46	12.64	61.90	38.10		
BASE		266.68	38.10	100.00	0.00		
TOTAL		700.00	100.00				
% PÉRDIDA		38.10					



UNIVERSIDAD ANDINA "NESTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FICP - CAP INGENIERIA CIVIL
Dr. Arnaldo Yana Torres
CIP: 103257



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



ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

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

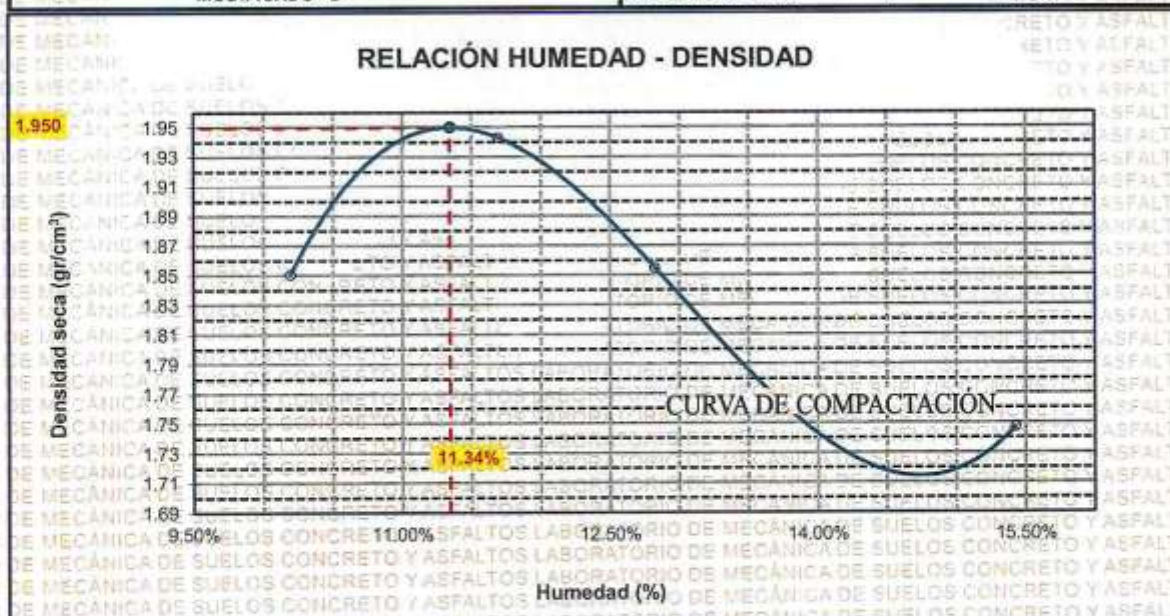
TESIS	: EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES DEL SUELO DE SUBRASANTE CON LA ADICIÓN CONTROLADA DE CEMENTO VENCIDO TRATADO CON CAL EN LA VÍA VECINAL COPLAY - NUEVO COPLAY 2025
SOLICITANTE	: BACHILLER MELANY CAROLINA CARPIO VERA
UBICACIÓN	: COPLAY
MUESTRA	: MUESTRA CON 5% DE CEMENTO + 1% DE CAL
FECHA	: 23 DE JULIO DEL 2025

MOLDE No	: 1	VOLUMEN DEL MOLDE	: 2150 cm ³
No DE CAPAS	: 5	GOLPES POR CAPA	: 56 golpes

Peso Suelo Humedo + Molde	gr.	10254	10536	10369	10206
Peso del Molde	gr.	5870	5870	5870	5870
Peso del Suelo Humedo	gr/cm ³ .	4384	4666	4499	4336
Densidad del Suelo Humedo	gr/cm ³ .	2.039	2.170	2.093	2.017

Capsula No	No	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.
Suelo Humedo + Capsula	gr.	342.53	342.62	358.90	358.59	406.61	406.99	250.10	249.42
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	316.50	317.20	327.20	328.60	367.70	368.20	225.20	224.80
Peso del Agua	gr.	26.03	25.42	31.70	29.99	38.91	38.79	24.90	24.62
Peso de la Capsula	gr.	64.00	65.00	64.00	64.00	65.00	65.00	64.00	65.00
Peso del Suelo Seco	gr.	252.50	252.20	263.20	264.60	302.70	303.20	161.20	159.80
% de Humedad	%	10.31%	10.08%	12.04%	11.33%	12.85%	12.79%	15.45%	15.41%
Promedio de Humedad	%	10.19%		11.69%		12.82%		15.43%	
Densidad del Suelo Seco	%	1.850		1.943		1.855		1.747	

METODO:	ASTM D - 1557	MAXIMA DENSIDAD SECA	: 1.950 gr/cm ³
	MODIFICADO "C"	HUMEDAD OPTIMA	: 11.34%



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS
M.S.C. [Firma]
Dr. Arnaldo Yana Torres
CIP. 103257

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 : EVALUACION DE LAS PROPIEDADES DEL SUELO DE SUBRASANTE CON LA ADICIÓN CONTROLADA DE CEMENTO
VENCIDO TRATADO CON CAL EN LA VÍA VECINAL COPLAY - NUEVO COPLAY 2025

SOLICITANTE : BACHILLER MELANY CAROLINA CARPIO VERA

UBICACIÓN : COPLAY

MUESTRA : MUESTRA CON 5% DE CEMENTO + 1% DE CAL

FECHA : 23 DE JULIO DEL 2025

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.	12888	12898	13088	13079	12196	12209
Peso del Molde	gr.	8569	8569	8652	8652	7521	7521
Peso del Suelo Humedo	gr.	4319	4329	4436	4427	4675	4688
Volumen del Suelo	cc.	2104.81	2104.81	2101.91	2101.91	2096.50	2096.50
Densidad del Suelo Humedo	gr/cc.	2.052	2.057	2.110	2.106	2.230	2.236

Capsula No	No	5	4	B	15	14	E	4	10	T
Suelo Humedo + Capsula	gr.	248.10	247.60	250.50	245.80	249.80	204.50	260.20	263.60	212.40
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	223.60	225.10	224.70	222.40	224.70	183.30	234.50	238.41	189.20
Peso del Agua	gr.	24.50	22.50	25.80	23.50	25.10	21.20	25.70	25.19	23.20
Peso de la Capsula	gr.	39.00	39.00	23.00	38.00	39.10	23.20	40.50	38.30	23.10
Peso del Suelo Seco	gr.	184.60	186.10	201.70	184.40	185.60	160.10	194.00	199.11	166.10
% de Humedad	%	13.27%	12.09%	12.79%	12.74%	13.52%	13.24%	13.25%	12.65%	13.97%
Promedio de Humedad	%	12.68%		12.79%	13.13%		13.24%	12.95%		13.97%
Densidad del Suelo Seco	gr/cc.	1.821		1.823	1.865		1.860	1.974		1.962

EXPANSION

Fecha	Hora	Tiempo	Dial	Expansion mm	%	Dial	Expansion mm	%	Dial	Expansion mm	%
		0	0.00	0.00	0	0.00	0	0	0.00	0	0
		24:00:00	0.12	0.00	0.03	0.13	0.00	0.03	0.16	0.00	0.03
		48:00:00	0.16	0.00	0.03	0.15	0.00	0.03	0.17	0.00	0.04
		72:00:00	0.21	0.01	0.05	0.18	0.00	0.04	0.20	0.01	0.04

PENETRACION

Penetración mm	Tiempo	Carga Est.	MOLDE No III	MOLDE No II	MOLDE No I
0.00	0:00		Dial: 0.0 Kg 0.00 Kg/cm ² Correc.	Dial: 0.00 Kg 0.00 Kg/cm ² Correc.	Dial: 0.0 Kg 0.00 Kg/cm ² Correc.
0.63	00:30		3.6 40.4 0.9	8.9 63 3.2	16.2 94 4.8
1.27	01:00		9.4 65.0 3.3	16.2 94 4.7	24.5 129 6.5
1.91	01:30		16.2 93.9 4.7	21.3 116 5.8	29.4 150 7.6
2.54	02:00	70.31	23.5 124.9 6.3	31.8 160 8.1	37.5 184 9.3
3.81	03:00		26.7 138.5 7.0	34.6 172 8.7	39.2 192 9.7
5.09	04:00	105.00	28.0 144.0 7.3	36.7 181 9.1	40.5 197 10.0
6.35	05:00		30.4 154.2 7.8	38.9 190 9.6	42.8 207 10.5
7.62	06:00		32.1 161.2 8.1	40.7 198 10.0	44.1 212 10.7
8.84	07:00		34.6 172.0 8.7	42.1 204 10.3	46.5 222 11.2

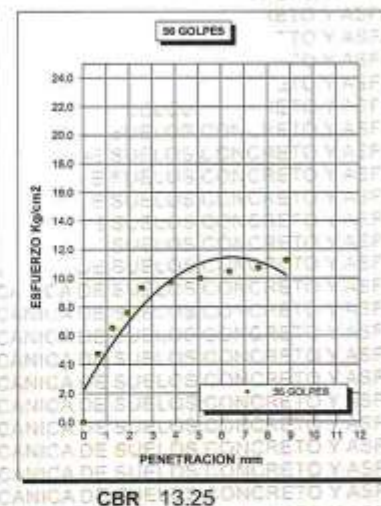
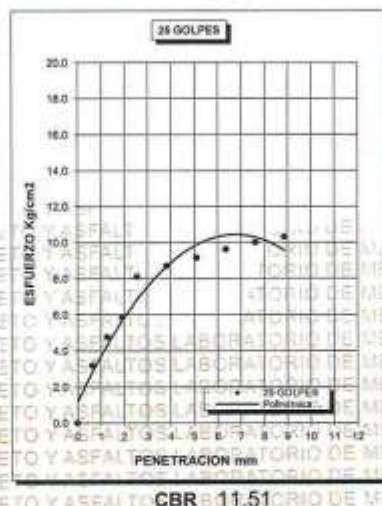
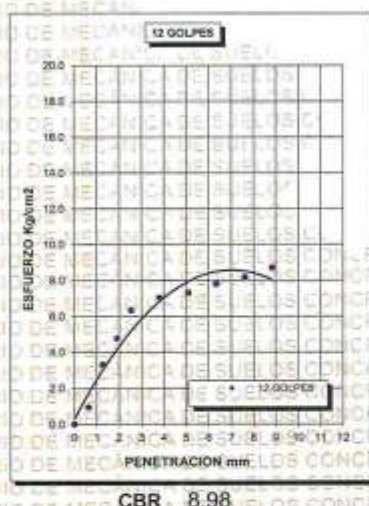
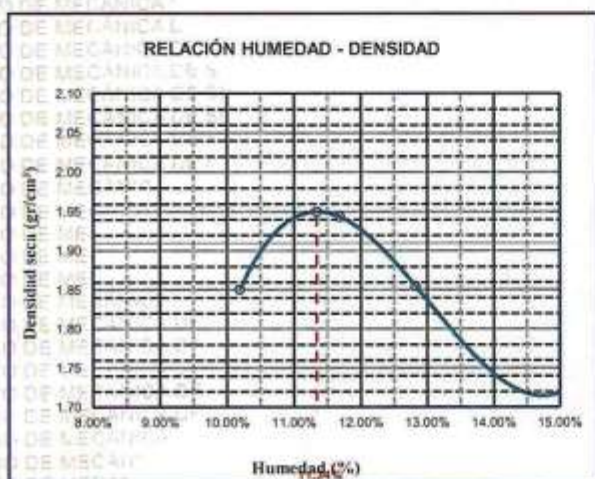
UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVILDr. Arnaldo Yana Torres
CIP. 103257



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



PROYECTO :	EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES DEL SUELO DE SUBRASANTE CON LA ADICIÓN CONTROLADA DE CEMENTO VENCIDO TRATADO CON CAL EN LA VÍA VECINAL COPLAY - NUEVO COPLAY 2025	METODO DE COMPACTACIÓN ASTM D1557-91	
		MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm ³ .)	1.950
SOLICITADO :	BACHILLER MELANY CAROLINA CARPIO VERA	HUMEDAD OPTIMA (%)	11.34%
UBICACIÓN :	COPLAY	CBR AL 100 DE M.D.S. (%)	12.99
MUESTRA :	MUESTRA CON 5% DE CEMENTO + 1% DE CAL	CBR AL 95 DE M.D.S. (%)	10.71
FECHA :	23 DE JULIO DEL 2025	AASHTO :	
		EMBEBIDO :	



CBR 8.98

CBR 11.51

CBR 13.25



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FICP - CAP INGENIERÍA CIVIL

Dr. Arnaldo Yana Torres
CIP. 103257



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



ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

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

TESIS	EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES DEL SUELO DE SUBRASANTE CON LA ADICIÓN CONTROLADA DE CEMENTO VENCIDO TRATADO CON CAL EN LA VÍA VECINAL COPLAY - NUEVO COPLAY 2025		
SOLICITANTE	BACHILLER MELANY CAROLINA CARPIO VERA		
UBICACIÓN	COPLAY		
MUESTRA	MUESTRA CON 5% DE CEMENTO + 2% DE CAL		
FECHA	23 DE JULIO DEL 2025		

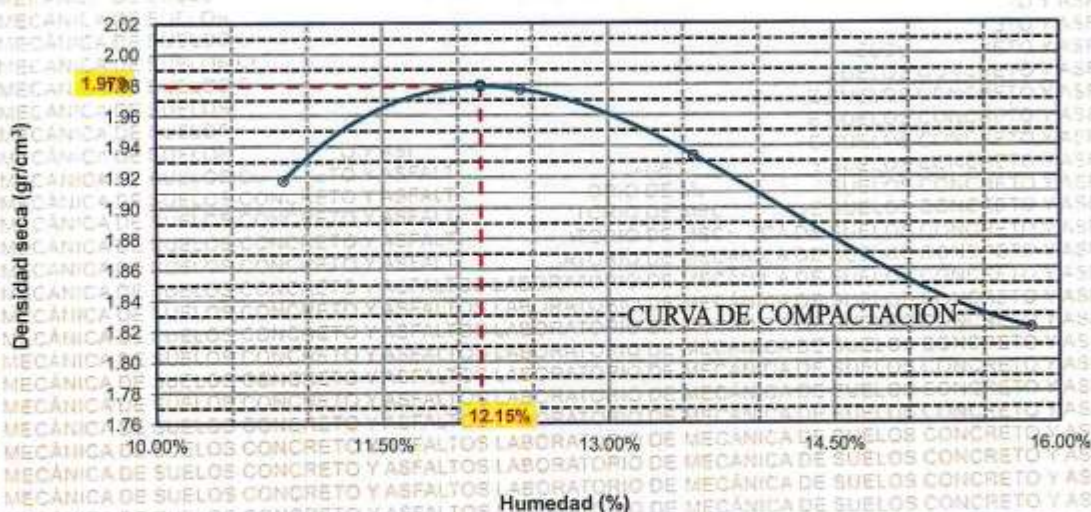
MOLDE No	1	VOLUMEN DEL MOLDE	2150 cm ³
No. DE CAPAS	5	GOLPES POR CAPA	56 golpes

Peso Suelo Humedo + Molde	gr.	10441	10648	10592	10406
Peso del Molde	gr.	5870	5870	5870	5870
Peso del Suelo Húmedo	gr/cm ³	4571	4778	4722	4536
Densidad del Suelo Humedo	gr/cm ³	2.126	2.222	2.196	2.110

Capsula No	No	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.
Suelo Humedo + Capsula	gr.	346.80	345.10	362.00	363.71	397.40	397.40	250.20	250.90
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	318.90	317.26	329.40	329.40	357.10	357.10	224.20	224.50
Peso del Agua	gr.	27.90	27.84	32.60	34.31	40.30	40.30	26.00	26.00
Peso de la Capsula	gr.	62.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.20	60.00	60.20
Peso del Suelo Seco	gr.	256.90	257.26	269.40	269.40	297.10	296.90	164.20	164.70
% de Humedad	%	10.86%	10.82%	12.10%	12.74%	13.58%	13.57%	15.83%	15.79%
Promedio de Humedad	%	10.84%		12.42%		13.57%		15.81%	
Densidad del Suelo Seco	%	1.918		1.977		1.934		1.822	

METODO:	ASTM D - 1557	MAXIMA DENSIDAD SECA	1.979 gr/cm ³
	MODIFICADO "C"	HUMEDAD OPTIMA	12.15%

RELACIÓN HUMEDAD - DENSIDAD



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FIC - CAP INGENIERÍA CIVIL
Dr. Arnaldo Yana Torres
CIP 103257



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	EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES DEL SUELO DE SUBRASANTE CON LA ADICIÓN CONTROLADA DE CEMENTO VENCIDO TRATADO CON CAL EN LA VÍA VECINAL COPLAY - NUEVO COPLAY 2025
SOLICITANTE	BACHILLER MELANY CAROLINA CARPIO VERA
UBICACIÓN	COPLAY
MUESTRA	MUESTRA CON 5% DE CEMENTO + 2% DE CAL
FECHA	23 DE JULIO DEL 2025

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

Peso Suelo Humedo + Molde	gr.	12873	12898	13089	12900	12287	12207
Peso del Molde	gr.	8553	8553	8638	8638	7508	7508
Peso del Suelo Humedo	gr.	4320	4345	4451	4262	4779	4699
Volumen del Suelo	cc.	2104.81	2104.81	2101.91	2101.91	2096.50	2096.50
Densidad del Suelo Humedo	gr/cc.	2.052	2.064	2.118	2.028	2.280	2.241

Capsula No.	No	5	4	B	15	14	E	4	10	T
Suelo Humedo + Capsula	gr.	230.20	230.00	215.00	240.10	240.00	200.10	250.20	249.20	200.10
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	208.60	208.40	193.40	216.40	217.10	181.20	225.30	224.80	180.40
Peso del Agua	gr.	21.60	21.60	21.60	23.70	22.90	18.90	24.90	24.40	19.70
Peso de la Capsula	gr.	39.00	39.00	23.00	38.00	39.10	23.00	40.50	39.30	23.00
Peso del Suelo Seco	gr.	169.60	169.40	170.40	178.40	178.00	158.20	184.80	185.50	157.40
% de Humedad	%	12.74%	12.75%	12.68%	13.28%	12.87%	11.95%	13.47%	13.15%	12.52%
Promedio de Humedad	%	12.74%		12.68%	13.07%		11.95%	13.31%		12.52%
Densidad del Suelo Seco	gr/cc.	1.820		1.832	1.873		1.811	2.012		1.992

EXPANSION

Fecha	Hora	Tiempo	Dial	Expansion mm	%	Dial	Expansion mm	%	Dial	Expansion mm	%
		0	0.00	0.00	0	0.00	0	0	0.00	0	0
		24:00:00	0.18	0.00	0.04	0.16	0.00	0.03	0.18	0.00	0.04
		48:00:00	0.21	0.01	0.05	0.18	0.00	0.04	0.22	0.01	0.05
		72:00:00	0.26	0.01	0.06	0.22	0.01	0.05	0.24	0.01	0.05

PENETRACION

Penetración mm	Tiempo	Carga Est.	MOLDE No III				MOLDE No II				MOLDE No I			
			Dial	Kg	Kg/cm2	Correc.	Dial	Kg	Kg/cm2	Correc.	Dial	Kg	Kg/cm2	Correc.
0.00	0:00		0.0	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00	0.0	0.00	0.00		
0.63	00:30		8.6	61.5	0.9		15.9	93	4.7	19.6	108	5.5		
1.27	01:00		16.4	94.8	4.8		22.4	120	6.1	29.4	150	7.6		
1.91	01:30		26.4	137.2	6.9		29.1	149	7.5	36.7	181	9.1		
2.54	02:00	70.31	34.6	172.0	8.7		41.8	203	10.2	47.4	226	11.4		
3.81	03:00		36.7	180.9	9.1		42.5	206	10.4	48.1	229	11.6		
5.09	04:00	105.00	38.7	189.4	9.6		43.3	209	10.6	51.2	243	12.3		
6.35	05:00		40.2	195.8	9.9		45.2	217	11.0	54.3	255	12.9		
7.62	06:00		41.7	202.1	10.2		47.6	228	11.5	56.1	263	13.3		
8.84	07:00		42.9	207.2	10.5		51.2	243	12.3	58.3	273	13.8		



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FICP - CAP INGENIERIA CIVIL

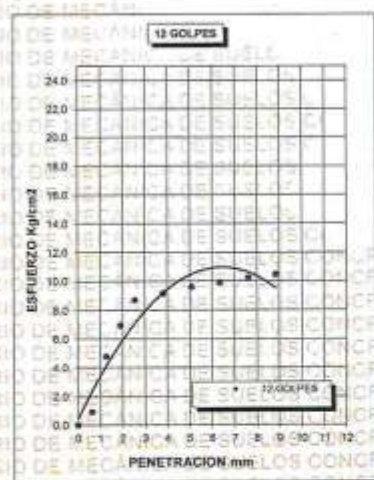
Dr. Arnaldo Yana Torres
CIP 103267



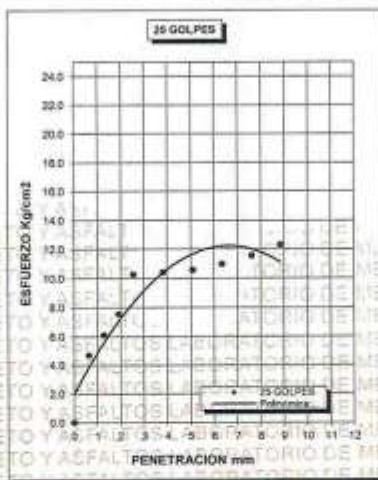
UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS



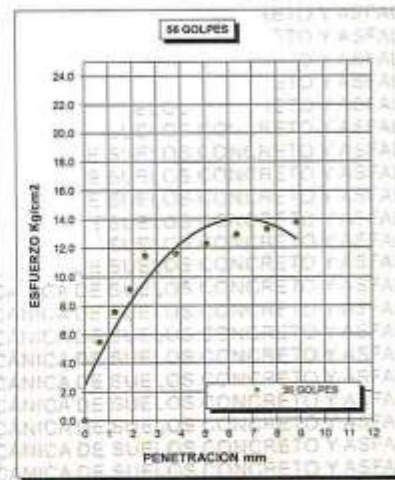
EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES DEL SUELO DE SUBRASANTE CON LA ADICIÓN CONTROLADA DE CEMENTO VENCIDO TRATADO CON CAL EN LA VÍA VECINAL COPLAY - NUEVO COPLAY 2025		METODO DE COMPACTACIÓN ASTM D1557-91	
PROYECTO :		MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm ³ .)	1.979
SOLICITADO :	BACHILLER MELANY CAROLINA CARPIO VERA	HUMEDAD OPTIMA (%)	12.15%
UBICACIÓN :	COPLAY	CBR AL 100 DE M.D.S. (%)	16.12
MUESTRA :	MUESTRA CON 5% DE CEMENTO + 2% DE CAL	CBR AL 95 DE M.D.S. (%)	13.98
FECHA :	23 DE JULIO DEL 2025	AASHTO :	
		EMBEBIDO :	



CBR 12.36



CBR 14.56



CBR 16.27



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS
M.S.C. JEFATURA
Dr. Arnaldo Yana Torres
CIP: 103257



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



ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

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

TESIS	: EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES DEL SUELO DE SUBRASANTE CON LA ADICIÓN CONTROLADA DE CEMENTO VENCIDO TRATADO CON CAL EN LA VÍA VECINAL COPLAY - NUEVO COPLAY 2025
SOLICITANTE	: BACHILLER MELANY CAROLINA CARPIO VERA
UBICACIÓN	: COPLAY
MUESTRA	: MUESTRA CON 5% DE CEMENTO + 4% DE CAL
FECHA	: 23 DE JULIO DEL 2025

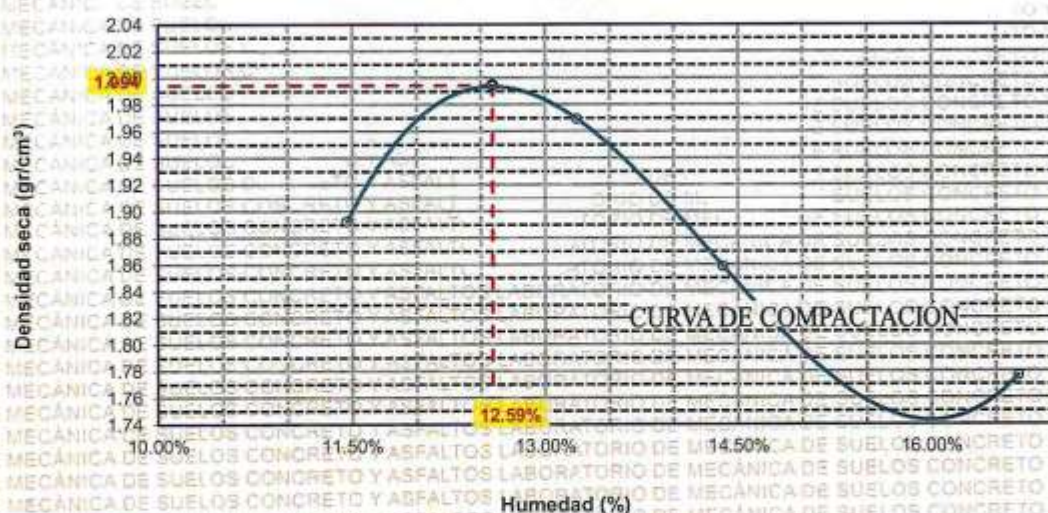
MOLDE No	: 1	VOLUMEN DEL MOLDE	: 2150 cm ³
No DE CAPAS	: 5	GOLPES POR CAPA	: 56 golpes

Peso Suelo Húmedo + Molde	gr.	10405	10665	10441	10326
Peso del Molde	gr.	5870	5870	5870	5870
Peso del Suelo Húmedo	gr/cm ³ .	4535	4795	4571	4456
Densidad del Suelo Húmedo	gr/cm ³ .	2.109	2.230	2.126	2.073

Capsula No	No	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.
Suelo Húmedo + Capsula	gr.	343.10	343.80	363.30	365.60	404.60	406.60	249.50	249.00
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	315.20	314.40	328.20	330.50	362.20	363.10	223.20	222.50
Peso del Agua	gr.	27.90	29.50	35.10	35.10	42.40	43.50	26.30	26.50
Peso de la Capsula	gr.	64.20	64.50	64.50	64.20	64.00	64.00	64.00	65.00
Peso del Suelo Seco	gr.	251.00	249.80	263.70	266.30	298.20	299.10	159.20	157.50
% de Humedad	%	11.12%	11.80%	13.31%	13.18%	14.22%	14.54%	16.62%	16.83%
Promedio de Humedad	%	11.46%		13.25%		14.38%		16.67%	
Densidad del Suelo Seco	%	1.892		1.969		1.859		1.776	

METODO:	ASTM D - 1557	MAXIMA DENSIDAD SECA	: 1.994 gr/cm ³
	MODIFICADO "C"	HUMEDAD OPTIMA	: 12.59%

RELACIÓN HUMEDAD - DENSIDAD



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FICP - CAP INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO M.S.C.A. JEFATURA
Dr. Arnaldo Yana Torres
CIP: 1072787



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 : EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES DEL SUELO DE SUBRASANTE CON LA ADICIÓN CONTROLADA DE CEMENTO VENCIDO TRATADO CON CAL EN LA VÍA VECINAL COPLAY - NUEVO COPLAY 2025

SOLICITANTE : BACHILLER MELANY CAROLINA CARPIO VERA

UBICACIÓN : COPLAY

MUESTRA : MUESTRA CON 5% DE CEMENTO + 4% DE CAL

FECHA : 23 DE JULIO DEL 2025

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.	12799	12829	13047	12954	12223	12103
Peso del Molde	gr.	8541	8541	8626	8626	7496	7496
Peso del Suelo Humedo	gr.	4258	4288	4421	4328	4727	4607
Volumen del Suelo	cc.	2104.81	2104.81	2101.91	2101.91	2096.50	2096.50
Densidad del Suelo Humedo	gr/cc.	2.023	2.037	2.103	2.059	2.255	2.197

Capsula No	No	5	4	B	15	14	E	4	10	T
Suelo Humedo + Capsula	gr.	226.00	227.00	222.00	236.00	239.10	203.10	252.00	252.60	203.20
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	207.30	208.20	201.30	217.50	216.30	184.20	228.70	229.80	184.60
Peso del Agua	gr.	18.70	18.80	20.70	20.50	22.80	18.90	23.30	22.80	18.60
Peso de la Capsula	gr.	39.00	39.00	23.00	38.00	39.10	23.00	40.50	39.30	23.00
Peso del Suelo Seco	gr.	168.30	169.20	178.30	179.50	177.20	161.20	188.20	190.50	161.60
% de Humedad	%	11.11%	11.11%	11.61%	11.42%	12.87%	11.72%	12.38%	11.97%	11.51%
Promedio de Humedad	%	11.11%		11.61%	12.14%		11.72%	12.17%		11.51%
Densidad del Suelo Seco	gr/cc.	1.821		1.825	1.876		1.843	2.010		1.971

EXPANSION

Fecha	Hora	Tiempo	Dial	Expansion mm	%	Dial	Expansion mm	%	Dial	Expansion mm	%
		0	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0
		24:00:00	0.12	0.00	0.03	0.13	0.00	0.03	0.15	0.00	0.03
		48:00:00	0.14	0.00	0.03	0.16	0.00	0.03	0.18	0.00	0.04
		72:00:00	0.17	0.00	0.04	0.19	0.00	0.04	0.22	0.01	0.05

PENETRACION

Penetracion mm	Tiempo	Carga Est.	MOLDE No III	MOLDE No II	MOLDE No I
0.00	0:00		Dial: 0.00 Kg 0.00 Kglcm2 Correc.	Dial: 0.00 Kg 0.00 Kglcm2 Correc.	Dial: 0.00 Kg 0.00 Kglcm2 Correc.
0.63	00:30		18.0 101.5 0.9	26.6 138 7.0	35.6 176 6.9
1.27	01:00		24.5 129.1 6.5	35.6 176 8.9	42.6 206 10.4
1.91	01:30		30.5 154.8 7.8	40.5 197 10.0	46.2 221 11.2
2.54	02:00	70.31	39.8 194.1 9.8	47.7 228 11.5	56.7 266 13.4
3.81	03:00		42.1 203.8 10.3	49.7 236 11.9	58.4 273 13.8
5.09	04:00	105.00	44.6 214.4 10.8	52.4 248 12.5	60.3 281 14.2
6.35	05:00		46.7 223.3 11.3	54.1 255 12.9	64.8 300 15.2
7.62	06:00		48.5 231.0 11.7	56.9 262 13.3	65.2 302 15.3
8.84	07:00		49.7 236.1 11.9	57.8 270 13.7	67.4 311 15.7



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FICP - CAP INGENIERIA CIVIL

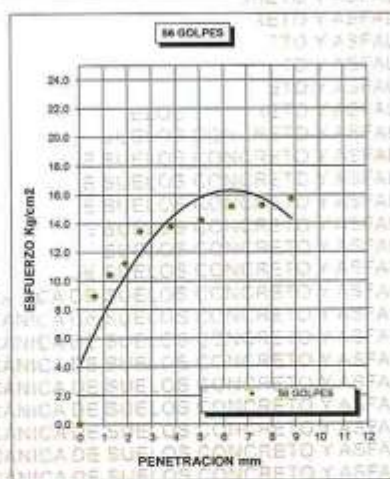
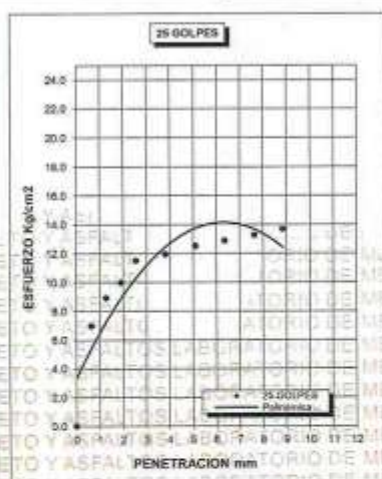
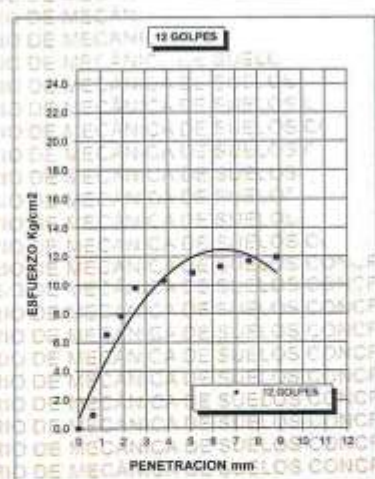
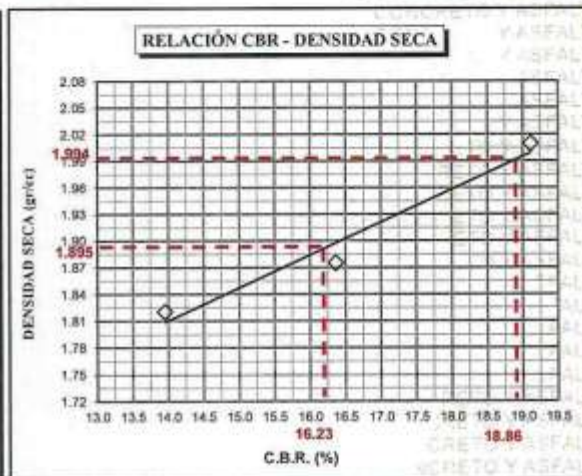
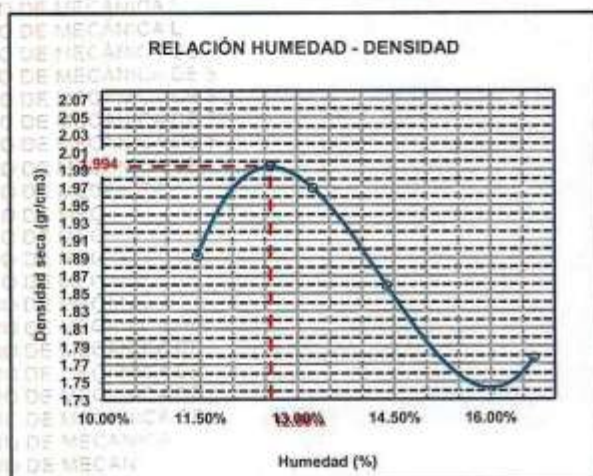
Dr. Arnaldo Yana Torres
CIP. 103257



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



PROYECTO :	EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES DEL SUELO DE SUBRASANTE CON LA ADICIÓN CONTROLADA DE CEMENTO VENCIDO TRATADO CON CAL EN LA VÍA VECINAL COPLAY - NUEVO COPLAY 2025	METODO DE COMPACTACIÓN ASTM D1557-91
SOLICITADO :	BACHILLER MELANY CAROLINA CARPIO VERA	MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm ³) 1.994
UBICACIÓN :	COPLAY	HUMEDAD OPTIMA (%) 12.59%
MUESTRA :	MUESTRA CON 5% DE CEMENTO + 4% DE CAL	CBR AL 100 DE M.D.S. (%) 18.86
FECHA :	23 DE JULIO DEL 2025	CBR AL 95% DE M.D.S. (%) 16.23
		AASHTO :
		EMBEBIDO :



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FICP - CAP INGENIERÍA CIVIL

Dr. Arnaldo Yana Torres
CIP. 103257



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



ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

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

TESIS : EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES DEL SUELO DE SUBRASANTE CON LA ADICIÓN CONTROLADA DE CEMENTO VENCIDO TRATADO CON CAL EN LA VÍA VECINAL COPLAY - NUEVO COPLAY 2025

SOLICITANTE : BACHILLER MELANY CAROLINA CARPIO VERA

UBICACIÓN : COPLAY

MUESTRA : MUESTRA CON 5% DE CEMENTO + 6% DE CAL

FECHA : 23 DE JULIO DEL 2025

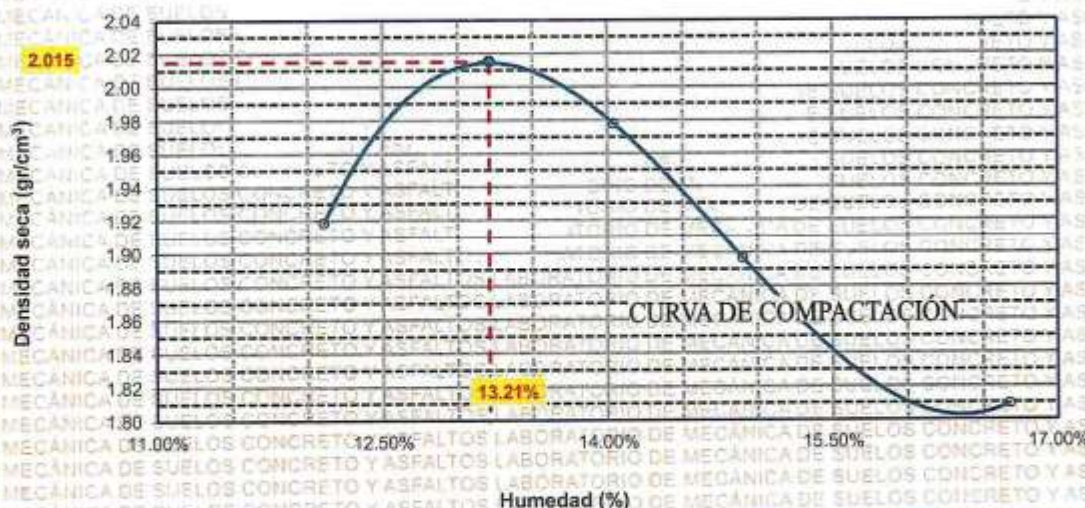
MOLDE No	1	VOLUMEN DEL MOLDE	2150 cm ³
No DE CAPAS	5	GOLPES POR CAPA	56 golpes

Peso Suelo Humedo + Molde	gr.	10494	10720	10556	10409
Peso del Molde	gr.	5870	5870	5870	5870
Peso del Suelo Humedo	gr/cm ³	4624	4850	4686	4539
Densidad del Suelo Humedo	gr/cm ³	2.151	2.256	2.180	2.111

Capsula No	No	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.
Suelo Humedo + Capsula	gr.	313.21	310.92	328.68	324.90	346.84	347.20	225.54	230.16
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	286.14	284.43	295.78	293.12	310.14	310.52	202.14	206.76
Peso del Agua	gr.	27.07	26.49	32.90	31.78	36.70	36.68	23.40	23.40
Peso de la Capsula	gr.	64.10	64.10	64.10	64.10	64.10	64.10	64.10	64.10
Peso del Suelo Seco	gr.	222.04	220.33	231.88	229.02	246.04	246.42	138.04	142.66
% de Humedad	%	12.19%	12.02%	14.20%	13.88%	14.92%	14.89%	16.95%	16.40%
Promedio de Humedad	%	12.11%		14.04%		14.90%		16.68%	
Densidad del Suelo Seco	%	1.918		1.978		1.897		1.809	

METODO:	ASTM D - 1557	MAXIMA DENSIDAD SECA	2.015 gr/cm ³
	MODIFICADO "C"	HUMEDAD OPTIMA	13.21%

RELACIÓN HUMEDAD - DENSIDAD



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FICP - CAP INGENIERÍA CIVIL
Dr. Arnaldo Yana Torres
CIP 103257



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	EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES DEL SUELO DE SUBRASANTE CON LA ADICIÓN CONTROLADA DE CEMENTO VENCIDO TRATADO CON CAL EN LA VÍA VECINAL COPLAY - NUEVO COPLAY 2025
SOLICITANTE	BACHILLER MELANY CAROLINA CARPIO VERA
UBICACIÓN	COPLAY
MUESTRA	MUESTRA CON 5% DE CEMENTO + 6% DE CAL
FECHA	23 DE JULIO DEL 2025

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.	12988	12978	13194	12980	12380	12200
Peso del Molde	gr.	8568	8568	8650	8650	7520	7520
Peso del Suelo Humedo	gr.	4420	4410	4544	4330	4860	4680
Volumen del Suelo	cc.	2104.81	2104.81	2101.91	2101.91	2096.50	2096.50
Densidad del Suelo Humedo	gr/cc.	2.100	2.095	2.162	2.060	2.318	2.232

Capsula No	No	5	4	B		15	14	E		4	10	T	
Suelo Humedo + Capsula	gr.	233.20	235.60	207.20		238.96	240.87	203.12		248.24	247.15	206.32	
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	209.87	211.98	185.94		214.35	217.53	182.21		222.14	222.34	184.87	
Peso del Agua	gr.	23.33	23.64	21.26		24.61	23.34	20.91		24.10	24.81	21.45	
Peso de la Capsula	gr.	39.21	39.33	23.10		38.00	39.00	23.00		40.10	39.40	23.00	
Peso del Suelo Seco	gr.	170.66	172.63	162.84		176.35	178.53	159.21		182.04	182.94	161.87	
% de Humedad	%	13.67%	13.69%	13.06%		13.96%	13.07%	13.13%		13.24%	13.56%	13.25%	
Promedio de Humedad	%	13.68%		13.06%		13.51%		13.13%		13.40%		13.25%	
Densidad del Suelo Seco	gr/cc.	1.847		1.853		1.904		1.821		2.044		1.971	

EXPANSION

Fecha	Hora	Tiempo	Dial	Expansion mm	%	Dial	Expansion mm	%	Dial	Expansion mm	%
		0	0.00	0.00	0	0.00	0	0	0.00	0	0
		24:00:00	0.10	0.00	0.02	0.12	0.00	0.03	0.13	0.00	0.03
		48:00:00	0.12	0.00	0.03	0.14	0.00	0.03	0.15	0.00	0.03
		72:00:00	0.14	0.00	0.03	0.16	0.00	0.03	0.17	0.00	0.04

PENETRACION

Penetracion mm	Tiempo	Carga Est.	MOLDE No III				MOLDE No II				MOLDE No I			
			Dial	Kg	Kg/cm2	Correc.	Dial	Kg	Kg/cm2	Correc.	Dial	Kg	Kg/cm2	Correc.
0.00	0:00		0.0	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00		0.0	0.00	0.00	
0.63	00:30		20.0	110.0	0.9		24.6	130	6.5		34.6	172	8.7	
1.27	01:00		29.5	150.3	7.6		37.7	185	8.4		48.3	230	11.6	
1.91	01:30		39.1	191.1	9.7		46.7	223	11.3		59.4	277	14.0	
2.54	02:00	70.31	46.5	222.5	11.2		54.5	256	13.0		61.2	285	14.4	
3.81	03:00		48.7	231.8	11.7		55.3	260	13.1		64.5	299	15.1	
5.09	04:00	105.00	50.3	238.6	12.1		57.2	268	13.5		66.7	308	15.6	
6.35	05:00		52.7	248.8	12.6		59.4	277	14.0		68.7	317	16.0	
7.62	06:00		54.2	255.2	12.8		60.4	281	14.2		71.5	329	16.6	
8.84	07:00		56.8	266.2	13.5		64.5	299	15.1		73.2	336	17.0	



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FICP - CIP INGENIERIA CIVIL

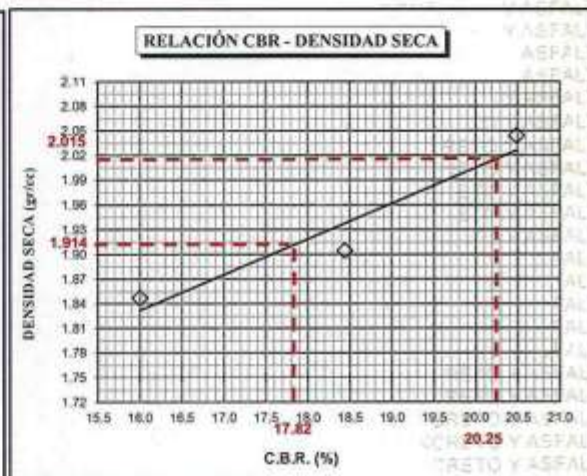
D. Arnaldo Yana Torres
CIP 103257



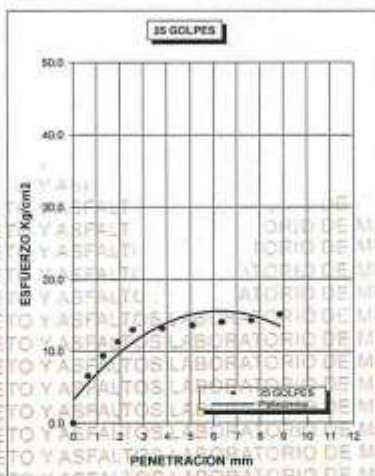
UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS



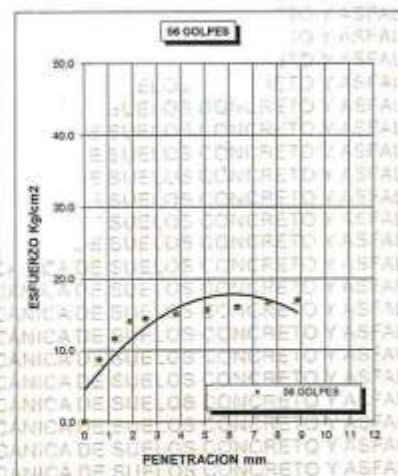
PROYECTO :	EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES DEL SUELO DE SUBRASANTE CON LA ADICIÓN CONTROLADA DE CEMENTO VENCIDO TRATADO CON CAL EN LA VÍA VECINAL COPLAY - NUEVO COPLAY 2025	METODO DE COMPACTACIÓN ASTM D1557-91	
		MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm³.)	2.015
SOLICITADO :	BACHILLER MELANY CAROLINA CARPIO VERA	HUMEDAD OPTIMA (%)	13.21%
UBICACIÓN :	COPLAY	CBR AL 100 DE M.D.S. (%)	20.25
MUESTRA :	MUESTRA CON 5% DE CEMENTO + 6% DE CAL	CBR AL 95 DE M.D.S. (%)	17.82
FECHA :	23 DE JULIO DEL 2025	AASHTO :	
		EMBEBIDO :	



CBR 16.00



CBR 18.44



CBR 20.48



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FICP - CAP INGENIERÍA CIVIL
Dr. Arnaldo Yana Torres
CIP. 103257



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



ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

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

TESIS	EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES DEL SUELO DE SUBRASANTE CON LA ADICIÓN CONTROLADA DE CEMENTO VENCIDO TRATADO CON CAL EN LA VÍA VECINAL COPLAY - NUEVO COPLAY 2025
SOLICITANTE	BACHILLER MELANY CAROLINA CARPIO VERA
UBICACIÓN	COPLAY
MUESTRA	MUESTRA 1
FECHA	23 DE JULIO DEL 2025

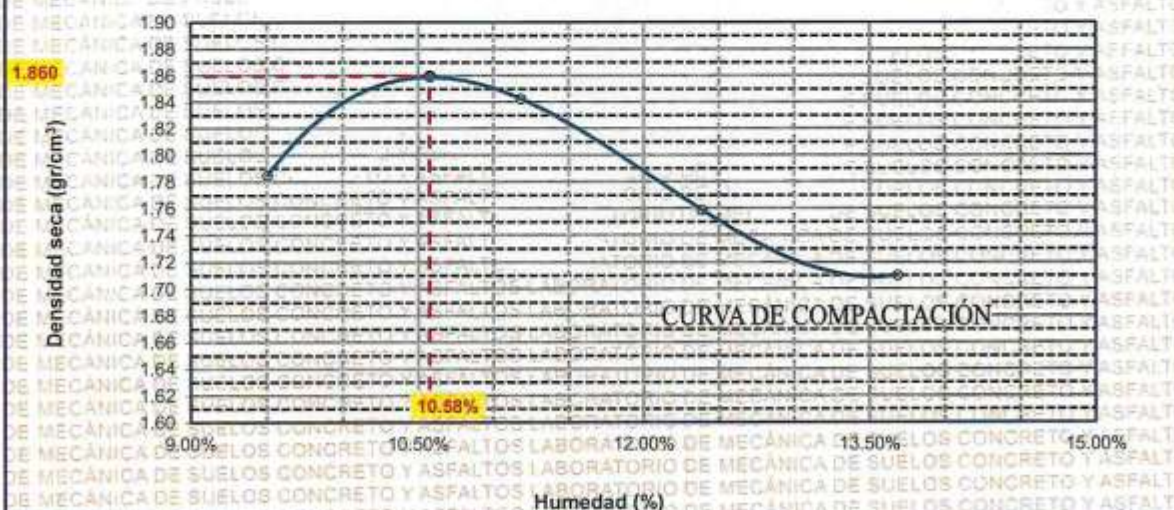
MOLDE No	1	VOLUMEN DEL MOLDE	2150 cm ³
No DE CAPAS	5	GOLPES POR CAPA	56 golpes

Peso Suelo Humedo + Molde	gr.	10072	10274	10120	10050
Peso del Molde	gr.	5870	5870	5870	5870
Peso del Suelo Humedo	gr/cm ³	4202	4404	4250	4180
Densidad del Suelo Humedo	gr/cm ³	1.954	2.048	1.977	1.944

Capsula No	No	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.
Suelo Humedo + Capsula	gr.	320.99	319.99	342.97	340.54	380.99	384.96	239.99	240.85
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	298.12	298.42	313.65	313.98	345.32	360.56	218.90	219.50
Peso del Agua	gr.	22.87	21.57	29.32	26.56	35.67	34.40	20.99	21.35
Peso de la Capsula	gr.	64.00	65.00	64.00	64.00	65.00	65.00	64.00	65.00
Peso del Suelo Seco	gr.	234.12	233.42	249.65	249.98	280.32	285.56	154.90	154.50
% de Humedad	%	9.77%	9.24%	11.74%	10.62%	12.72%	12.05%	13.55%	13.82%
Promedio de Humedad	%	9.50%		11.18%		12.39%		13.68%	
Densidad del Suelo Seco	%	1.785		1.842		1.759		1.710	

METODO:	ASTM D - 1557	MAXIMA DENSIDAD SECA	1.860 gr/cm ³
	MODIFICADO "C"	HUMEDAD OPTIMA	10.58%

RELACIÓN HUMEDAD - DENSIDAD



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FICP - CAP INGENIERÍA CIVIL

Dr. Arnaldo Yana Torres
CIP 103287



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	: EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES DEL SUELO DE SUBRASANTE CON LA ADICIÓN CONTROLADA DE CEMENTO VENCIDO TRATADO CON CAL EN LA VÍA VECINAL COPLAY - NUEVO COPLAY 2025
SOLICITANTE	: BACHILLER MELANY CAROLINA CARPIO VERA
UBICACIÓN	: COPLAY
MUESTRA	: MUESTRA 1
FECHA	: 23 DE JULIO DEL 2025

MOLDE No	III	II	I
No DE CAPAS	5	5	5
NÚMERO 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.	12560	12560	12760	12740	12450	12560
Peso del Molde	gr.	8547	8547	8639	8639	7908	7908
Peso del Suelo Humedo	gr.	4013	4013	4121	4101	4542	4652
Volumen del Suelo	cc.	2104.81	2104.81	2101.91	2101.91	2096.50	2096.50
Densidad del Suelo Humedo	gr/cc.	1.907	1.907	1.961	1.951	2.166	2.219

Capsula No	No	5	4	B		15	14	E		4	10	T
Suelo Humedo + Capsula	gr.	236.38	237.56	216.80		244.20	245.68	202.64		253.60	250.87	200.30
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	213.10	214.21	193.21		219.91	220.54	181.62		228.32	226.40	179.24
Peso del Agua	gr.	23.28	23.35	23.59		24.29	25.14	21.02		25.28	24.47	21.06
Peso de la Capsula	gr.	39.50	39.50	23.32		38.98	39.20	23.40		40.40	39.50	23.10
Peso del Suelo Seco	gr.	173.60	174.71	169.89		180.93	181.34	158.22		187.92	186.90	156.14
% de Humedad	%	13.41%	13.37%	13.89%		13.43%	13.86%	13.29%		13.45%	13.09%	13.49%
Promedio de Humedad	%	13.39%		13.89%		13.64%		13.29%		13.27%		13.49%
Densidad del Suelo Seco	gr/cc.	1.681		1.674		1.725		1.722		1.913		1.955

EXPANSION

Fecha	Hora	Tiempo	Dial	Expansion mm	%	Dial	Expansion mm	%	Dial	Expansion mm	%
		0	0.00	0.00	0	0.00	0	0	0.00	0	0
		24:00:00	0.09	0.00	0.02	0.12	0.00	0.03	0.17	0.00	0.04
		48:00:00	0.13	0.00	0.03	0.15	0.00	0.03	0.20	0.01	0.04
		72:00:00	0.16	0.00	0.03	0.19	0.00	0.04	0.23	0.01	0.05

PENETRACION

Penetracion mm	Tiempo	Carga Est.	MOLDE No III				MOLDE No II				MOLDE No I			
			Dial	Kg	Kg/cm2	Correc.	Dial	Kg	Kg/cm2	Correc.	Dial	Kg	Kg/cm2	Correc.
0.00	0:00		0.0	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00		0.0	0.00	0.00	
0.63	00:30		1.0	29.4	0.9		2.5	36	1.8		4.2	43	2.2	
1.27	01:00		1.8	32.8	1.7		3.5	40	2.0		5.0	46	2.3	
1.91	01:30		2.7	36.6	1.8		4.5	44	2.2		7.1	55	2.8	
2.54	02:00	70.31	3.2	38.7	2.0		7.2	56	2.8		10.4	69	3.5	
3.81	03:00		4.2	43.0	2.2		7.8	58	2.9		12.4	78	3.9	
5.09	04:00	105.00	5.7	49.3	2.5		8.5	61	3.1		13.4	82	4.1	
6.35	05:00		6.5	52.7	2.7		9.4	65	3.3		14.6	87	4.4	
7.62	06:00		7.5	57.0	2.9		10.6	70	3.5		15.8	92	4.7	
8.84	07:00		8.5	61.2	3.1		11.5	74	3.7		17.2	98	5.0	

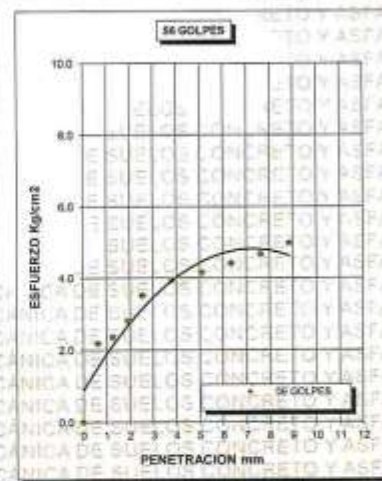
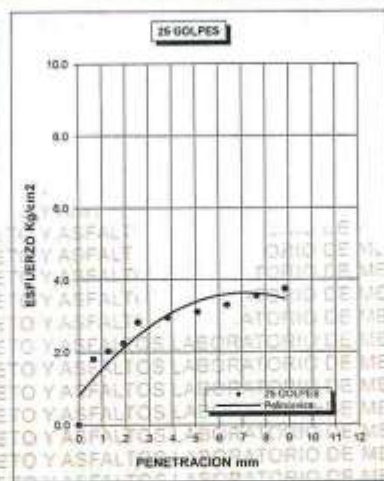
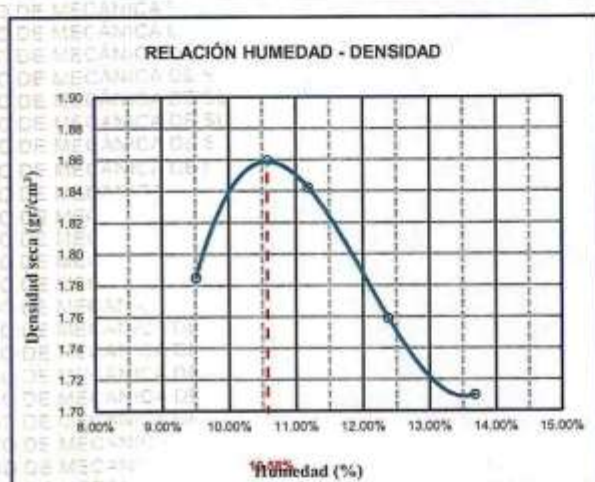
UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FICP / CAP INGENIERÍA CIVIL
M.S.C. JEFATURA
Dr. Arnaldo Yana Torres
CIP. 103257



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



EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES DEL SUELO DE SÚBRASANTE CON LA ADICIÓN CONTROLADA DE CEMENTO VENCIDO TRATADO CON CAL EN LA VÍA VECINAL COPLAY - NUEVO COPLAY 2025		METODO DE COMPACTACIÓN ASTM D1557-91	
PROYECTO :		MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm ³ .)	1.860
SOLICITADO :	BACHILLER MELANY CAROLINA CARPIO VERA	HUMEDAD OPTIMA (%)	10.58%
UBICACIÓN :	COPLAY	CBR AL 100 DE M.D.S. (%)	4.82
MUESTRA :	SUELO NATURAL - CALICATA - M1	CBR AL 95 DE M.D.S. (%)	3.78
FECHA :	23 DE JULIO DEL 2025	AASHTO :	
		EMBEBIDO :	



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FICP / CAP INGENIERÍA CIVIL
M.S.C. INVESTIGADORA
Dr. Arnaldo Yana Torres
CIP. 103267



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



ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

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

TESIS	: EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES DEL SUELO DE SUBRASANTE CON LA ADICIÓN CONTROLADA DE CEMENTO VENCIDO TRATADO CON CAL EN LA VÍA VECINAL COPLAY - NUEVO COPLAY 2025
SOLICITANTE	: BACHILLER MELANY CAROLINA CARPIO VERA
UBICACIÓN	: COPLAY
MUESTRA	: MUESTRA 2
FECHA	: 23 DE JULIO DEL 2025

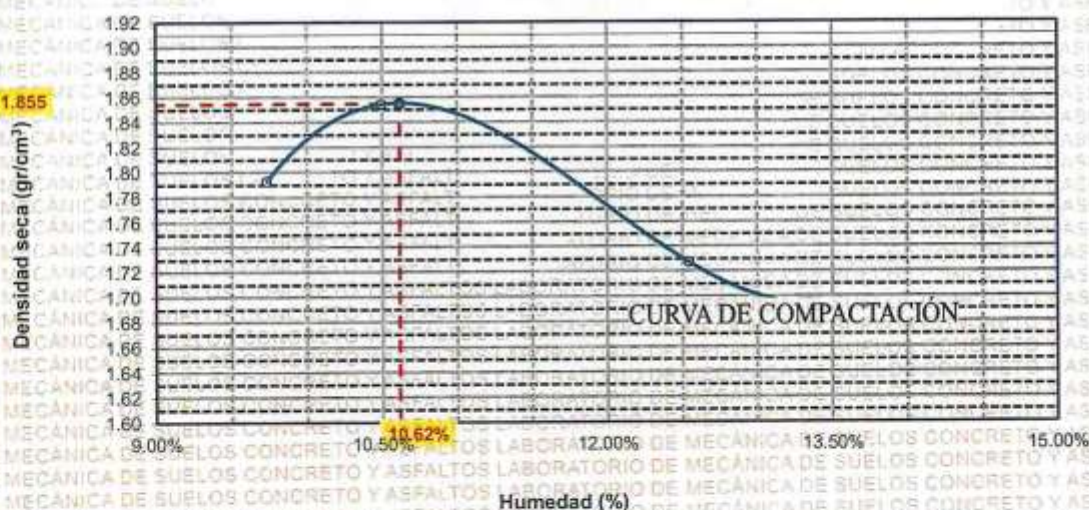
MOLDE No	: 1	VOLUMEN DEL MOLDE	: 2150 cm ³
No de CAPAS	: 5	GOLPES POR CAPA	: 56 golpes

Peso Suelo Humedo + Molde	gr.	10100	10275	10050	10000
Peso del Molde	gr.	5870	5870	5870	5870
Peso del Suelo Humedo	gr/cm ³ .	4230	4405	4180	4130
Densidad del Suelo Humedo	gr/cm ³ .	1.967	2.049	1.944	1.921

Capsula No	No	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.
Suelo Humedo + Capsula	gr.	338.05	339.85	359.20	359.80	399.50	400.40	242.60	243.50
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	314.62	314.59	331.31	331.40	361.54	363.63	221.57	222.38
Peso del Agua	gr.	23.43	25.26	27.89	28.20	37.96	36.77	21.03	21.12
Peso de la Capsula	gr.	63.90	65.00	64.30	64.00	64.30	65.00	64.20	64.00
Peso del Suelo Seco	gr.	250.72	249.59	267.01	267.40	297.24	298.63	157.37	158.38
% de Humedad	%	9.35%	10.12%	10.45%	10.55%	12.77%	12.31%	13.36%	13.34%
Promedio de Humedad	%	9.73%		10.50%		12.54%		13.35%	
Densidad del Suelo Seco	%	1.793		1.854		1.728		1.695	

METODO:	ASTM D - 1557	MAXIMA DENSIDAD SECA	: 1.855 gr/cm ³
	MODIFICADO "C"	HUMEDAD OPTIMA	: 10.62%

RELACIÓN HUMEDAD - DENSIDAD



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FICP - CAP INGENIERÍA CIVIL
Dr. Arnaldo Yana Torres
CIP. 103257



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	: EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES DEL SUELO DE SUBRASANTE CON LA ADICIÓN CONTROLADA DE CEMENTO VENCIDO TRATADO CON CAL EN LA VÍA VECINAL COPLAY - NUEVO COPLAY 2025
SOLICITANTE	: BACHILLER MELANY CAROLINA CARPIO VERA
UBICACIÓN	: COPLAY
MUESTRA	: MUESTRA 2
FECHA	: 23 DE JULIO DEL 2025

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

Peso Suelo Humedo + Molde	gr.	12550	12554	12758	12741	12463	12452
Peso del Molde	gr.	8545	8545	8631	8631	8020	8020
Peso del Suelo Humedo	gr.	4005	4009	4127	4110	4443	4432
Volumen del Suelo	cc.	2104.81	2104.81	2101.91	2101.91	2096.50	2096.50
Densidad del Suelo Humedo	gr/cc.	1.903	1.905	1.963	1.955	2.119	2.114

Capsula No	No	5	4	B		15	14	E		4	10	T
Suelo Humedo + Capsula	gr.	232.50	233.65	220.41		242.62	243.50	199.87		248.21	248.64	200.31
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	209.62	210.52	196.35		218.62	219.87	179.28		223.20	224.29	179.21
Peso del Agua	gr.	22.88	23.13	24.06		24.00	23.63	20.59		25.01	24.35	21.10
Peso de la Capsula	gr.	39.10	39.20	23.10		38.10	39.10	23.20		40.10	39.20	23.00
Peso del Suelo Seco	gr.	170.52	171.32	173.25		180.52	180.77	156.08		183.10	185.09	156.21
% de Humedad	%	13.42%	13.50%	13.89%		13.29%	13.07%	13.19%		13.66%	13.16%	13.51%
Promedio de Humedad	%	13.46%		13.89%		13.18%		13.19%		13.41%		13.51%
Densidad del Suelo Seco	gr/cc.	1.677		1.672		1.735		1.727		1.869		1.862

EXPANSION

Fecha	Hora	Tiempo	Dial	Expansion mm	%	Dial	Expansion mm	%	Dial	Expansion mm	%
		0	0.00	0.00	0	0.00	0	0	0.00	0	0
		24:00:00	0.15	0.00	0.03	0.15	0.00	0.03	0.17	0.00	0.04
		48:00:00	0.17	0.00	0.04	0.18	0.00	0.04	0.19	0.00	0.04
		72:00:00	0.19	0.00	0.04	0.20	0.01	0.04	0.21	0.01	0.05

PENETRACION

Penetración mm	Tiempo	Carga Est.	MOLDE No III				MOLDE No II				MOLDE No I			
			Dial	Kg	Kg/cm2	Correc.	Dial	Kg	Kg/cm2	Correc.	Dial	Kg	Kg/cm2	Correc.
0.00	0:00		0.0	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00		0.0	0.00	0.00	
0.63	00:30		1.0	29.4	0.9		2.0	34	1.7		3.5	40	2.0	
1.27	01:00		1.7	32.3	1.6		3.2	39	2.0		4.5	44	2.2	
1.91	01:30		2.3	34.9	1.8		4.8	46	2.3		6.7	54	2.7	
2.54	02:00	70.31	2.7	36.6	1.8		6.0	51	2.6		9.5	65	3.3	
3.81	03:00		3.5	40.0	2.0		7.8	58	2.9		14.3	86	4.3	
5.09	04:00	105.00	4.0	42.1	2.1		9.7	66	3.4		15.5	91	4.6	
6.35	05:00		4.5	44.2	2.2		11.2	73	3.7		16.6	96	4.8	
7.62	06:00		5.0	46.4	2.3		12.9	80	4.0		17.6	100	5.0	
8.84	07:00		5.5	48.5	2.5		14.5	87	4.4		18.4	103	5.2	



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FICP - CAP INGENIERIA CIVIL

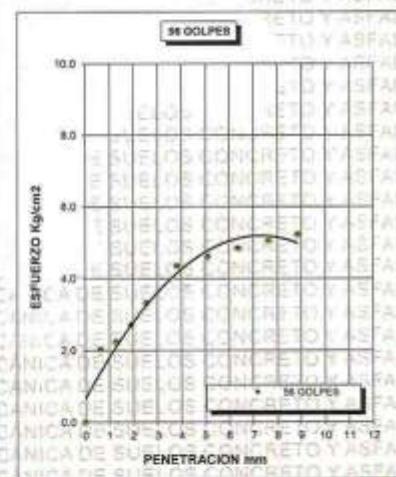
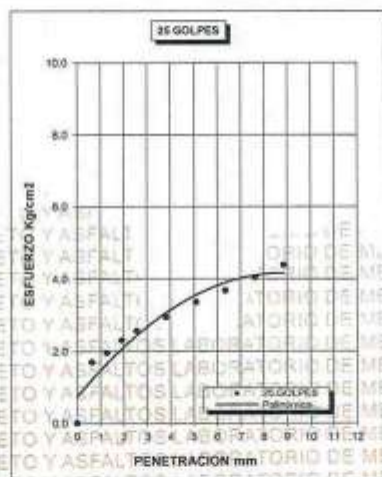
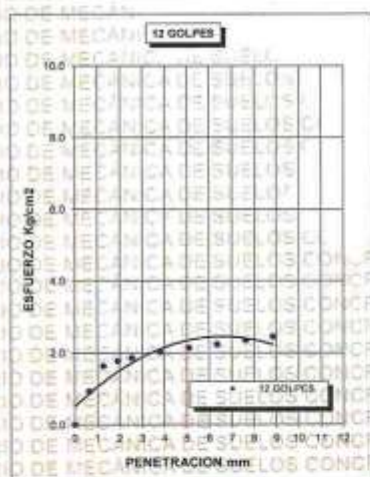
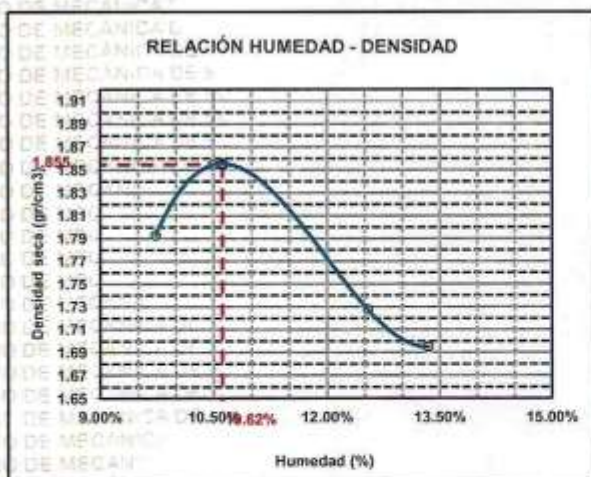
Dr. Arnaldo Yana Torres
CIP. 103257



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



PROYECTO :	EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES DEL SUELO DE SUBRASANTE CON LA ADICIÓN CONTROLADA DE CEMENTO VENCIDO TRATADO CON CAL EN LA VÍA VECINAL COPLAY - NUEVO COPLAY 2025	METODO DE COMPACTACIÓN ASTM D1557-91
SOLICITADO :	BACHILLER MELANY CAROLINA CARPIO VERA	MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm ³ .): 1.855
UBICACIÓN :	COPLAY	HUMEDAD OPTIMA (%): 10.62%
MUESTRA :	SUELO NATURAL - CALICATA - M2	CBR AL 100 DE M.D.S. (%): 4.66
FECHA :	23 DE JULIO DEL 2025	CBR AL 95% DE M.D.S. (%): 3.67
		AASHTO :
		EMBEBIDO :



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FICP - CAP INGENIERÍA CIVIL
Dr. Arnaldo Yana Torres
CIP 103257



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



ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

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

TESIS	: EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES DEL SUELO DE SUBRASANTE CON LA ADICIÓN CONTROLADA DE CEMENTO VENCIDO TRATADO CON CAL EN LA VÍA VECINAL COPLAY - NUEVO COPLAY 2025
SOLICITANTE	: BACHILLER MELANY CAROLINA CARPIO VERA
UBICACIÓN	: COPLAY
MUESTRA	: MUESTRA 3
FECHA	: 23 DE JULIO DEL 2025

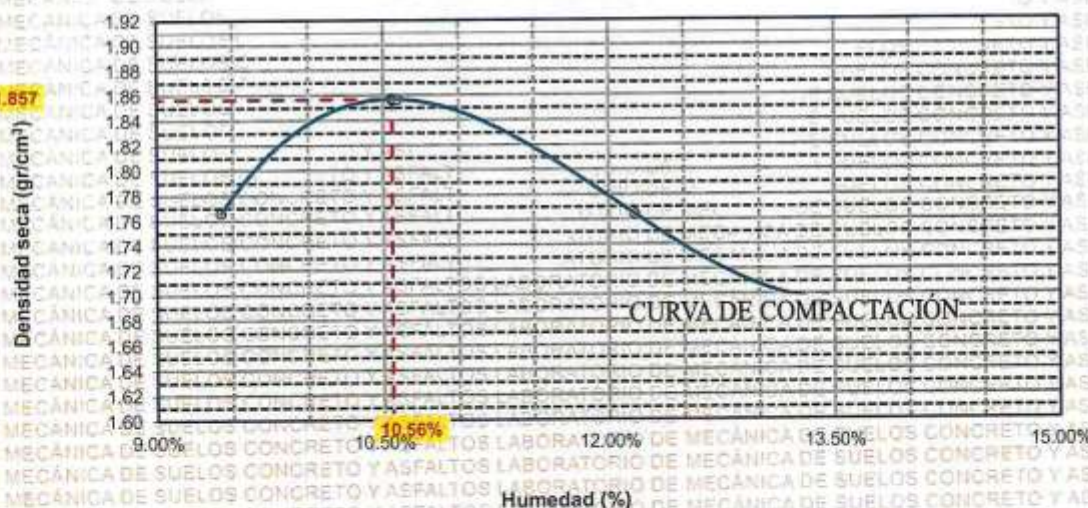
MOLDE No	: 1	VOLUMEN DEL MOLDE	: 2150 cm ³
No DE CAPAS	: 5	GOLPES POR CAPA	: 56 golpes

Peso Suelo Humedo + Molde	gr.	10025	10285	10125	10005
Peso del Molde	gr.	5870	5870	5870	5870
Peso del Suelo Humedo	gr/cm ³	4155	4415	4255	4135
Densidad del Suelo Humedo	gr/cm ³	1.933	2.053	1.979	1.923

Capsula No	No	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.
Suelo Humedo + Capsula	gr.	344.96	344.94	367.84	366.99	405.85	406.96	247.88	247.99
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	320.40	321.20	339.20	337.50	368.90	369.80	226.30	226.10
Peso del Agua	gr.	24.56	23.74	28.64	29.49	36.95	37.16	21.58	21.89
Peso de la Capsula	gr.	64.00	65.00	64.00	64.00	65.00	65.00	64.00	65.00
Peso del Suelo Seco	gr.	256.40	256.20	275.20	273.50	303.90	304.80	162.30	161.10
% de Humedad	%	9.58%	9.27%	10.41%	10.78%	12.16%	12.19%	13.30%	13.59%
Promedio de Humedad	%	9.42%		10.59%		12.18%		13.44%	
Densidad del Suelo Seco	%	1.766		1.857		1.764		1.695	

METODO:	ASTM D - 1557	MAXIMA DENSIDAD SECA	: 1.857 gr/cm ³
	MODIFICADO "C"	HUMEDAD OPTIMA	: 10.56%

RELACIÓN HUMEDAD - DENSIDAD



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FICP - CAP INGENIERÍA CIVIL

Dr. Arnaldo Yana Torres
CIP 103257



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 : EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES DEL SUELO DE SUBRASANTE CON LA ADICIÓN CONTROLADA DE CEMENTO VENCIDO TRATADO CON CAL EN LA VÍA VECINAL COPLAY - NUEVO COPLAY 2025

SOLICITANTE : BACHILLER MELANY CAROLINA CARPIO VERA

UBICACIÓN : COPLAY

MUESTRA : MUESTRA 3

FECHA : 23 DE JULIO DEL 2025

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.	12646	12658	12696	12693	12674	12634
Peso del Molde	gr.	8546	8546	8600	8600	8151	8151
Peso del Suelo Humedo	gr.	4100	4112	4096	4093	4523	4483
Volumen del Suelo	cc.	2104.81	2104.81	2101.91	2101.91	2096.50	2096.50
Densidad del Suelo Humedo	gr/cc.	1.948	1.954	1.949	1.947	2.157	2.138

Capsula No	No	5	4	B	15	14	E	4	10	T
Suelo Humedo + Capsula	gr.	234.60	237.20	226.52	239.87	240.21	204.80	254.60	255.24	205.80
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	211.25	213.50	202.21	215.65	216.35	183.00	228.86	229.62	183.97
Peso del Agua	gr.	23.35	23.70	24.31	24.19	23.86	21.60	25.74	25.62	21.83
Peso de la Capsula	gr.	39.00	39.00	23.00	38.00	39.10	23.00	40.50	39.30	23.00
Peso del Suelo Seco	gr.	172.25	174.50	179.21	177.65	177.25	160.00	188.36	190.32	160.97
% de Humedad	%	13.56%	13.58%	13.57%	13.61%	13.46%	13.50%	13.67%	13.46%	13.44%
Promedio de Humedad	%	13.57%	13.57%	13.57%	13.54%	13.54%	13.50%	13.56%	13.44%	13.44%
Densidad del Suelo Seco	gr/cc.	1.715	1.720	1.716	1.716	1.716	1.900	1.885	1.885	1.885

EXPANSION

Fecha	Hora	Tiempo	Dial	Expansion mm	%	Dial	Expansion mm	%	Dial	Expansion mm	%
		0	0.00	0.00	0	0.00	0	0	0.00	0	0
		24:00:00	0.12	0.00	0.03	0.13	0.00	0.03	0.14	0.00	0.03
		48:00:00	0.13	0.00	0.03	0.15	0.00	0.03	0.18	0.00	0.04
		72:00:00	0.16	0.00	0.03	0.18	0.00	0.04	0.21	0.01	0.05

PENETRACION

Penetracion mm	Tiempo	Carga Est.	MOLDE No III	MOLDE No II	MOLDE No I
0.00	0.00		Dial Kg Kg/cm2 Correc.	Dial Kg Kg/cm2 Correc.	Dial Kg Kg/cm2 Correc.
0.63	00:30		0.0 0.00 0.00	0.00 0.00 0.00	0.0 0.00 0.00
1.27	01:00		1.2 30.2 0.9	2.4 35 1.8	3.7 41 2.1
1.91	01:30		1.9 33.2 1.7	3.9 42 2.1	5.8 50 2.5
2.54	02:00	70.31	2.3 34.9 1.8	4.9 46 2.3	7.5 57 2.9
3.81	03:00		2.8 37.0 1.9	6.8 54 2.7	9.5 65 3.3
5.09	04:00	105.00	3.3 39.1 2.0	7.5 57 2.9	10.7 71 3.6
6.35	05:00		4.6 44.7 2.3	8.7 62 3.1	12.6 79 4.0
7.62	06:00		5.2 47.2 2.4	9.1 64 3.2	13.4 82 4.1
8.84	07:00		5.7 49.3 2.5	9.8 67 3.4	14.4 86 4.4



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FICP - CAP INGENIERÍA CIVIL

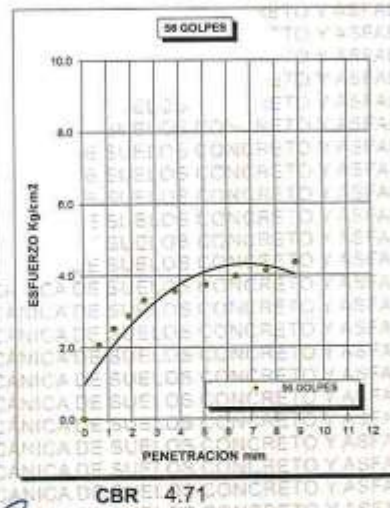
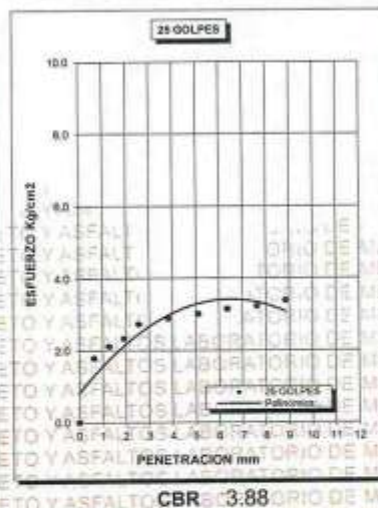
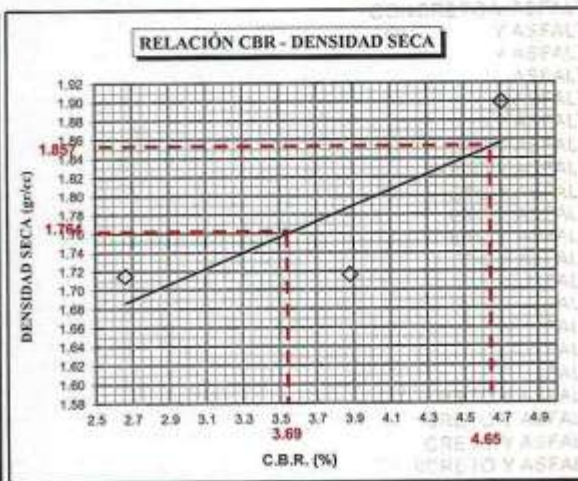
Dr. Arnaldo Yana Torres
CIP. 103757



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



PROYECTO :	EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES DEL SUELO DE SUBRASANTE CON LA ADICIÓN CONTROLADA DE CEMENTO VENCIDO TRATADO CON CAL EN LA VÍA VECINAL COPLAY - NUEVO COPLAY 2025	METODO DE COMPACTACIÓN ASTM D1557-91	
SOLICITADO :	BACHILLER MELANY CAROLINA CARPIO VERA	MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm ³)	1.857
UBICACIÓN :	COPLAY	HUMEDAD OPTIMA (%)	10.56%
MUESTRA :	SUELO NATURAL - CALICATA - M3	CBR AL 100 DE M.D.S. (%)	4.65
FECHA :	23 DE JULIO DEL 2025	CBR AL 95% DE M.D.S. (%)	3.69
		AASHTO :	
		EMBEBIDO :	



CBR 2.66

CBR 3.88

CBR 4.71



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FICP - CAP INGENIERÍA CIVIL

Dr. Arnaldo Yana Torres
CIP. 103257



ANEXO 1
FORMULARIO DE AUTORIZACIÓN

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

Formato digital ☒

Fecha de entrega: 15-12-2025

1. Datos del autor (es):

Nombres y Apellidos: MELANY CAROLINA CARPIO VERA

Dirección: Av. MANCO CAPAC 117 Urb. ALTO SELVA ALEGRE ZONA C Mz. B Lt. 9

DNI/Carné de Extranjería/Pasaporte N°: 71796586

Teléfono: 944 202 896 email: _____

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: TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

Asesor: Dr. LEONEL SUASACA PELINCO

Esta obra se encuentra dentro de las siguientes denominaciones:

Trabajo de Investigación ☐ Tesis ☒ Trabajo de Suficiencia Profesional ☐ Trabajo Académico ☐

Título: EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES DEL SUELO DE SUBRASANTE CON LA ADICIÓN

CONTROLADA DE CEMENTO VENCIDO TRATADO CON CAL EN LA

VÍA VEGINAL COPLAY - NUEVO COPLAY 2025

Palabras claves, (3 a 5 términos): CAL CEMENTO VENCIDO, ESTABILIZACIÓN DE SUELOS, SUELO DE 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, entre 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 ☒ Título ☐ 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

21 - 11 - 2025

Fecha