



**UNIVERSIDAD ANDINA**

**NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ**

**FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**EFFECTO DE LA INCORPORACIÓN DE SULFATO DE CALCIO  
HEMIHIDRATADO Y CEMENTO ENDURECIDO TRITURADO  
SOBRE LAS PROPIEDADES DEL SUELO DE SUBRASANTE  
EN VÍAS DEL DISTRITO DE SAN MIGUEL 2024**

**TESIS PRESENTADA POR:**

**Bach. DENNYS ALBERTO COLQUE RUELAS**

**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**

**EFFECTO DE LA INCORPORACIÓN DE SULFATO DE CALCIO  
HEMIHIDRATADO Y CEMENTO ENDURECIDO TRITURADO  
SOBRE LAS PROPIEDADES DEL SUELO DE SUBRASANTE  
EN VÍAS DEL DISTRITO DE SAN MIGUEL 2024**

TESIS PRESENTADA POR:

**Bach. DENNYS ALBERTO COLQUE RUELAS**

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
**INGENIERO CIVIL**

APROBADA POR EL JURADO REVISOR:

**PRESIDENTE**

:

  
Dr. OSCAR VICENTE VIAMONTE CALLA

**PRIMER MIEMBRO**

:

  
Dr. ARNALDO YANA TORRES


**SEGUNDO MIEMBRO**

:

  
Mgtr. WILFREDO DAVID SUPTO PACORI

**ASESOR DE TESIS**

:

  
Dr. MILTHON QUISPE HUANCA

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN**

:

TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN – P17



**RESOLUCIÓN DECANAL N° 462-2025-D-UI-FICP-UANCV**

Juliaca, 12 de junio del 2025

**VISTO:** El expediente N° 2025- CU-6761 presentado por el (la) Bachiller: DENNYS ALBERTO COLQUE RUELAS 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. DENNYS ALBERTO COLQUE RUELAS, quien solicita **NOMINACIÓN DE JURADOS Y PROGRAMACIÓN DE FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN** de la Tesis Titulado: **EFFECTO DE LA INCORPORACIÓN DE SULFATO DE CALCIO HEMIHIDRATADO Y CEMENTO ENDURECIDO TRITURADO SOBRE LAS PROPIEDADES DEL SUELO DE SUBRASANTE EN VÍAS DEL DISTRITO DE SAN MIGUEL 2024**, 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. OSCAR VICENTE VIAMONTE CALLA
- \* **1er Miembro** : Dr. ARNALDO YANA TORRES
- \* **2do Miembro** : Mgtr. WILFREDO DAVID SUPO PACORI

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

**ARTICULO TERCERO . - APROBAR**, la **FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS** de el (la) bachiller: DENNYS ALBERTO COLQUE RUELAS; del informe final de la investigación (tesis) titulado: **EFFECTO DE LA INCORPORACIÓN DE SULFATO DE CALCIO HEMIHIDRATADO Y CEMENTO ENDURECIDO TRITURADO SOBRE LAS PROPIEDADES DEL SUELO DE SUBRASANTE EN VÍAS DEL DISTRITO DE SAN MIGUEL 2024** para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil. de acuerdo al siguiente detalle:

- \* **FECHA** : jueves 19 de junio del 2025
- \* **HORA** : 08:30 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 CIENCIAS PURAS

Mgtr. WALTER J. LIZARRAGA ARMAZA  
DECANO (e)  
C.I.P. 70808



UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

Dr. Frida Willy Manzaní Apaza  
DIRECTOR  
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

cc.  
Archivo  
interesado (a)



# UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"

## RESOLUCIÓN DECANAL N° 147-2025-D-UI-FICP-UANCV

Juliaca, 27 de marzo del 2025

**VISTO:** El expediente N° 2025-CU - 1113 por el señor (a): DENNYS ALBERTO COLQUE RUELAS quien solicita **REVISIÓN DEL INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (borrador de tesis)**, el **PROVEIDO - N° 085-2025-UI-FICP-UANCV/J**, y la **FICHA DE OPINIÓN DEL INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (BORRADOR DE TESIS)** formato N° 003-2025 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): DENNYS ALBERTO COLQUE RUELAS, ha presentado su informe final de la investigación (borrador de tesis) **Titulado: EFECTO DE LA INCORPORACIÓN DE SULFATO DE CALCIO HEMIHIDRATADO Y CEMENTO ENDURECIDO TRITURADO SOBRE LAS PROPIEDADES DEL SUELO DE SUBRASANTE EN VÍAS DEL DISTRITO DE SAN MIGUEL 2024**, 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° 003-2025 **aprobando** el informe final de la investigación (borrador de tesis) **titulado: EFECTO DE LA INCORPORACIÓN DE SULFATO DE CALCIO HEMIHIDRATADO Y CEMENTO ENDURECIDO TRITURADO SOBRE LAS PROPIEDADES DEL SUELO DE SUBRASANTE EN VÍAS DEL DISTRITO DE SAN MIGUEL 2024**, 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 respectó 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): DENNYS ALBERTO COLQUE RUELAS, para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil, con el Tema **Titulado: EFECTO DE LA INCORPORACIÓN DE SULFATO DE CALCIO HEMIHIDRATADO Y CEMENTO ENDURECIDO TRITURADO SOBRE LAS PROPIEDADES DEL SUELO DE SUBRASANTE EN VÍAS DEL DISTRITO DE SAN MIGUEL 2024** correspondiente a la línea de investigación **TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN**, en virtud a los considerandos expuestos.

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

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

Regístrese, Comuníquese, Archívese.



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

MSc. WALTER L. LIZARRAGA ARMAZ  
DECANO (e)  
CIP. 70808



UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS  
  
Dr. Friso Willy Mamani Apaza  
DIRECTOR  
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

cc.  
Archivo  
interesado (a)



**RESOLUCIÓN DECANAL N° 1660-2024-D-UI-FICP-UANCV**

Juliaca, 05 de diciembre del 2024

**VISTO:** El expediente N° 2024-CU- 14337, presentado el señor (a) DENNYS ALBERTO COLQUE RUELAS solicitando APROBACIÓN DE LA PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN el PROVEIDO - N° 1436 -2024-UI-FICP-UANCV/J, y la FICHA DE OPINIÓN DE LA PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN formato N° 382-2024 del integrante del comité de investigación EPIC de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, según al reglamento interno de trabajos de investigación conducente a grados y títulos.

**CONSIDERANDO:**

Que, el señor (a): DENNYS ALBERTO COLQUE RUELAS ha presentado su propuesta de investigación Titulado: EFECTO DE LA INCORPORACIÓN DE SULFATO DE CALCIO HEMIHIDRATADO Y CEMENTO ENDURECIDO TRITURADO SOBRE LAS PROPIEDADES DEL SUELO DE SUBRASANTE EN VÍAS DEL DISTRITO DE SAN MIGUEL 2024, 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° 382-2024- aprobando la propuesta de investigación titulado: EFECTO DE LA INCORPORACIÓN DE SULFATO DE CALCIO HEMIHIDRATADO Y CEMENTO ENDURECIDO TRITURADO SOBRE LAS PROPIEDADES DEL SUELO DE SUBRASANTE EN VÍAS DEL DISTRITO DE SAN MIGUEL 2024.

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 mérito 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): DENNYS ALBERTO COLQUE RUELAS, para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil, con el Tema Titulado: EFECTO DE LA INCORPORACIÓN DE SULFATO DE CALCIO HEMIHIDRATADO Y CEMENTO ENDURECIDO TRITURADO SOBRE LAS PROPIEDADES DEL SUELO DE SUBRASANTE EN VÍAS DEL DISTRITO DE SAN MIGUEL 2024 correspondiente a la línea de investigación TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN.

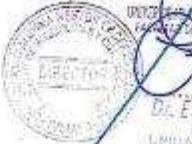
La misma que deberá proceder con la ejecución de la propuesta de Investigación aprobado de acuerdo a lo establecido en el Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales.

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

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

Regístrese, Comuníquese, Archívese.

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

  
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN  
"OFICINA DE INVESTIGACIÓN"  
.....  
Dr. EMMANUEL GARCÍA  
DIRECTOR  
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

cc:  
Archivo 2024  
Interesado (a)



## EFFECTO DE LA INCORPORACIÓN DE SULFATO DE CALCIO HEMIHDRATADO Y CEMENTO ENDURECIDO TRITURADO SOBRE LAS PROPIEDADES DEL SUELO DE SUBRASANTE EN VÍAS DEL DISTRITO DE SAN MIGUEL 2024

### INFORME DE ORIGINALIDAD

20%

INDICE DE SIMILITUD

17%

FUENTES DE INTERNET

3%

PUBLICACIONES

11%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

### FUENTES PRIMARIAS

1	Submitted to Universidad Andina Nestor Caceres Velasquez Trabajo del estudiante	8%
2	<a href="http://hdl.handle.net">hdl.handle.net</a> Fuente de Internet	4%
3	<a href="http://repositorio.uancv.edu.pe">repositorio.uancv.edu.pe</a> Fuente de Internet	1%
4	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante	1%
5	<a href="http://www.repositorio.usac.edu.gt">www.repositorio.usac.edu.gt</a> Fuente de Internet	1%
6	<a href="http://repositorio.uns.edu.pe">repositorio.uns.edu.pe</a> Fuente de Internet	1%
7	<a href="http://repositorio.ucv.edu.pe">repositorio.ucv.edu.pe</a> Fuente de Internet	1%




## Metadatos Complementarios



<b>Título de la tesis</b>	
<b>EFFECTO DE LA INCORPORACIÓN DE SULFATO DE CALCIO HEMIHIDRATADO Y CEMENTO ENDURECIDO TRITURADO SOBRE LAS PROPIEDADES DEL SUELO DE SUBRASANTE EN VÍAS DEL DISTRITO DE SAN MIGUEL 2024</b>	
<b>Datos de autor</b>	
Nombres y apellidos	DENNYS ALBERTO COLQUE RUELAS
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	73439096
URL de ORCID	<a href="https://orcid.org/0009-0003-1183-852X">https://orcid.org/0009-0003-1183-852X</a>
<b>Datos de asesor</b>	
Nombres y apellidos	MILTHON QUISPE HUANCA
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	02424528
URL de ORCID	<a href="https://orcid.org/0000-0002-4219-1007">https://orcid.org/0000-0002-4219-1007</a>
<b>Datos del jurado</b>	
<b>Presidente del jurado</b>	
Nombres y apellidos	OSCAR VICENTE VIAMONTE CALLA
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	02371550
<b>Miembro del jurado 1</b>	
Nombres y apellidos	ARNALDO YANA TORRES
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	41414676
<b>Miembro del jurado 2</b>	
Nombres y apellidos	WILFREDO DAVID SUPO PACORI
Tipo de documento	DNI



Número de documento de identidad	02428673
<b>Datos de investigación</b>	
Línea de investigación	Tecnología de la Construcción - P17
Grupo de investigación	No aplica.
Agencia de financiamiento	Sin financiamiento
Ubicación geográfica de la investigación	<p>País: Perú          Departamento: Puno          Provincia: San Román          Distrito: San Miguel          Latitud: S 15° 28' 43"          Longitud: O 70° 07' 37"</p>  <p><a href="https://maps.app.goo.gl/sRv2M7R1wK3qJ4nL7">https://maps.app.goo.gl/sRv2M7R1wK3qJ4nL7</a></p>
Año o rango de años en que se realizó la investigación	Diciembre 2024 – Junio 2025
URL de disciplinas OCDE <a href="https://concytec-pe.github.io/Peru-CRIS/vocabularios/ocde_ford.html">https://concytec-pe.github.io/Peru-CRIS/vocabularios/ocde_ford.html</a> - Librería	<b>Ingeniería civil</b> <a href="https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.01">https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.01</a> <b>Ingeniería de la construcción</b> <a href="https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.03">https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.03</a>



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS PURAS

*Dr. Fritz Willy Morales Apaza*  
DIRECTOR  
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN



**DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD Y RESPONSABILIDAD**

Yo DENNYS ALBERTO COLQUE RUELAS, identificado con DNI

Nro. 73439096, 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:

EFEECTO DE LA INCORPORACIÓN DE SULFATO DE CALCIO HEMIDRATADO Y CEMENTO

ENDURECIDO TRITURADO SOBRE LAS PROPIEDADES DEL SUELO DE

SUBRASANTE EN VÍAS DEL DISTRITO DE SAN MIGUEL 2024

Asesorado por: Dr. MILTHON QUISPE HUANCA

Es un tema original.

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

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

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

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

Juliaca 17 de JULIO del 2025

Firma del Asesor  
(obligatoria)

Firma del Estudiante  
(obligatoria)



Huella



## DEDICATORIA

*A mis queridos padres, pilares de mi vida y faros en mi camino:*

*Esta tesis es el fruto de su amor incondicional, sus sacrificios silenciosos y su fe inquebrantable en mí.*

*Cada página lleva impregnada su enseñanza de que 'nada es imposible'.*

*Este logro es tan mío como suyo, Todo lo que soy y lo que he logrado es gracias a ustedes.*



## AGRADECIMIENTO

*En primer lugar, agradezco a Dios, fuente de vida, sabiduría y fortaleza, por haberme sostenido en cada paso de este camino.*

*A mis padres, cuyo amor incondicional, sacrificio silencioso y apoyo constante han sido el pilar sobre el cual se ha construido esta meta. Gracias por confiar en mí incluso cuando la fatiga se hacía presente por ser luz en mis momentos oscuros y por enseñarme que los sueños se alcanzan con trabajo y fe.*

*A mis docentes, por su entrega y compromiso en la formación académica que hoy culmino.*

*Y a todas las personas que, de una u otra forma, dejaron una huella en este proceso, mi sincero agradecimiento.*



# ÍNDICE GENERAL

	Pág.
<b>DEDICATORIA.....</b>	<b>I</b>
<b>AGRADECIMIENTO.....</b>	<b>I</b>
<b>ÍNDICE GENERAL.....</b>	<b>II</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS.....</b>	<b>V</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS.....</b>	<b>VI</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>VIII</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>IX</b>
<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>X</b>

## CAPÍTULO I

### EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 Análisis de la situación problemática.....	12
1.2 Planteamiento del problema.....	13
1.2.1 Problema general.....	13
1.2.2 Problemas específicos.....	13
1.3 Objetivos de la investigación.....	14
1.3.1 Objetivo general.....	14
1.3.2 Objetivos específicos.....	14
1.4 Justificación de la investigación.....	14
1.4.1 Justificación técnica.....	14
1.4.2 Justificación económica.....	15
1.4.3 Justificación social.....	15
1.4.4 Justificación ambiental.....	15
1.5 Hipótesis de la investigación.....	16
1.5.1 Hipótesis general.....	16
1.5.2 Hipótesis específicas.....	16
1.6 Variables e indicadores.....	17
1.6.1 Variable independiente.....	17
1.6.2 Variable dependiente.....	17
1.7 Especificación de las variables para su estudio.....	17



## CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO

2.1	Antecedentes de la investigación .....	18
2.1.1	Antecedentes internacionales.....	18
2.1.2	Antecedente nacional .....	20
2.1.3	Antecedente de ámbito local .....	22
2.2	Bases teóricas .....	23
2.2.1	Introducción a los suelos de subrasante .....	23
2.2.1.1	<i>Definición de subrasante</i> .....	24
2.2.1.2	<i>Propiedades de los suelos de subrasante</i> .....	26
2.2.2	Materiales estabilizantes para suelos de subrasante .....	28
2.2.2.1	<i>Concepto de estabilización de suelos</i> .....	31
2.2.2.2	<i>Sulfato de calcio hemihidratado</i> .....	33
2.2.2.3	<i>Cemento endurecido triturado</i> .....	35
2.2.3	Propiedades del suelo y su mejora mediante estabilizantes .....	36
2.2.4	Factores que influyen en la efectividad de los estabilizantes .....	38
2.2.4.1	<i>Proporción de los estabilizantes</i> .....	41
2.2.4.2	<i>Tiempo de curado y reacciones químicas</i> .....	43
2.2.4.3	<i>Condiciones climáticas y ambientales</i> .....	46
2.2.5	Normativa técnica para el diseño de vías en suelos estabilizados.....	49
2.2.6	Estudios previos y aplicaciones de estabilización de suelos .....	52
2.2.6.1	<i>Uso de sulfato de calcio en proyectos viales</i> .....	52
2.2.6.2	<i>Uso de cemento triturado en la estabilización</i> .....	53
2.2.6.3	<i>Combinación de estabilizantes y su sinergia</i> .....	53
2.2.6.4	<i>Limitaciones y retos en la aplicación</i> .....	54
2.3	Marco conceptual.....	54
2.3.1.	Cemento endurecido .....	54
2.3.2.	Estabilización de suelos .....	55
2.3.3.	Factores que afectan la estabilización .....	55
2.3.4.	Norma técnica .....	55
2.3.5.	Propiedades de los suelos .....	55
2.3.6.	Sulfato de calcio .....	56



**CAPÍTULO III**

**METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

3.1 Diseño de la investigación..... 57

3.2 Método de la investigación ..... 58

3.3 Nivel y tipo de la investigación ..... 58

    3.3.1 Nivel de la investigación .....58

    3.3.2 Tipo de la investigación .....59

    3.3.3 Enfoque de la investigación.....59

3.4 Población y muestra de la investigación..... 60

    3.4.1 Población.....60

    3.4.2 Muestra.....61

3.5 Técnicas e instrumentos ..... 63

    3.5.1 Técnicas .....63

    3.5.2 Instrumentos de recolección de datos investigación .....64

3.6 Validación y confiabilidad del instrumento ..... 65

    3.6.1 Validación de los instrumentos .....65

    3.6.2 Confiabilidad de instrumentos .....66

3.7 Plan de recolección y procesamiento de datos ..... 67

    3.7.1 Toma de muestra del material .....67

    3.7.2 Equipos y herramientas utilizados: .....73

3.8 Procesamiento y análisis de datos ..... 83

**CAPÍTULO IV**

**RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

4.1 Presentación y análisis de resultados ..... 85

    4.1.1 Grado de compactación muestra 1.....91

    4.1.2 Efecto del sulfato de calcio hemidratado y cemento endurecido en el grado de compactación..... 101

    4.1.3 Efecto del sulfato de calcio Hemihidratado y cemento endurecido triturado ..... 106

4.2 Discusión de resultados ..... 111

CONCLUSIONES ..... 114

RECOMENDACIONES..... 116

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... 117

ANEXOS..... 126



## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Especificación de las variables para su estudio .....	17
<b>Tabla 2</b> Cifra de ensayos aplicados.....	62
<b>Tabla 3</b> Cantidades de material adicionante .....	72
<b>Tabla 4</b> Valor de humedad observado en las muestras recogidas.....	86
<b>Tabla 5</b> Índice plástico de las muestras- naturales .....	89
<b>Tabla 6</b> Valoración de la compactación y sus respectivos grados en la subrasante .....	91
<b>Tabla 7</b> CBR en la subrasante de suelo natural.....	95
<b>Tabla 8</b> Índice de plasticidad del suelo + 4% SCH.....	96
<b>Tabla 9</b> Índice de plasticidad del suelo + 8% SCH.....	97
<b>Tabla 10</b> Índice de plasticidad del suelo + 4% CET .....	98
<b>Tabla 11</b> Índice de plasticidad del suelo + 8% CET .....	99
<b>Tabla 12</b> Índice de plasticidad comparativa .....	100
<b>Tabla 13</b> Muestras + 4% SCH (grado de compactación) .....	101
<b>Tabla 14</b> Muestras + 8% SCH (grado de compactación) .....	102
<b>Tabla 15</b> Muestras + 4% CET (grado de compactación).....	103
<b>Tabla 16</b> Muestras + 8% CET (grado de compactación).....	104
<b>Tabla 17</b> Comparativa de valores alcanzados .....	105
<b>Tabla 18</b> Muestras + 4% SCH (CBR) .....	106
<b>Tabla 19</b> Muestras + 8% SCH (CBR) .....	107
<b>Tabla 20</b> Muestras + 4% CET (CBR).....	108
<b>Tabla 21</b> Muestras + 8% CET (CBR).....	109
<b>Tabla 22</b> Comparativa de valores alcanzados .....	110



## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Localización de las zonas de estudio .....	61
<b>Figura 2</b> Presentación del sulfato de calcio hemihidratado (yeso calcinado) .....	69
<b>Figura 3</b> Trituración del cemento endurecido de manera manual .....	71
<b>Figura 4</b> Pesaje de muestras .....	76
<b>Figura 5</b> Análisis granulométrico .....	78
<b>Figura 6</b> Adición de humedad al material de subrasante .....	80
<b>Figura 7</b> Ensayo de proctor modificado (apisonado de material) .....	81
<b>Figura 8</b> Equipo y herramientas para ensayo CBR .....	82
<b>Figura 9</b> Muestra de subrasante para sumergir al agua y controlar penetraciones .....	83
<b>Figura 10</b> Humedad presente en las muestras .....	86
<b>Figura 11</b> Análisis de la composición de partículas en la muestra 1 .....	87
<b>Figura 12</b> Análisis de la composición de partículas en la muestra 2 .....	88
<b>Figura 13</b> Análisis de la composición de partículas en la muestra 3 .....	88
<b>Figura 14</b> Análisis de la composición de partículas en la muestra 4 .....	89
<b>Figura 15</b> Revisión comparativa de los límites alcanzados .....	90
<b>Figura 16</b> Conexión entre la densidad y el porcentaje de humedad observado en la muestra 1.1 .....	92
<b>Figura 17</b> Conexión entre la densidad y el porcentaje de humedad observado en la muestra 1.2 .....	92
<b>Figura 18</b> Conexión entre la densidad y el porcentaje de humedad observado en la muestra 1.3 .....	93
<b>Figura 19</b> Conexión entre la densidad y el porcentaje de humedad observado en la muestra 1.4 .....	93
<b>Figura 20</b> Relaciones entre humedad .....	94
<b>Figura 21</b> Densidad de los suelos naturales .....	94
<b>Figura 22</b> CBR en la subrasante de suelo muestra 1 .....	95
<b>Figura 23</b> Índice plástico de la muestra + 4% de SCH .....	96



<b>Figura 24</b> Índice plástico de la muestra + 8% de SCH .....	97
<b>Figura 25</b> Índice plástico de la muestra + 4% de cemento endurecido .....	98
<b>Figura 26</b> Índice plástico de la muestra + 8% de cemento endurecido .....	99
<b>Figura 27</b> Variación del Índice de plasticidad .....	100
<b>Figura 28</b> Comparativa de los grados de compactación de las muestras + 4% de SCH .....	101
<b>Figura 29</b> Comparativa de los grados de compactación de las muestras + 8% de SCH .....	102
<b>Figura 30</b> Comparativa de los grados de compactación de las muestras + 4% de CET .....	103
<b>Figura 31</b> Comparativa de los grados de compactación de las muestras + 8% de CET .....	104
<b>Figura 32</b> Comparativa de los grados de compactación de las muestras .....	105
<b>Figura 33</b> Comparativa de la capacidad de soporte + 4% de SCH .....	106
<b>Figura 34</b> Comparativa de la capacidad de soporte + 8% de SCH .....	107
<b>Figura 35</b> Comparativa de la capacidad de soporte + 4% de CET .....	108
<b>Figura 36</b> Comparativa de la capacidad de soporte + 8% de CET .....	109
<b>Figura 37</b> Comparativa de los grados de compactación de las muestras .....	110



## RESUMEN

La presente investigación titulada "Efecto de la incorporación de sulfato de calcio hemihidratado y cemento endurecido triturado sobre las propiedades del suelo de subrasante vías del distrito San Miguel 2024", La metodología presenta un tipo aplicado, enfoque cuantitativo, nivel explicativo, diseño experimental y método científico de estudio; El presente estudio evaluó el efecto de la incorporación de sulfato de calcio hemihidratado (SCH) y cemento endurecido triturado (CET) en las propiedades del suelo de subrasante en vías del distrito de San Miguel. Los resultados demostraron que el SCH y el CET mejoran significativamente las propiedades mecánicas del suelo, reduciendo el índice de plasticidad (IP), aumentando la densidad seca máxima (MDS) y la capacidad de soporte (CBR). El suelo natural presentó una MDS promedio de  $1.764 \text{ g/cm}^3$  y un CBR de 4.54%. Con 4% y 8% de SCH, la MDS aumentó a  $1.95 \text{ g/cm}^3$  y  $2.02 \text{ g/cm}^3$ , respectivamente, y el CBR alcanzó 6.3% y 11.52%. Por su parte, el CET mostró un mejor desempeño, con incrementos en la MDS a  $1.93 \text{ g/cm}^3$  (4%) y  $2.04 \text{ g/cm}^3$  (8%), y un CBR de 10.15% y 12.81%, respectivamente. En cuanto al IP, se redujo de 15.57% (suelo natural) a 12.31% con SCH y a 10.15% con CET, destacando la mayor eficacia del CET. Estos resultados confirman que el uso de SCH y CET es una solución efectiva para mejorar las propiedades de los suelos de subrasante en vías no pavimentadas, siendo el CET más eficiente.

**Palabras Clave:** Subrasante, Sulfatos, Cemento endurecido, CBR.



## ABSTRACT

The present research titled "Effect of the incorporation of hemihydrated calcium sulfate and crushed hardened cement on the properties of the subgrade soil of roads in the San Miguel 2024 district", The cost of carrying out the study is something necessary to contribute to the generation of new knowledge. The methodology presents an applied type, quantitative approach, descriptive and explanatory level, experimental design and scientific study method; The present study evaluated the effect of the incorporation of calcium sulfate hemihydrate (CHS) and crushed hardened cement (CET) on the properties of subgrade soil on roads in the San Miguel district. The results demonstrated that SCH and CET significantly improve the mechanical properties of the soil, reducing the plasticity index (PI), increasing the maximum dry density (MDS) and the bearing capacity (CBR). The natural soil presented an average MDS of  $1.764 \text{ g/cm}^3$  and a CBR of 4.54%. With 4% and 8% SCH, the MDS increased to  $1.95 \text{ g/cm}^3$  and  $2.02 \text{ g/cm}^3$ , respectively, and the CBR reached 6.3% and 11.52%. For its part, the CET showed better performance, with increases in MDS to  $1.93 \text{ g/cm}^3$  (4%) and  $2.04 \text{ g/cm}^3$  (8%), and a CBR of 10.15% and 12.81%, respectively. Regarding the PI, it was reduced from 15.57% (natural soil) to 12.31% with SCH and 10.15% with CET, highlighting the greater effectiveness of CET. These results confirm that the use of SCH and CET is an effective solution to improve the properties of subgrade soils on unpaved roads, with CET being more efficient.

**Keywords:** Subgrade, Sulfates, Hardened cement, CBR.



## INTRODUCCIÓN

El desarrollo de infraestructura vial es un componente esencial para el progreso económico y social de cualquier región. Sin embargo, en muchos distritos, las condiciones de los suelos de subrasante representan un desafío significativo debido a sus propiedades inadecuadas para soportar las cargas vehiculares y climáticas. En el distrito de San Miguel, estas limitaciones se reflejan en el deterioro prematuro de las vías principales, lo que afecta la conectividad, incrementa los costos de mantenimiento y reduce la vida útil de los pavimentos.

La mejora de las propiedades del suelo de subrasante es una estrategia clave para garantizar la estabilidad y durabilidad de las vías. Entre las soluciones innovadoras, la incorporación de aditivos estabilizantes como el sulfato de calcio hemihidratado (yeso) y cemento endurecido triturado ha despertado interés en la ingeniería civil. Estos materiales, debido a sus propiedades químicas y mecánicas, tienen el potencial de mejorar la resistencia, cohesión y capacidad de carga del suelo, adaptándose a las exigencias de tránsito y clima de la región.

Este estudio tiene como objetivo evaluar el efecto de la incorporación de sulfato de calcio hemihidratado y cemento endurecido triturado sobre las propiedades físicas y mecánicas del suelo de subrasante en las vías del distrito de San Miguel. A través de un análisis experimental, se busca determinar la viabilidad técnica y económica de esta solución, contribuyendo al diseño y construcción de vías más sostenibles y funcionales.

La investigación cobra relevancia no solo desde el punto de vista técnico, sino también por su impacto en la optimización de recursos y en la mejora de la calidad de vida de los habitantes de San Miguel. En un contexto donde las demandas por infraestructura eficiente y duradera son cada vez mayores, esta propuesta se alinea con los principios de sostenibilidad y desarrollo regional.



Los capítulos están organizados para garantizar una exploración completa del tema, proporcionando un análisis coherente y detallado del problema investigado.

.



## CAPÍTULO I

### EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

#### 1.1 Análisis de la situación problemática

A nivel global, la estabilidad y durabilidad de las infraestructuras viales constituyen desafíos importantes, especialmente en regiones donde el rápido crecimiento urbano exige soluciones sostenibles. En varios países, los suelos de subrasante con propiedades inadecuadas han limitado el rendimiento de los pavimentos, aumentando los costos de mantenimiento y reduciendo su vida útil. Investigaciones recientes han abordado técnicas de estabilización utilizando materiales como sulfato de calcio hemihidratado y residuos industriales, logrando avances en la mejora de la capacidad de carga y la resistencia al desgaste. Sin embargo, persisten desafíos en la aplicación masiva de estas soluciones, particularmente en contextos específicos que requieren una adaptación más precisa y efectiva de estas tecnologías (Ocampo, 2021).

En el Perú, las carreteras y vías urbanas enfrentan un deterioro progresivo debido a la limitada calidad del suelo de subrasante y la falta de técnicas de estabilización efectivas. Esta problemática se agrava especialmente en zonas con alta actividad económica y tráfico pesado, donde los presupuestos destinados a la reparación y mantenimiento son insuficientes. A pesar de la implementación de algunos proyectos de estabilización de suelos utilizando tecnologías tradicionales, estos no siempre se adaptan

a las condiciones climáticas y geológicas del país, lo que subraya la urgente necesidad de explorar soluciones innovadoras y de bajo costo para mejorar la infraestructura vial (Clemente, 2023).

En el distrito de San Miguel, la calidad del suelo de subrasante ha sido un factor clave en el deterioro prematuro de las principales vías de acceso. Este problema no solo afecta la movilidad de los residentes, sino que también limita el desarrollo económico y social de la zona. Las técnicas de mantenimiento utilizadas hasta el momento han demostrado ser ineficaces frente a las condiciones locales, que se caracterizan por una combinación de tránsito constante y suelos con baja resistencia estructural. Por lo tanto, es fundamental evaluar alternativas que optimicen las propiedades del suelo, promoviendo una infraestructura vial más duradera y funcional (Ore Pianto, 2024).

## 1.2 Planteamiento del problema

### 1.2.1 *Problema general*

¿Cuál es el efecto de la incorporación de sulfato de calcio hemihidratado y cemento endurecido triturado sobre las propiedades del suelo de subrasante de vías del distrito San Miguel 2024?

### 1.2.2 *Problemas específicos.*

1. ¿Cuáles son las propiedades físicas y mecánicas del suelo de subrasante en vías no pavimentadas del distrito San Miguel?
2. ¿Cuál es el efecto de la incorporación de sulfato de calcio hemihidratado y cemento endurecido triturado en porcentajes variables en el índice de plasticidad del suelo de subrasante de vías del distrito San Miguel?
3. ¿Cuál es la influencia de la adición de sulfato de calcio hemihidratado y cemento endurecido triturado en porcentajes variables en el grado de compactación del suelo de subrasante de vías del distrito San Miguel?



4. ¿Cuál es el efecto de la aplicación de sulfato de calcio hemihidratado y cemento endurecido triturado en porcentajes variables en la capacidad de soporte del suelo de subrasante de vías del distrito San Miguel?

### **1.3 Objetivos de la investigación.**

#### **1.3.1 Objetivo general**

Analizar el efecto de la incorporación de sulfato de calcio hemihidratado y cemento endurecido triturado sobre las propiedades del suelo de subrasante de vías del distrito San Miguel 2024.

#### **1.3.2 Objetivos específicos**

1. Determinar las propiedades físicas y mecánicas del suelo de subrasante en vías no pavimentadas del distrito San Miguel.
2. Determinar el efecto de la incorporación de sulfato de calcio hemihidratado y cemento endurecido triturado en porcentajes variables en el índice de plasticidad del suelo de subrasante de vías del distrito San Miguel.
3. Explicar la influencia de la adición de sulfato de calcio hemihidratado y cemento endurecido triturado en porcentajes variables en el grado de compactación del suelo de subrasante de vías del distrito San Miguel.
4. Explicar el efecto de la aplicación de sulfato de calcio hemihidratado y cemento endurecido triturado en porcentajes variables en la capacidad de soporte del suelo de subrasante de vías del distrito San Miguel.

### **1.4 Justificación de la investigación**

#### **1.4.1 Justificación técnica**

La mejora de las propiedades del suelo de subrasante mediante la incorporación de sulfato de calcio hemihidratado y cemento endurecido triturado representa una solución

técnica viable para optimizar la resistencia y estabilidad de las vías. Estos materiales, por sus características químicas y mecánicas, tienen el potencial de corregir deficiencias estructurales del suelo, mejorando su capacidad de soporte y prolongando la vida útil de los pavimentos. Además, la metodología propuesta se fundamenta en principios científicos validados, lo que garantiza resultados confiables y replicables en proyectos futuros.

#### **1.4.2 Justificación económica**

Desde una perspectiva económica, la implementación de técnicas de estabilización con materiales accesibles y reciclados como el cemento endurecido triturado permite reducir significativamente los costos de mantenimiento y rehabilitación de las vías. Una infraestructura vial más duradera disminuye la necesidad de reparaciones recurrentes, optimizando el uso de los recursos públicos y privados. Asimismo, al prolongar la vida útil de las vías, se genera un impacto positivo en la economía local, mejorando la conectividad y facilitando el comercio.

#### **1.4.3 Justificación social**

El deterioro de las vías tiene un impacto directo en la calidad de vida de los ciudadanos, dificultando el acceso a servicios básicos, transporte y actividades económicas. Este estudio, al proponer una solución para mejorar la infraestructura vial, contribuye al bienestar social al garantizar una movilidad más segura y eficiente. Además, la estabilización del suelo favorece el desarrollo de comunidades locales al promover una conectividad que impulsa el desarrollo económico y social.

#### **1.4.4 Justificación ambiental**

La utilización de materiales como el sulfato de calcio hemihidratado y el cemento endurecido triturado no solo representa una alternativa técnica eficiente, sino también una opción sostenible. El reciclaje de cemento endurecido reduce la cantidad de desechos sólidos y contribuye a la conservación de recursos naturales. Asimismo, la mejora de las



vías disminuye las emisiones de gases contaminantes generadas por vehículos atrapados en el tráfico debido al mal estado de las carreteras, alineándose con los principios de sostenibilidad ambiental y mitigación de impactos negativos.

## **1.5 Hipótesis de la investigación**

### **1.5.1 Hipótesis general**

La incorporación de sulfato de calcio hemihidratado y cemento endurecido triturado en el suelo de subrasante de las vías del distrito San Miguel 2024 contribuirá positivamente a la mejora de las propiedades del suelo, resultando en una estabilización efectiva del material.

### **1.5.2 Hipótesis específicas.**

1. La modificación de las propiedades físicas y mecánicas del suelo de subrasante en caminos no pavimentados dentro del distrito San Miguel llevará a la mejora en la estabilidad y resistencia de estas vías.
2. La adición de sulfato de calcio hemihidratado y cemento endurecido triturado en diferentes proporciones tendrá un impacto favorable en el índice de plasticidad del suelo de subrasante en las vías del distrito San Miguel, reduciendo así la plasticidad del suelo y mejorando su comportamiento ante cambios de humedad.
3. La incorporación de sulfato de calcio hemihidratado y cemento endurecido triturado en diversas concentraciones incrementará el grado de compactación del suelo de subrasante en las vías del distrito San Miguel, asegurando una base más sólida y resistente para el pavimento.
4. El uso de sulfato de calcio hemihidratado y cemento endurecido triturado en porcentajes variables mejorará significativamente la capacidad de soporte del suelo de subrasante de las vías del distrito San Miguel, reflejándose en un aumento en el valor del CBR del material.

## 1.6 Variables e indicadores

### 1.6.1 Variable independiente

Sulfato de Calcio Hemihidratado y Cemento Endurecido Triturado

### 1.6.2 Variable dependiente

Propiedades del Suelo de Subrasante

## 1.7 Especificación de las variables para su estudio

Tabla 1

*Especificación de las variables para su estudio*

Variable Independiente	Definición	Dimensión	Indicadores	Instrumentos de medición
Sulfato de calcio hemihidratado y cemento endurecido triturado	Es un compuesto químico derivado del sulfato de calcio mediante un proceso de deshidratación parcial. El cemento endurecido triturado es un material reciclado obtenido al triturar concreto previamente endurecido.	Proporciones de sulfato de calcio. Proporciones del cemento endurecido triturado.	Combinación de MB + 4% SCH Combinación de MB + 8% SCH Combinación de MB + 4% CET Combinación de MB + 8% CET	Equipos de evaluación.
Variable Dependiente	Definición	Dimensión	Indicadores	Instrumentos de medición
Propiedades del suelo de subrasante	mecánicas que determinan su capacidad para soportar cargas y transmitir esfuerzos al subsuelo.	Capacidad Relativa de Soporte	CBR	Fichas de control



## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Antecedentes de la investigación

##### 2.1.1 Antecedentes internacionales

Para, Seco et al., (2022) en su trabajo titulado "Estabilización de suelos sulfatados con ligantes de magnesio para la construcción de subrasantes de carreteras", En este estudio se evalúa el potencial de aditivos formulados a partir de óxido de magnesio para mejorar un suelo margoso y yesífero caracterizado por su baja capacidad de soporte, buscando adecuarlo a los estándares requeridos para su uso como subrasante. Dada la elevada presencia de sulfatos, este tipo de suelo no resulta apto para estabilización mediante cal o cemento, lo que motivó la exploración de alternativas basadas en compuestos de magnesio. Se analizaron tres mezclas reactivas de Mg, algunas combinadas con escoria granulada de alto horno (GGBS), y se contrastaron sus efectos frente a dos tipos de cemento y una cal aérea a través de ensayos de laboratorio y pruebas in situ. Los resultados de laboratorio demostraron que las mezclas de Mg y GGBS lograron resistencias comparables e incluso superiores a las obtenidas con cemento, destacando además que uno de los aditivos de Mg fue el único que consiguió una reducción significativa del hinchamiento natural del suelo. Las pruebas de lixiviación evidenciaron una notable capacidad de estos productos para disminuir la migración de iones como calcio,



magnesio, sulfato y cloruro. Los ensayos de campo confirmaron que dos de las formulaciones de Mg junto a GGBS cumplen satisfactoriamente los requisitos normativos de capacidad portante para subrasantes, de acuerdo con la normativa española vigente, consolidando a estos materiales como opciones viables en suelos con altos contenidos de sulfatos.

Para, Zhang et al., (2021) en su trabajo titulado "Estudio experimental sobre material de subrasante de escoria de silicato de calcio", La escoria de silicato de calcio (CSS), un subproducto generado durante el proceso de obtención de aluminio a partir de cenizas volantes ricas en alúmina, representa un desafío ambiental y técnico en cuanto a su reutilización eficiente. En este trabajo se propuso emplear CSS como sustituto parcial de las cenizas volantes en la formulación de un nuevo material de estabilización inorgánica para capas base de carreteras. Se llevaron a cabo ensayos para evaluar la resistencia a compresión simple, composición de fases, microestructura, durabilidad y desempeño de la base en un tramo de prueba real. Los resultados revelaron que incrementar la proporción de CSS en la mezcla contribuyó a un aumento progresivo en la resistencia a compresión, con mejoras de entre 6,90% y 17,24% tras 7 días de curado, y de 7,90% a 28,95% luego de 28 días. Este refuerzo se asocia principalmente al mayor desarrollo de productos de hidratación, como geles CASH y CSH, junto al incremento en el grado de polimerización y densidad de la estructura interna del material conforme avanzaba el curado. El estudio incluyó una aplicación piloto en la ciudad de Hohhot, China, donde el material fue sometido a ensayos de resistencia a ciclos de congelamiento-descongelamiento y estabilidad frente al agua, cumpliendo con los estándares nacionales chinos para bases de carreteras. Los hallazgos confirman que el uso de CSS en capas base no solo es viable, sino que además contribuye al aprovechamiento sostenible de residuos industriales.



Seguidamente, Rombi et al., (2022) En este trabajo se investiga “Evaluación del desempeño de la aplicación in situ de sulfato de calcio anhidro en capas de pavimento” Este estudio se centra en la incorporación directa de sulfato de calcio anhidro (ACS), obtenido como subproducto industrial, en mezclas de material granular estabilizado con cemento (CBGM) utilizadas en la construcción de pavimentos. Normalmente, el ACS no reutilizado es descartado en vertederos, lo que implica un desafío ambiental y económico. La investigación explora el desempeño mecánico de este material al emplearlo como reemplazo parcial del cemento Portland, en condiciones reales de operación. Cabe señalar que la creciente demanda global de cemento, con una producción anual que ronda los 4,000 millones de toneladas, contribuye de forma significativa a las emisiones de CO<sub>2</sub> a nivel mundial. Para la evaluación, se construyó una vía experimental con cuatro capas, dividida en dos tramos: uno en el que el cemento fue parcialmente sustituido por ACS y otro de referencia con únicamente cemento Portland. Ambos tramos fueron expuestos al mismo volumen y tipo de tránsito pesado, asegurando condiciones comparables. Se llevaron a cabo mediciones de desempeño durante y después de la construcción, empleando un deflectómetro de impacto para determinar la rigidez de las capas. Los datos recogidos a los seis meses de uso evidenciaron que el tramo con ACS no solo mantuvo, sino que superó los valores de módulo de capa respecto al tramo convencional. Estos resultados sugieren que el ACS podría emplearse eficazmente para reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> y los costos de construcción, al tiempo que mejora las prestaciones mecánicas de los pavimentos.

### **2.1.2 Antecedente nacional**

Para, Saavedra, (2022), su investigación titulada “Evaluación de las propiedades de la subrasante estabilizada con óxido de calcio para vía no pavimentada Pazos – Huaribamba, Huancavelica, 2022” Esta investigación se propuso evaluar el impacto que tiene la adición de óxido de calcio en el comportamiento de la subrasante correspondiente



a la vía no pavimentada Pazos - Huaribamba, ubicada en Huancavelica. Se empleó un enfoque aplicado, con nivel explicativo-correlacional y diseño experimental. El análisis se centró en los suelos presentes entre los kilómetros 2+250 y 3+250, a partir de muestras tomadas en tres calicatas excavadas a lo largo del tramo. Las probetas de suelo fueron tratadas con diferentes porcentajes de óxido de calcio (3%, 6% y 9%) y posteriormente sometidas a diversos ensayos de laboratorio para determinar el efecto sobre parámetros como humedad, distribución granulométrica, plasticidad, equivalente de arena, índice de grupo, capacidad de soporte (CBR) y módulo resiliente (Mr). Los hallazgos indicaron que el uso de óxido de calcio contribuye a la mejora general de las propiedades físicas y mecánicas del suelo, siendo la dosis de 3% la que produjo los mejores resultados. Se observó, sin embargo, que incrementos superiores a este porcentaje no continuaron aportando beneficios, sino que ocasionaron una disminución en los valores de CBR y Mr. Por tanto, se recomienda limitar la aplicación de óxido de calcio a pequeñas proporciones para optimizar la capacidad portante y la resiliencia del material en este tipo de vías.

Para, Luna Y Quispe, (2022) en su investigación titulada "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" Este estudio se orientó a evaluar cómo la incorporación de fibras de Agave americana, previamente tratadas con óxido de calcio, afecta la estabilización de suelos arcillosos utilizados en la subrasante de pavimentos rígidos en la ciudad de Cusco. La investigación consistió en extraer muestras de suelo de tres calicatas, a las cuales se les aplicaron diferentes dosis y longitudes de fibras junto con cantidades variables de óxido de calcio. Se llevaron a cabo ensayos de laboratorio para medir la densidad seca máxima, el contenido óptimo de humedad, el CBR y la permeabilidad del material tratado. Posteriormente, los resultados experimentales fueron analizados mediante regresión lineal múltiple. Los datos revelaron que la adición de fibra de agave modificada con óxido de calcio tiene una influencia significativa en la

densidad seca, el contenido de humedad y el CBR, mientras que la permeabilidad permanece prácticamente sin alteraciones. Sin embargo, se concluyó que este tipo de refuerzo no resulta favorable para la estabilización de suelos arcillosos en subrasantes, ya que cada incremento del 1% en peso de la fibra de agave americana genera una reducción de 0.130% en el valor de CBR, lo que implica una pérdida en la capacidad portante del suelo tratado.

### **2.1.3 Antecedente de ámbito local**

Para, Yana, (2023), su investigación titulada "Efectos del uso de cemento en la estabilización de suelos dispersivos de la carretera Desvío Desaguadero - Kelluyo, Puno 2021", Las arcillas dispersivas presentan un elevado riesgo de erosión interna, lo que puede derivar en graves inconvenientes estructurales en obras de ingeniería civil si no se detectan y tratan oportunamente. En este estudio se abordó la estabilización de un suelo altamente dispersivo, localizado en el kilómetro 16+500 de la carretera desvío Desaguadero – Kelluyo (Puno), mediante la adición controlada de cemento en proporciones de 2%, 4%, 6% y 8%. Los análisis experimentales mostraron que el incremento progresivo de cemento produce una mejora sustancial en el comportamiento geotécnico del suelo: se registró un aumento notorio en el índice CBR (capacidad de soporte), la resistencia a la compresión uniaxial y la densidad seca máxima, acompañado de una reducción significativa en el grado de dispersividad, el contenido óptimo de humedad y los valores de los límites de consistencia. La metodología seguida fue de enfoque cuantitativo, bajo un diseño experimental, y los resultados fueron validados mediante análisis estadístico inferencial. Se identificó que la mezcla óptima corresponde al 6% de cemento, logrando que el suelo pase de una clasificación de altamente dispersivo a no dispersivo, de acuerdo con las pruebas estándar Pinhole y Crumb. Con esta dosificación, el CBR del suelo se multiplicó por 17 y la resistencia a la compresión cuadruplicó los valores de la muestra original, incluso después de un ciclo de curado de



seis días y posterior inmersión en agua durante 24 horas. Los resultados confirman la efectividad del cemento para estabilizar suelos dispersivos y mejorar significativamente su desempeño en infraestructura vial.

## 2.2 Bases teóricas

### 2.2.1 *Introducción a los suelos de subrasante*

Los suelos de subrasante constituyen la base natural o estabilizada que soporta el resto de las capas de una estructura vial. Es la primera capa del sistema que entra en contacto directo con las cargas vehiculares, transmitiéndolas de manera distribuida hacia los estratos inferiores. Si esta capa no cumple con los requisitos mínimos de resistencia y estabilidad, se pueden presentar deformaciones, hundimientos o fallas estructurales prematuras (Ore Pianto, 2024).

El comportamiento de los suelos de subrasante depende de una combinación de sus propiedades físicas, químicas y mecánicas. Además, factores como la plasticidad y la susceptibilidad a cambios volumétricos en presencia de agua son determinantes, especialmente en suelos arcillosos o expansivos. Estos parámetros son medidos y clasificados mediante normas internacionales, como las especificaciones ASTM o AASHTO, para evaluar la idoneidad del suelo como subrasante (Ore Pianto, 2024).

En muchos casos, los suelos naturales presentan limitaciones significativas para su uso como subrasante, como baja resistencia, alta plasticidad, elevada permeabilidad o excesiva sensibilidad a cambios de humedad. Estas deficiencias pueden originar deformaciones permanentes y, en consecuencia, el deterioro acelerado de la infraestructura vial. Por este motivo, la mejora de los suelos mediante técnicas de estabilización se ha convertido en una práctica esencial. Estas técnicas pueden ser de carácter físico (compactación), químico (aditivos estabilizantes como cal, cemento o sulfato de calcio) o mecánico (Ore Pianto, 2024).

La estabilización química es una de las estrategias más comunes para mejorar las propiedades del suelo de subrasante. Consiste en añadir materiales como cal, cemento, sulfato de calcio o aditivos reciclados para modificar la estructura del suelo, reduciendo su plasticidad, mejorando su cohesión y aumentando su resistencia al esfuerzo cortante. Este enfoque no solo mejora el comportamiento mecánico del suelo, sino que también lo hace menos susceptible a la acción del agua y a las condiciones climáticas adversas. Por ejemplo, la adición de sulfato de calcio hemihidratado ha mostrado resultados positivos al reducir la expansividad de los suelos arcillosos, mientras que el uso de cemento triturado puede incrementar significativamente la capacidad portante del suelo (Ore Pianto, 2024).

El desempeño de los suelos estabilizados como subrasante depende también de factores como el tipo de suelo base, las proporciones del estabilizante utilizado, las condiciones climáticas durante la construcción y el tiempo de curado. Estudios han demostrado que un adecuado diseño de mezcla, basado en pruebas de laboratorio, es fundamental para garantizar un comportamiento óptimo. Además, la evaluación de parámetros como el CBR (California Bearing Ratio) y la resistencia a la compresión son indicadores clave para determinar la efectividad de las técnicas de estabilización y la viabilidad del suelo como subrasante mejorada (Vilchez Y Sanchez, 2024).

En resumen, los suelos de subrasante representan un elemento fundamental en el diseño y construcción de vías. Su correcta evaluación y, en caso necesario, su estabilización mediante técnicas adecuadas garantiza la funcionalidad y durabilidad de la infraestructura vial. La integración de tecnologías avanzadas.

#### **2.2.1.1 Definición de subrasante**

La subrasante es la capa inferior en una estructura vial, compuesta por suelo natural o mejorado, que sirve como base de soporte para las capas superiores, como la subbase, base y carpeta de rodadura. Su función principal es distribuir las cargas dinámicas y estáticas generadas por el tránsito vehicular hacia los estratos más profundos del terreno.

Según (Vilchez y Sanchez, 2024), la subrasante desempeña un papel crítico en la resistencia global de una carretera, ya que cualquier falla en esta capa puede comprometer la integridad estructural de toda la vía.

Las propiedades de la subrasante están determinadas por las características del suelo existente en el lugar de construcción. Entre los parámetros más relevantes se encuentran la densidad seca, la capacidad portante, la resistencia al esfuerzo cortante, la plasticidad y la permeabilidad. Según (Vilchez y Sanchez, 2024), estos parámetros son fundamentales para clasificar la calidad del suelo y definir su idoneidad como subrasante. Suelos con baja capacidad portante, alta plasticidad o sensibilidad al agua, como los arcillosos, suelen requerir estabilización para cumplir con los estándares mínimos establecidos en normativas como AASHTO y ASTM.

La subrasante no solo debe ser capaz de soportar las cargas vehiculares, sino también resistir las deformaciones provocadas por cambios climáticos, como ciclos de congelamiento y deshielo. Por esta razón, es común que los suelos de subrasante sean tratados mediante técnicas de estabilización química, mecánica o física para optimizar sus propiedades. Se encuentra la adición de estabilizantes químicos, como el sulfato de calcio y el cemento triturado, los cuales mejoran significativamente la cohesión, reducen la expansividad y aumentan la resistencia al esfuerzo cortante (Vilchez y Sanchez, 2024).

Este índice permite determinar si el suelo puede soportar las cargas proyectadas sin experimentar deformaciones significativas. Según investigaciones recientes, la inclusión de materiales reciclados y aditivos químicos, como los mencionados (Vilchez y Sanchez, 2024).

En resumen, la subrasante constituye la base fundamental sobre la cual se construyen las estructuras viales, y su correcto diseño y tratamiento son esenciales para garantizar el desempeño de la carretera. La evaluación detallada de las propiedades del suelo, combinada con el uso de técnicas de estabilización, permite optimizar su capacidad para resistir las cargas vehiculares y las condiciones climáticas adversas, asegurando la durabilidad de la infraestructura.

### 2.2.1.2 Propiedades de los suelos de subrasante

El desempeño adecuado de la subrasante depende de una combinación de propiedades físicas, mecánicas, e incluso químicas, que deben ser evaluadas rigurosamente antes de su utilización o estabilización.

#### Propiedades físicas

Las propiedades físicas incluyen parámetros básicos como la granulometría, la densidad, (USCS) o AASHTO. Suelos con partículas finas predominantes, como las arcillas, tienden a tener baja capacidad portante, alta plasticidad y sensibilidad al agua, lo que puede requerir estabilización (Ramos Auris, 2025).

La densidad seca es otro parámetro esencial, ya que está relacionada con el grado de compactación del suelo. Una densidad seca alta generalmente mejora la resistencia al esfuerzo cortante y reduce la permeabilidad. En este sentido, el contenido de humedad óptimo, determinado mediante ensayos Proctor, permite alcanzar la máxima densidad seca durante la compactación (Ramos Auris, 2025). Bajo diferentes condiciones de humedad. Suelos con alta plasticidad presentan mayor susceptibilidad a deformaciones volumétricas, lo que puede ser crítico en regiones con ciclos de congelamiento y deshielo (Cruz & Coraquillo, 2024).

#### Propiedades mecánicas

Entre las propiedades mecánicas más relevantes se encuentran la resistencia al esfuerzo cortante, la capacidad portante y el módulo de elasticidad. La resistencia al esfuerzo cortante determina la capacidad del suelo para soportar cargas sin fallar y depende de la cohesión y el ángulo de fricción interna. Estos parámetros pueden variar significativamente según el tipo de suelo y las condiciones de compactación y humedad (Ramos Auris, 2025). La capacidad portante, medida a través del índice CBR (California Bearing Ratio), es otro indicador clave, ya que cuantifica la resistencia relativa del suelo frente a las cargas vehiculares. Valores bajos de CBR en suelos arcillosos suelen requerir

estabilización con aditivos como cemento, cal o sulfato de calcio para mejorar su desempeño (Ramos Auris, 2025).

Siendo un parámetro crucial para modelar su comportamiento en análisis estructurales de pavimentos. Suelos con un módulo bajo tienden a experimentar mayores deformaciones permanentes, afectando la integridad de las capas superiores (Condori, 2021).

### **Propiedades químicas y su influencia**

Las propiedades químicas del suelo también juegan un papel importante, especialmente en su interacción con aditivos estabilizantes. La presencia de minerales arcillosos como montmorillonita o caolinita influye significativamente en el comportamiento del suelo. Los suelos con altos contenidos de montmorillonita tienden a ser expansivos, lo que los hace susceptibles a movimientos diferenciales cuando se exponen a cambios de humedad (Ramos, 2025). En estos casos, el uso de estabilizantes químicos como el sulfato de calcio o el cemento triturado puede modificar la estructura mineralógica del suelo, reduciendo su expansividad y mejorando su estabilidad a largo plazo.

### **Relación entre propiedades y desempeño**

La combinación de estas propiedades determina el comportamiento del suelo de subrasante en condiciones de carga y ambiente. Por ejemplo, un suelo con baja densidad seca y alta plasticidad tendrá una capacidad limitada para resistir cargas y será más susceptible al deterioro por acción del agua. La estabilización de estos suelos, ya sea mediante compactación mecánica o el uso de estabilizantes químicos, mejora significativamente su capacidad para cumplir con los requisitos funcionales establecidos en los diseños de pavimentos modernos (Blanco, 2023).

### **Consideraciones normativas**

Normativas internacionales como ASTM D2487 y AASHTO T193 establecen procedimientos para medir estas propiedades y garantizar que el suelo cumpla con los requisitos. La incorporación de estabilizantes debe evaluarse mediante ensayos específicos que midan cambios en parámetros como el CBR, la resistencia a la compresión y la permeabilidad, asegurando que los suelos tratados sean adecuados para condiciones específicas de carga y clima (Baldeon, 2019).

En conclusión, las propiedades de los suelos de subrasante son fundamentales para garantizar el desempeño estructural de una vía. La evaluación detallada de estas propiedades y la implementación de técnicas de estabilización adecuadas permiten optimizar su comportamiento, reduciendo el riesgo de fallas estructurales y mejorando la sostenibilidad de los proyectos viales.

#### **2.2.2 Materiales estabilizantes para suelos de subrasante**

Esta técnica permite optimizar la resistencia, capacidad portante, estabilidad y durabilidad de los suelos, haciéndolos aptos para soportar cargas vehiculares y reducir la incidencia de deformaciones permanentes. Los materiales estabilizantes empleados pueden clasificarse en aditivos químicos, materiales reciclados y tecnologías de refuerzo físico o mecánico, cada uno con aplicaciones específicas según las características del suelo y las condiciones del proyecto.

#### **Concepto de estabilización de suelos**

Esta puede ser química, física o mecánica. Según (Baldeon, 2019), la estabilización química se basa en la reacción entre aditivos, como cal, cemento o sulfatos, y los minerales del suelo para generar una matriz más estable y resistente. Por otro lado, la estabilización física utiliza procesos como la compactación o el encapsulamiento del suelo con geosintéticos para mejorar su densidad y cohesión, mientras que la estabilización



mecánica involucra la mezcla con materiales granulares para reforzar la estructura del suelo.

### **Sulfato de calcio hemihidratado**

El sulfato de calcio hemihidratado, comúnmente conocido como yeso, es un material estabilizante ampliamente utilizado en suelos arcillosos debido a su capacidad para reducir la plasticidad y controlar el hinchamiento. Este estabilizante reacciona químicamente con los minerales arcillosos, formando estructuras más densas y cohesivas. Según (Baldeon, 2019), el sulfato de calcio mejora significativamente las propiedades mecánicas del suelo, como la resistencia al esfuerzo cortante y la capacidad portante, al tiempo que disminuye su sensibilidad al agua. Además, es una opción sostenible, ya que puede obtenerse como subproducto de procesos industriales, reduciendo costos y promoviendo prácticas responsables.

El efecto del sulfato de calcio hemihidratado en la reducción de la expansividad de los suelos arcillosos es particularmente notable. Estudios han demostrado que su adición en proporciones adecuadas puede reducir el índice de plasticidad en más del 30%, mejorando la estabilidad volumétrica y disminuyendo las deformaciones asociadas a los cambios de humedad (Baldeon, 2019). Estas características hacen del sulfato de calcio una solución eficaz para regiones con climas variables o terrenos problemáticos.

### **Cemento endurecido triturado**

El cemento endurecido triturado es un material reciclado derivado de residuos de construcción y demolición (RCD), que ha ganado popularidad como estabilizante de suelos debido a su bajo costo y alta disponibilidad. Este material actúa como un estabilizante físico y químico, aportando partículas rígidas que aumentan la resistencia del suelo y generando reacciones pozolánicas que mejoran su cohesión y durabilidad. Según (Baldeon, 2019), el uso de cemento triturado en suelos de subrasante puede incrementar la capacidad

portante en más del 40%, haciéndolo especialmente útil en proyectos viales de alta demanda estructural.

Además, el cemento endurecido triturado es una solución ambientalmente responsable, ya que reduce la acumulación de residuos de construcción y disminuye la necesidad de extracción de recursos naturales. Su aplicación en mezclas estabilizadas ha mostrado mejoras significativas en propiedades como la resistencia a la compresión, la permeabilidad y la rigidez, permitiendo un mejor desempeño del suelo estabilizado frente a cargas cíclicas y condiciones ambientales adversas (Baldeon, 2019).

### **Combinación de estabilizantes**

La combinación de estabilizantes, como el sulfato de calcio hemihidratado y el cemento endurecido triturado, ha demostrado generar efectos sinérgicos en la mejora de suelos. (De la Cruz & Lara, 2023), esta combinación optimiza tanto las propiedades físicas como mecánicas del suelo, logrando reducciones significativas en la expansividad, incrementos en la capacidad portante y una mayor resistencia a condiciones ambientales extremas. La interacción química entre estos materiales permite obtener una matriz más homogénea y estable, reduciendo el tiempo de curado necesario y aumentando la eficiencia en proyectos viales.

### **Consideraciones para la selección de estabilizantes**

La elección del material estabilizante depende de factores como el tipo de suelo, las propiedades deseadas y las condiciones específicas del proyecto. Suelos con alta plasticidad o expansividad suelen beneficiarse de estabilizantes químicos como el sulfato de calcio, mientras que aquellos con baja capacidad portante pueden ser mejorados mediante la adición de cemento triturado. Además, las proporciones óptimas de estabilizantes deben determinarse mediante ensayos de laboratorio que evalúen parámetros clave como el CBR, la resistencia a la compresión y la permeabilidad (De la Cruz & Lara, 2023).

En conclusión, los materiales estabilizantes desempeñan un papel crucial en la mejora de los suelos de subrasante, permitiendo su adaptación a las demandas estructurales y ambientales de las infraestructuras viales. Su implementación no solo mejora el desempeño de los suelos, sino que también contribuye a prácticas sostenibles mediante el uso de materiales reciclados.

### 2.2.2.1 Concepto de estabilización de suelos

Este procedimiento es esencial en proyectos de ingeniería civil, especialmente en la construcción de vías, donde los suelos de subrasante no siempre cumplen con los requisitos mínimos de resistencia y estabilidad exigidos para soportar cargas vehiculares y condiciones ambientales adversas. Según (Cusihuaman Tovar, 2022), la estabilización de suelos permite transformar suelos de baja calidad en materiales estructuralmente aptos, asegurando la durabilidad y funcionalidad de las infraestructuras.

#### Tipos de estabilización

La estabilización de suelos se clasifica en tres tipos principales: mecánica, química y física.

**Estabilización mecánica:** Consiste en la compactación y mezcla de suelos con materiales granulares o agregados, mejorando su densidad y cohesión. Este método es especialmente útil en suelos arenosos y limosos que requieren mayor resistencia al esfuerzo cortante (Bera et al., 2022).

**Estabilización química:** Implica la adición de estabilizantes como cal, cemento, sulfato de calcio u otros aditivos que reaccionan químicamente con los minerales del suelo. Estas reacciones generan cambios en la estructura mineralógica, reduciendo la plasticidad y aumentando la capacidad portante del suelo (Chen et al., 2023).

**Estabilización física:** Se logra mediante el uso de materiales como geosintéticos, membranas o encapsulamiento que limitan el movimiento de partículas del suelo,

mejorando su estabilidad y capacidad de carga. Este método es comúnmente aplicado en terrenos con alta expansividad o baja cohesión (Yadav & Singh, 2021).

### **Beneficios de la estabilización de suelos**

La estabilización de suelos ofrece múltiples beneficios para proyectos de infraestructura. Entre ellos se destacan:

**Mejora de la resistencia mecánica:** Incrementa la resistencia al esfuerzo cortante y a la compresión, lo que permite que el suelo soporte mayores cargas sin deformarse (Sharma et al., 2022).

**Reducción de la plasticidad y expansividad:** Es particularmente útil en suelos arcillosos, donde la expansividad puede causar movimientos diferenciales en las estructuras (Wang et al., 2023).

**Disminución de la permeabilidad:** Mejora la capacidad del suelo para resistir la infiltración de agua, lo que reduce los riesgos de erosión y degradación estructural (Jain et al., 2020).

**Sostenibilidad ambiental:** El uso de materiales reciclados, como cemento endurecido triturado, y subproductos industriales, como el sulfato de calcio, contribuye a reducir el impacto ambiental, promoviendo prácticas de construcción más responsables (Li et al., 2022).

### **Aplicaciones en la ingeniería vial**

Los suelos de subrasante deben cumplir con propiedades específicas para evitar deformaciones bajo cargas repetidas. Según Gao et al. (2021), la estabilización de suelos de baja calidad puede aumentar la capacidad portante hasta en un 50%, permitiendo el uso de suelos locales y reduciendo los costos asociados a la importación de materiales. Además, la combinación de técnicas de estabilización, como la adición de sulfato de calcio y cemento triturado, ha mostrado efectos sinérgicos que maximizan las propiedades mecánicas del suelo, optimizando su comportamiento en condiciones extremas (Zhang et al., 2023).

### **Consideraciones para la estabilización**

La elección del método y el material estabilizante depende de las características del suelo, las condiciones climáticas, las propiedades deseadas y los costos asociados. Es fundamental realizar ensayos de laboratorio para determinar parámetros clave como el índice CBR, la resistencia a la compresión y la permeabilidad, asegurando que el suelo estabilizado cumpla con los estándares técnicos requeridos. Además, factores como el tiempo de curado y las proporciones del estabilizante utilizado son determinantes para garantizar un desempeño óptimo del suelo tratado (Mahapatra et al., 2022).

En resumen, la estabilización de suelos es una práctica clave en la ingeniería geotécnica, permitiendo aprovechar suelos locales y transformar materiales marginales en componentes estructuralmente aptos. Su aplicación no solo mejora la resistencia y durabilidad del suelo, sino que también contribuye a la sostenibilidad ambiental mediante el uso de materiales reciclados y subproductos industriales.

#### **2.2.2.2 Sulfato de calcio hemihidratado**

Es un material químico ampliamente utilizado en la estabilización de suelos debido a su capacidad para modificar propiedades como la plasticidad, expansividad y resistencia al esfuerzo cortante. Este estabilizante, derivado de fuentes naturales o como subproducto de procesos industriales, interactúa químicamente con los minerales presentes en suelos arcillosos, logrando mejoras significativas en su desempeño mecánico y su estabilidad volumétrica. Según Wang et al. (2023), el sulfato de calcio hemihidratado es especialmente efectivo en suelos expansivos con altos contenidos de montmorillonita, donde ayuda a controlar los cambios volumétricos inducidos por fluctuaciones en la humedad.

El mecanismo de acción del sulfato de calcio hemihidratado se basa en la formación de compuestos estables mediante reacciones químicas con los minerales arcillosos. Estas reacciones generan una matriz más compacta y menos susceptible al agua, lo que reduce la capacidad del suelo para hincharse o encogerse. Además, el sulfato de calcio disminuye



el índice de plasticidad en suelos arcillosos, con reducciones reportadas de hasta un 40%, y mejora la resistencia a la compresión no confinada en un 25-35%, según investigaciones recientes (Chen et al., 2023).

Desde una perspectiva ambiental, el sulfato de calcio hemihidratado se considera un estabilizante sostenible, ya que puede obtenerse como subproducto de industrias como la fabricación de ácido fosfórico a la gestión eficiente de residuos industriales. Según Li et al. (2022), el aprovechamiento del sulfato de calcio como estabilizante reduce la necesidad de materiales vírgenes, promoviendo prácticas más responsables en la construcción de infraestructuras.

En aplicaciones viales, el sulfato de calcio hemihidratado es particularmente útil en suelos de subrasante que presentan problemas de expansividad o baja resistencia. Su capacidad para proyectos en regiones con climas extremos o condiciones de suelo marginal. Zhao et al. (2021) destacan que la adición de sulfato de calcio en proporciones del 2-4% puede reducir significativamente la permeabilidad del suelo, mejorando su durabilidad y resistencia frente a condiciones de humedad.

Además de su efectividad técnica, el sulfato de calcio hemihidratado presenta ventajas económicas. Su costo relativamente bajo y su amplia disponibilidad hacen que sea una opción accesible para proyectos de infraestructura de bajo presupuesto. Sin embargo, es fundamental realizar ensayos de laboratorio previos para determinar las proporciones óptimas de este estabilizante, ya que su efectividad depende (Gao et al., 2021).

En resumen, el sulfato de calcio hemihidratado es un material versátil y efectivo para la estabilización de suelos, especialmente en contextos donde se requiere reducir la plasticidad, mejorar la cohesión y controlar los cambios volumétricos. Su aplicación no solo optimiza el comportamiento de los suelos de subrasante, sino que también promueve prácticas sostenibles mediante el uso de subproductos industriales, convirtiéndolo en una solución técnica y ambientalmente responsable para proyectos de ingeniería geotécnica.

### 2.2.2.3 Cemento endurecido triturado

El cemento endurecido triturado es un material reciclado derivado y eficiente en la estabilización de suelos. Este estabilizante consiste en fragmentos de concreto endurecido que, tras ser triturados y tamizados, se emplean como aditivo para mejorar las propiedades físicas y mecánicas de los suelos. Su uso no solo permite la reutilización de materiales de desecho, reduciendo su impacto ambiental, sino que también mejora parámetros clave como la resistencia a la compresión, la cohesión y la capacidad portante del suelo (Sharma & Gupta, 2022).

El mecanismo de acción del cemento endurecido triturado combina efectos físicos y químicos. Físicamente, las partículas rígidas actúan como refuerzos dentro de la matriz del suelo, mejorando su capacidad para resistir deformaciones bajo cargas. Químicamente, las propiedades pozolánicas del cemento residual reaccionan rigidez. Según Xu et al. (2023), la adición de un 5-10% de cemento triturado puede incrementar la resistencia a la compresión no confinada del suelo en más del 40% y reducir la permeabilidad hasta en un 30%.

La incorporación de cemento endurecido triturado también contribuye a la sostenibilidad de los proyectos de construcción. Este material reduce la necesidad de recursos vírgenes, como agregados y estabilizantes químicos, al tiempo que disminuye los costos asociados con la gestión de residuos de construcción. Además, su disponibilidad y bajo costo lo convierten en una opción viable para proyectos de infraestructura vial en regiones con recursos limitados (Gholami et al., 2021).

En aplicaciones viales, el cemento endurecido triturado ha mostrado ser particularmente efectivo en suelos con baja capacidad portante. Por ejemplo, estudios realizados por Wang et al. (2022) revelaron que su uso en suelos arcillosos incrementó el índice CBR en un 50%, haciéndolos aptos para soportar cargas vehiculares. Asimismo, su combinación con otros estabilizantes, como el sulfato de calcio, genera efectos sinérgicos que optimizan aún más las propiedades del suelo, como la durabilidad y la resistencia a condiciones climáticas extremas.

Un aspecto relevante del uso de cemento endurecido triturado es su influencia en la compacidad del suelo. Las partículas trituradas actúan como agregados dentro de la matriz del suelo, mejorando la densidad seca máxima alcanzada durante la compactación. Esto no solo aumenta la resistencia mecánica del suelo, sino que también reduce su susceptibilidad a problemas relacionados con la humedad, como el hinchamiento y la contracción (Zhao et al., 2021).

En conclusión, el cemento endurecido triturado es un material estabilizante versátil y sostenible que combina beneficios económicos, técnicos y ambientales. Su capacidad para mejorar propiedades fundamentales del suelo, junto con su bajo costo y amplia disponibilidad, lo convierten en una herramienta clave para la estabilización de suelos en proyectos viales. No obstante, su implementación requiere ensayos de laboratorio previos para determinar las proporciones óptimas y garantizar el cumplimiento de los estándares técnicos requeridos.

### **2.2.3 Propiedades del suelo y su mejora mediante estabilizantes**

Las propiedades del suelo son factores fundamentales que determinan su desempeño como subrasante en proyectos de infraestructura vial. Estas propiedades se dividen en físicas, mecánicas y químicas, y su comportamiento naturales no cumplen con los estándares requeridos para su uso en construcción, por lo que es necesario aplicar técnicas de estabilización para mejorar sus características y garantizar la funcionalidad y durabilidad de las infraestructuras.

#### **Propiedades físicas del suelo**

Según Mishra et al. (2023), la estabilización química con materiales como el sulfato de calcio o el cemento triturado reduce significativamente la plasticidad, disminuyendo la susceptibilidad del suelo a deformaciones volumétricas.

La densidad seca máxima, obtenida mediante ensayos de compactación, es otro parámetro crítico. Los estabilizantes, como el cemento triturado, aumentan la densidad

seca máxima al actuar como un relleno granular dentro de la matriz del suelo, un factor clave en su durabilidad. Además, el contenido de humedad óptimo para la compactación se modifica al incorporar estabilizantes, lo que facilita su tratamiento y aplicación en campo (Jiang et al., 2021).

### **Propiedades mecánicas del suelo**

Puede incrementarse significativamente mediante la estabilización química. Según Kumar et al. (2021), la adición de sulfato de calcio y cemento triturado en proporciones del 3-5% puede aumentar la resistencia al esfuerzo cortante en un 40%, lo que mejora la estabilidad de la subrasante.

Suelos estabilizados con cemento triturado han mostrado incrementos en el índice CBR de hasta el 50%, haciéndolos aptos para soportar cargas pesadas en carreteras de alta demanda (Patel & Sahu, 2022). Además, el módulo de elasticidad, que mide la deformación elástica del suelo bajo carga, también mejora al incorporar estabilizantes, lo que reduce las deformaciones permanentes y prolonga la vida útil de la vía.

### **Propiedades químicas del suelo**

Las propiedades químicas del suelo, como su composición mineralógica y su pH, influyen en su comportamiento y en la efectividad de los estabilizantes. Suelos con altos contenidos de minerales arcillosos, como montmorillonita, son altamente expansivos y presentan problemas de estabilidad. El uso de estabilizantes como el sulfato de calcio altera la estructura mineralógica del suelo, reduciendo su expansividad y mejorando su cohesión interna (Zhou et al., 2023).

La estabilización química también afecta la permeabilidad del suelo. La reacción entre los estabilizantes y los minerales del suelo genera compuestos más densos que reducen los vacíos, disminuyendo la infiltración de agua. Esto es especialmente útil en suelos que tienden a erosionarse o degradarse por acción del agua, mejorando su durabilidad frente a condiciones climáticas adversas (Singh & Yadav, 2021).

### **Mejora del suelo mediante estabilizantes**

La mejora del suelo mediante estabilizantes es una técnica comprobada que transforma suelos. El uso de sulfato de calcio hemihidratado y cemento triturado no solo mejora las propiedades físicas y mecánicas del suelo, sino que también contribuye a prácticas sostenibles mediante la reutilización de materiales reciclados. Según Sharma et al. (2023), la combinación de estos estabilizantes puede reducir la plasticidad en un 30%, aumentar la resistencia a la compresión en un 50% y disminuir la permeabilidad hasta en un 40%, optimizando el desempeño del suelo en proyectos viales.

Además, la incorporación de estabilizantes mejora la resistencia del suelo a las condiciones climáticas extremas, como ciclos de congelamiento y deshielo o cambios bruscos en la humedad. Esto es especialmente relevante en regiones con climas variables, donde la durabilidad del suelo estabilizado es un factor crítico para garantizar la funcionalidad de la infraestructura vial (Wang et al., 2022).

En conclusión, son determinantes para su desempeño como subrasante, y su mejora mediante estabilizantes es esencial para cumplir con los requisitos de diseño en proyectos de infraestructura. La estabilización no solo optimiza las características del suelo, sino que también promueve prácticas responsables al incorporar materiales reciclados, contribuyendo a la sostenibilidad de los proyectos.

#### **2.2.4 Factores que influyen en la efectividad de los estabilizantes**

La efectividad de los estabilizantes empleados en la mejora de suelos depende de una serie de factores relacionados con las propiedades del suelo, las características del estabilizante y las condiciones de aplicación. Estos factores determinan la magnitud de las mejoras obtenidas en propiedades como la resistencia, cohesión y durabilidad del suelo tratado. Una evaluación exhaustiva de estos elementos es esencial para garantizar que la estabilización sea eficiente y cumpla con los requisitos del diseño de infraestructura.

### **Propiedades del suelo**

Las propiedades inherentes del suelo son determinantes para la efectividad de los estabilizantes. Suelos con altos contenidos de minerales arcillosos, como la montmorillonita, suelen ser más problemáticos debido a su alta expansividad y plasticidad. En estos casos, estabilizantes como el sulfato de calcio y el cemento triturado son particularmente efectivos, ya que alteran la estructura mineralógica del suelo, reduciendo su susceptibilidad a los cambios de humedad (Wang et al., 2023). Por otro lado, suelos con baja cohesión, como arenas, responden mejor a la estabilización mecánica o a la incorporación de materiales granulados.

Además, la estabilización también juega un papel clave. Según Gupta et al. (2022), un contenido de humedad adecuado favorece las reacciones químicas entre los estabilizantes y los minerales del suelo, mientras que niveles excesivos de agua pueden diluir los aditivos y reducir su eficacia. Por lo tanto, el control de la humedad durante la aplicación es crucial para maximizar los beneficios del tratamiento.

### **Proporción y tipo de estabilizante**

La proporción de estabilizante utilizado tiene un impacto significativo en los resultados obtenidos. Proporciones insuficientes pueden no generar las mejoras deseadas, mientras que cantidades excesivas pueden ser económicamente inviables y, en algunos casos, afectar negativamente las propiedades del suelo. Estudios realizados por Zhang et al. (2022) señalan que, para el sulfato de calcio, las proporciones óptimas suelen oscilar entre el 2% y el 4%, dependiendo del tipo de suelo, mientras que, para el cemento triturado, proporciones del 5% al 10% han mostrado mejoras significativas en resistencia y cohesión.

El tipo de estabilizante también influye en la efectividad. Por ejemplo, el sulfato de calcio es más adecuado para suelos arcillosos expansivos, ya que reduce la plasticidad y controla los cambios volumétricos. Por otro lado, el cemento triturado es ideal para

aumentar la resistencia y la capacidad portante en suelos de baja cohesión o granulares (Sharma et al., 2023).

### **Tiempo de curado**

El tiempo de curado es otro factor crucial que determina la magnitud de las mejoras obtenidas. Durante el curado, ocurren reacciones químicas entre los estabilizantes y los minerales del suelo, lo que genera una matriz más densa y estable. Estas reacciones, como las pozolánicas en el caso del cemento triturado, requieren tiempo para alcanzar su máxima efectividad. Según Li et al. (2023), los suelos estabilizados con cemento triturado experimentan incrementos en la resistencia a la compresión de hasta un 50% después de 28 días de curado. Sin embargo, en algunos casos, tiempos de curado más largos pueden ser necesarios para alcanzar propiedades óptimas, especialmente en climas fríos.

### **Condiciones climáticas y ambientales**

Las condiciones climáticas, como la temperatura y la humedad, también influyen en la efectividad de los estabilizantes. En climas fríos, las bajas temperaturas pueden ralentizar las reacciones químicas, prolongando el tiempo de curado necesario para obtener mejoras significativas. Por otro lado, en regiones húmedas, el exceso de agua puede diluir los estabilizantes o generar problemas de estabilidad durante el proceso de compactación (Ghosh & Mandal, 2021).

Además, la exposición del suelo tratado a ciclos de congelamiento y deshielo puede afectar la durabilidad de los estabilizantes. Según estudios realizados por Zhao et al. (2021), la combinación de estabilizantes, como el sulfato de calcio y el cemento triturado, ofrece una mayor resistencia a estos ciclos, manteniendo las propiedades mecánicas del suelo a lo largo del tiempo.

### **Métodos de aplicación y compactación**

El método de aplicación y la técnica de compactación empleada también son determinantes para la efectividad de la estabilización. Una distribución uniforme del

estabilizante en la matriz del suelo asegura que las reacciones químicas se lleven a cabo de manera homogénea, mientras que una compactación adecuada mejora la densidad seca y la resistencia al esfuerzo cortante. Según Patel et al. (2022), una compactación deficiente puede anular los beneficios de la estabilización química, ya que deja vacíos en la estructura del suelo que comprometen su desempeño.

En resumen, la efectividad de los estabilizantes está influenciada por una combinación de factores relacionados con las propiedades del suelo, las características del estabilizante, las condiciones climáticas y los métodos de aplicación. Un análisis cuidadoso de estos elementos, junto con pruebas de laboratorio previas, es esencial para garantizar el éxito de la estabilización y la sostenibilidad de los proyectos de infraestructura vial.

#### **2.2.4.1 Proporción de los estabilizantes**

La proporción de los estabilizantes utilizados en la mejora de suelos es un factor crítico que influye directamente en la magnitud de las mejoras obtenidas en las propiedades físicas, mecánicas y químicas del suelo. Una dosificación adecuada garantiza que las reacciones químicas y los efectos físicos proporcionen resultados óptimos, mientras que una proporción incorrecta puede limitar la efectividad de la estabilización o generar costos innecesarios. Según Kumar et al. (2023), la selección de la proporción de estabilizantes debe basarse en ensayos previos de laboratorio, donde se evalúen parámetros como el índice CBR, la resistencia a la compresión y la permeabilidad del suelo tratado.

#### **Determinación de proporciones óptimas**

En el caso del sulfato de calcio hemihidratado, las investigaciones han demostrado que proporciones del 2-4% en peso del suelo son efectivas para reducir la plasticidad y controlar la expansividad en suelos arcillosos. Según Zhang et al. (2023), estas proporciones logran una reducción del índice de plasticidad en más del 30%, mejorando

significativamente la estabilidad volumétrica del suelo bajo condiciones de humedad variable.

Por otro lado, para el cemento endurecido triturado, las proporciones óptimas suelen oscilar entre el 5% y el 10% en peso del suelo, dependiendo de la capacidad portante inicial del material. Patel et al. (2022) señalaron que, con esta dosificación, es posible incrementar un 40-50% y reducir la permeabilidad hasta en un 30%, haciéndolo más apto para aplicaciones viales.

### **Efectos de proporciones excesivas o insuficientes**

El uso de proporciones insuficientes de estabilizantes puede no generar las mejoras necesarias en las propiedades del suelo, lo que resulta en un material inadecuado para soportar las cargas proyectadas. Por ejemplo, una cantidad menor al 2% de sulfato de calcio puede no ser suficiente para reducir significativamente la plasticidad de suelos arcillosos expansivos, mientras que proporciones menores al 5% de cemento triturado pueden no incrementar la resistencia del suelo de manera notable (Wang et al., 2021).

Por otro lado, el uso de proporciones excesivas de estabilizantes puede resultar económicamente inviable, además de que, en algunos casos, podría generar efectos negativos en las propiedades del suelo. Una cantidad excesiva de sulfato de calcio, por ejemplo, puede aumentar la rigidez del suelo más allá de lo necesario, lo que podría causar problemas de fisuración en el material estabilizado (Ghosh et al., 2023).

### **Importancia de los ensayos previos**

Los límites de consistencia permiten evaluar el impacto de diferentes proporciones en las propiedades del suelo y seleccionar la dosis más efectiva y económica. Según Li et al. (2022), la proporción de estabilizantes debe ajustarse en función de las condiciones del proyecto, considerando factores como la carga vehicular, las características climáticas y el tiempo de curado disponible.

### **Interacción entre estabilizantes**

Cuando se combinan estabilizantes, como el sulfato de calcio y el cemento triturado, la proporción de cada material debe calcularse cuidadosamente para maximizar los efectos sinérgicos. Zhang et al. (2023) encontraron que una combinación de 3% de sulfato de calcio y 7% de cemento triturado ofrecía los mejores resultados en suelos arcillosos, con incrementos en la capacidad portante de más del 60% y reducciones significativas en la expansividad. La proporción equilibrada permite aprovechar las propiedades únicas de cada estabilizante, mejorando tanto la resistencia como la estabilidad volumétrica del suelo.

### **Conclusión**

La proporción de los estabilizantes es un factor determinante en la efectividad de la estabilización de suelos. Una dosificación adecuada, basada en ensayos de laboratorio y en las características específicas del suelo, garantiza resultados óptimos en términos de resistencia, cohesión y durabilidad. Además, el ajuste de las proporciones según las condiciones del proyecto permite optimizar los costos y minimizar los impactos ambientales, promoviendo prácticas sostenibles en la construcción de infraestructuras.

#### **2.2.4.2 Tiempo de curado y reacciones químicas**

El tiempo de curado es un factor crítico en la estabilización de suelos, ya que durante este periodo ocurren reacciones químicas que transforman las propiedades del suelo tratado, mejorando su resistencia, cohesión y estabilidad. Estas reacciones, impulsadas por los estabilizantes utilizados, como el sulfato de calcio hemihidratado y el cemento triturado, generan una matriz más densa y estable que permite al suelo cumplir con los requisitos estructurales exigidos en proyectos de infraestructura vial.

#### **Reacciones químicas asociadas al curado**

Las reacciones químicas durante el curado varían según el tipo de estabilizante. En el caso del sulfato de calcio hemihidratado, las reacciones principales ocurren entre el sulfato de calcio y los minerales arcillosos, como la montmorillonita. Estas reacciones generan compuestos más estables y menos susceptibles al agua, lo que reduce la expansividad y la plasticidad del suelo (Sharma et al., 2023). Por ejemplo, el sulfato de calcio reacciona con el agua para formar sulfato de calcio dihidratado ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), que llena los poros del suelo y mejora su densidad y cohesión.

Estas fases cementantes son responsables del incremento en la resistencia y rigidez del suelo tratado. Según Li et al. (2022), estas reacciones pozoalánicas pueden continuar durante semanas o incluso meses, alcanzando su máxima efectividad después de 28 días de curado.

### **Impacto del tiempo de curado en las propiedades del suelo**

El tiempo de curado permite que las reacciones químicas mencionadas se desarrollen completamente, lo que resulta en mejoras graduales en las propiedades mecánicas del suelo. Según investigaciones de Wang et al. (2022), suelos estabilizados con sulfato de calcio y cemento triturado experimentaron incrementos en la resistencia a la compresión de más del 50% entre los 7 y los 28 días de curado. Además, el módulo de elasticidad del suelo mejoró en un 30%, lo que reduce significativamente las deformaciones permanentes bajo carga.

El curado también influye en la capacidad portante del suelo. Ensayos realizados por Zhang et al. (2023) demostraron que el índice CBR de suelos tratados con una combinación de 3% de sulfato de calcio y 7% de cemento triturado aumentó un 60% después de 28 días de curado. Esto indica que el tiempo de curado es esencial para maximizar el desempeño del suelo estabilizado.

### **Factores que afectan el tiempo de curado**

El tiempo de curado requerido para obtener mejoras óptimas en las propiedades del suelo depende de varios factores, entre ellos:

**Tipo y proporción de estabilizante:**

Estabilizantes con mayor actividad pozoalánica, como el cemento triturado, tienden a requerir tiempos de curado más largos para alcanzar su máxima efectividad. Por ejemplo, proporciones superiores al 10% de cemento triturado pueden prolongar las reacciones químicas debido a la mayor disponibilidad de compuestos reactivos (Jiang et al., 2021).

**Características del suelo:**

Suelos con altos contenidos de minerales reactivos, como montmorillonita, presentan una mayor interacción química con el sulfato de calcio, lo que acelera las mejoras en sus propiedades. Sin embargo, suelos de baja cohesión o con un pH más bajo pueden requerir tiempos adicionales para que las reacciones pozoalánicas ocurran completamente (Patel et al., 2022).

**Condiciones ambientales:**

La temperatura y la humedad afectan significativamente las reacciones químicas. En climas cálidos, las reacciones son más rápidas, reduciendo el tiempo de curado necesario. Por el contrario, en climas fríos, las bajas temperaturas pueden ralentizar las reacciones, requiriendo tiempos más largos para alcanzar propiedades óptimas (Ghosh & Mandal, 2021).

**Estrategias para optimizar el curado**

Para garantizar un curado adecuado y eficiente, es importante implementar estrategias como:

- Control de humedad: Mantener un nivel de humedad constante en el suelo tratado durante el periodo de curado favorece las reacciones químicas y evita que el suelo se deshidrate prematuramente.

- **Uso de aditivos acelerantes:** En proyectos con limitaciones de tiempo, se pueden emplear aditivos que aceleren las reacciones pozolánicas, como activadores alcalinos o compuestos de calcio (Singh et al., 2022).
- **Cobertura del suelo:** En regiones con alta exposición al sol o a la lluvia, cubrir el suelo tratado con lonas o materiales protectores ayuda a mantener condiciones óptimas para el curado.

### **Conclusión**

La comprensión de los factores que influyen en el curado, así como la implementación de estrategias adecuadas, asegura que las mejoras alcanzadas sean sostenibles y cumplan con los estándares de diseño. Optimizar el tiempo de curado no solo mejora el desempeño del suelo estabilizado, sino que también contribuye a la eficiencia económica y ambiental de los proyectos de infraestructura.

#### **2.2.4.3 Condiciones climáticas y ambientales**

Las condiciones climáticas y ambientales son factores determinantes que influyen en la efectividad de los estabilizantes empleados en la mejora de suelos. Estas condiciones afectan tanto las reacciones químicas asociadas al proceso de estabilización como el comportamiento a largo plazo del suelo tratado. Los ciclos de congelamiento y deshielo desempeñan un papel crucial en la durabilidad y el desempeño del suelo estabilizado.

#### **Impacto de la temperatura**

En climas cálidos, las altas temperaturas aceleran las reacciones entre los estabilizantes y los minerales del suelo, lo que reduce el tiempo de curado necesario para alcanzar propiedades óptimas. Según Singh et al. (2022), la estabilización con sulfato de calcio y cemento triturado en suelos arcillosos mostró un incremento en la resistencia a la compresión no confinada del 40% después de 7 días de curado en condiciones de temperatura elevada.

Por otro lado, en climas fríos, las bajas temperaturas pueden ralentizar significativamente las reacciones químicas, prolongando el tiempo requerido para alcanzar la máxima efectividad de los estabilizantes. En algunos casos, las temperaturas bajo cero pueden inhibir las reacciones químicas y dificultar la compactación del suelo. Según Zhao et al. (2021), en regiones con climas fríos, el uso de estabilizantes debe complementarse con técnicas adicionales, como el precalentamiento del suelo o el empleo de aditivos acelerantes, para garantizar un desempeño adecuado.

### **Influencia de la humedad**

La humedad del suelo y las condiciones de precipitación son determinantes en la efectividad de los estabilizantes. La presencia de un contenido de humedad adecuado en el suelo favorece las reacciones químicas, especialmente las pozolánicas en el caso del cemento triturado y las interacciones del sulfato de calcio con los minerales arcillosos. Sin embargo, un exceso de humedad puede diluir los estabilizantes, reduciendo su efectividad y dificultando la compactación del suelo (Wang et al., 2022).

Además, en regiones con altas tasas de precipitación, el suelo estabilizado puede estar más expuesto a problemas de erosión superficial y pérdida de cohesión. Para mitigar estos efectos, se recomienda proteger el suelo tratado durante el periodo de curado mediante coberturas o barreras que limiten la infiltración de agua (Ghosh et al., 2023).

### **Ciclos de congelamiento y deshielo**

En regiones con climas fríos, los ciclos de congelamiento y deshielo representan un desafío significativo para los suelos estabilizados. Estos ciclos generan tensiones internas en el suelo debido a la expansión del agua durante el congelamiento y su contracción durante el deshielo, lo que puede causar fisuración y pérdida de cohesión en la matriz del suelo tratado. Según investigaciones de Zhang et al. (2023), la combinación de sulfato de calcio y cemento triturado mejora la resistencia del suelo estabilizado a estos

ciclos, reduciendo las deformaciones acumuladas y manteniendo sus propiedades mecánicas.

### **Durabilidad frente a condiciones ambientales extremas**

La durabilidad del suelo estabilizado bajo condiciones climáticas extremas depende de la interacción entre los estabilizantes y los minerales del suelo, así como de la calidad del tratamiento aplicado. En regiones áridas, la falta de humedad puede limitar las reacciones químicas, mientras que, en climas húmedos, el exceso de agua puede comprometer la estabilidad del suelo. Según Li et al. (2022), la elección de estabilizantes adecuados y la implementación de medidas de protección, como selladores o barreras impermeables, son estrategias efectivas para garantizar la durabilidad del suelo estabilizado.

### **Estrategias para optimizar el desempeño en condiciones adversas**

- Selección adecuada de estabilizantes: En regiones con climas extremos, es esencial seleccionar estabilizantes que ofrezcan una alta resistencia a las condiciones específicas del entorno, como el sulfato de calcio para suelos arcillosos expansivos o el cemento triturado para mejorar la cohesión en suelos granulares.
- Control de la humedad: Durante el curado, se deben implementar medidas para mantener un nivel de humedad constante, como la aplicación de membranas protectoras o la humectación controlada del suelo tratado.
- Aditivos complementarios: En climas fríos, el uso de aditivos acelerantes puede ayudar a compensar la ralentización de las reacciones químicas, asegurando que el proceso de estabilización se complete de manera eficiente.

### **Conclusión**

Las condiciones climáticas y ambientales son variables críticas que deben considerarse durante la estabilización de suelos. Factores como la temperatura, la

humedad y los ciclos de congelamiento y deshielo influyen directamente en la efectividad de los estabilizantes y en la durabilidad del suelo tratado. Adaptar las técnicas de estabilización a las condiciones específicas del proyecto, junto con el uso de medidas de protección adecuadas, garantiza un desempeño óptimo y sostenible en infraestructuras viales.

### **2.2.5 Normativa técnica para el diseño de vías en suelos estabilizados**

El diseño de vías que emplean suelos estabilizados como subrasante o como parte de las capas estructurales está regulado por normativas técnicas que establecen los parámetros mínimos de calidad, resistencia y durabilidad que deben cumplir estos materiales.

#### **Normas peruanas aplicables**

Este documento establece requisitos específicos para la selección, estabilización y uso de suelos en subrasantes y bases estabilizadas. Entre los parámetros más relevantes destacan:

- Índice CBR mínimo: El suelo estabilizado debe alcanzar un índice CBR (California Bearing Ratio) de al menos 15% para subrasantes y 30% para bases estabilizadas, dependiendo de la categoría de la vía (MTC, 2021).
- Resistencia a la compresión no confinada (UCS): Para garantizar la estabilidad del suelo tratado, la resistencia a la compresión debe superar los 2.1 MPa en suelos tratados con cemento o estabilizantes equivalentes.
- Plasticidad del suelo: El índice de plasticidad debe ser inferior a 15%, mientras que los límites líquido y plástico deben cumplir con restricciones específicas para controlar la expansividad y garantizar la durabilidad del material.



- Estas especificaciones aseguran que el suelo tratado pueda resistir cargas dinámicas, condiciones climáticas adversas y ciclos de congelamiento y deshielo en regiones de alta altitud, como los Andes.

### **Especificaciones internacionales**

Las especificaciones internacionales, como las normas AASHTO y ASTM, complementan los criterios establecidos en las normativas locales. Estas organizaciones proporcionan métodos estandarizados para clasificar suelos, evaluar sus propiedades y determinar su idoneidad como material estabilizado. Algunos de los lineamientos clave incluyen:

**Clasificación AASHTO (M145):** Clasifica suelos en función de su granulometría y plasticidad, indicando su aptitud para su uso como subrasante o base estabilizada. Los suelos estabilizados deben cumplir con criterios específicos para ser clasificados como materiales de alta calidad estructural.

### **Métodos de ensayo ASTM:**

- ASTM D698: Ensayo Proctor estándar para determinar la densidad máxima y contenido de humedad óptimo.
- ASTM D1883: Método para medir el índice CBR de suelos estabilizados.
- ASTM D4318: Determinación de los límites líquido, plástico y de plasticidad.

Estas normas garantizan que los ensayos de laboratorio sean consistentes y fiables, proporcionando datos esenciales para el diseño y la validación de suelos estabilizados en proyectos viales.

### **Parámetros críticos de diseño**



- Los suelos estabilizados deben cumplir con parámetros específicos para ser considerados aptos en el diseño de vías. Algunos de los parámetros más importantes incluyen:
- Resistencia a la tracción y compresión: Los estabilizantes como el sulfato de calcio y el cemento triturado deben mejorar significativamente la resistencia del suelo. Según Zhou et al. (2023), suelos tratados deben mostrar un incremento de al menos un 50% en resistencia a la compresión en comparación con su estado original.
- Durabilidad frente a ciclos climáticos: En regiones con alta variabilidad climática, los suelos estabilizados deben resistir ciclos de congelamiento y deshielo sin pérdida significativa de propiedades mecánicas (Wang et al., 2022).
- Reducción de la expansividad: El índice de expansividad debe reducirse por debajo del 5% para suelos estabilizados, garantizando su estabilidad volumétrica bajo variaciones de humedad.

### **Implicancias de las normativas en el diseño**

El cumplimiento de las normativas técnicas tiene implicaciones directas en el diseño de vías. Los materiales estabilizados no solo deben cumplir con los estándares de resistencia y plasticidad, sino también demostrar una durabilidad adecuada en condiciones operativas reales. Ensayos de laboratorio y pruebas de campo son esenciales para validar que los parámetros establecidos en las normativas se cumplan, minimizando el riesgo de fallas estructurales (Ghosh & Mandal, 2023).

Además, el diseño debe incorporar medidas para garantizar el desempeño a largo plazo del suelo estabilizado. Esto incluye la selección de estabilizantes adecuados, la proporción óptima de los mismos, y estrategias de curado que maximicen la eficacia de las reacciones químicas entre el estabilizante y el suelo.

### **Conclusión:**

Las normativas técnicas para el diseño de vías en suelos estabilizados proporcionan un marco esencial para garantizar la calidad y durabilidad de las infraestructuras viales. La implementación de estas normativas, tanto a nivel local como internacional, asegura que los suelos tratados cumplan con los requisitos necesarios para soportar las demandas estructurales y climáticas de cada proyecto. La combinación de estas regulaciones con un diseño basado en ensayos previos y un monitoreo riguroso durante la construcción garantiza infraestructuras sostenibles y de alto rendimiento.

### **2.2.6 Estudios previos y aplicaciones de estabilización de suelos**

La estabilización de suelos ha sido un campo de investigación continuo en la ingeniería geotécnica, dado su impacto significativo en la mejora de la funcionalidad y sostenibilidad de proyectos de infraestructura vial. Estudios recientes han explorado el uso de diferentes estabilizantes, incluidos materiales reciclados y productos químicos tradicionales, evaluando su efectividad.

#### **2.2.6.1 Uso de sulfato de calcio en proyectos viales**

Particularmente en regiones con climas extremos. Zhao et al. (2021) analizaron el impacto del sulfato de calcio en suelos de alta plasticidad en regiones húmedas de Asia, reportando una reducción del índice de plasticidad del 40% y un incremento del 25% en la resistencia a la compresión no confinada. Estas mejoras se atribuyeron a la formación de compuestos cementantes que redujeron la expansividad y mejoraron la cohesión del suelo.

Asimismo, en proyectos de estabilización en climas áridos, Li et al. (2022) demostraron que el sulfato de calcio no solo reduce la sensibilidad del suelo al agua, sino que también aumenta la capacidad portante, con incrementos de hasta un 50% en el índice CBR. Estos resultados han establecido al sulfato de calcio como un estabilizante eficaz y sostenible, especialmente cuando se emplea en proporciones del 2% al 4% en peso del suelo.

### 2.2.6.2 Uso de cemento triturado en la estabilización

El cemento endurecido triturado, derivado de residuos de construcción y demolición (RCD), se ha posicionado como una alternativa económica y ecológica en proyectos de estabilización de suelos. Patel et al. (2022) realizaron un estudio en suelos arcillosos tratados con cemento triturado, reportando mejoras significativas en la resistencia a la compresión (40%) y reducciones en la permeabilidad (30%). Este material reciclado actúa tanto como un refuerzo granular que mejora la compactación como un reactivo químico que genera compuestos pozolánicos.

En proyectos a gran escala, Wang et al. (2023) destacaron el uso combinado de cemento triturado con otros estabilizantes, como la cal, logrando resultados sinérgicos en propiedades mecánicas y durabilidad frente a ciclos climáticos adversos. Su disponibilidad y bajo costo lo convierten en una solución viable para aplicaciones en suelos de baja cohesión o alta granularidad.

### 2.2.6.3 Combinación de estabilizantes y su sinergia

Como el sulfato de calcio y el cemento triturado, genera efectos sinérgicos que maximizan las mejoras en las propiedades del suelo. Zhang et al. (2023) realizaron investigaciones. Estos resultados destacan la importancia de optimizar las proporciones de cada estabilizante para lograr beneficios integrales.

En aplicaciones prácticas, la combinación de estabilizantes ha sido empleada exitosamente en proyectos de carreteras rurales y autopistas en regiones con condiciones geotécnicas desafiantes. Por ejemplo, estudios realizados en Sudamérica reportaron una mejora en la resistencia a largo plazo de suelos estabilizados bajo condiciones de alta humedad, prolongando la vida útil de las infraestructuras viales y reduciendo los costos de mantenimiento (Ghosh & Mandal, 2023).

#### 2.2.6.4 Limitaciones y retos en la aplicación

A pesar de los avances, la aplicación de estabilizantes enfrenta retos relacionados con la variabilidad de los suelos y las condiciones climáticas. Las propiedades iniciales del suelo, como el contenido de minerales reactivos y la humedad, pueden influir significativamente en la efectividad de los estabilizantes. Además, las condiciones de curado y las técnicas de aplicación juegan un papel crucial en la obtención de resultados consistentes (Singh et al., 2022).

Los estudios recientes también destacan la necesidad de integrar herramientas de modelado predictivo para optimizar el diseño de mezclas estabilizadas. Estas herramientas pueden ayudar a prever el desempeño del suelo tratado bajo diferentes condiciones de carga y clima, mejorando la planificación y ejecución de proyectos.

#### Conclusión

Los estudios previos y las aplicaciones prácticas de estabilización de suelos han demostrado que materiales como el sulfato de calcio y el cemento triturado son soluciones efectivas y sostenibles para mejorar las propiedades de suelos de baja calidad. La investigación continua en este campo es esencial para superar los retos actuales y adaptar las técnicas de estabilización a las necesidades específicas de cada proyecto, garantizando la durabilidad y funcionalidad de las infraestructuras viales.

### 2.3 Marco conceptual

#### 2.3.1. *Cemento endurecido*

El cemento endurecido triturado es un material reciclado derivado de residuos de construcción y demolición. Actúa como un estabilizante físico y químico, mejorando la cohesión y resistencia de los suelos mediante reacciones pozoalánicas que generan compuestos cementantes. Es una solución sostenible y económica para mejorar las

propiedades mecánicas de los suelos en aplicaciones viales.(Cosio Huilca & Franco Centeno, 2023)

### **2.3.2. Estabilización de suelos**

La estabilización de suelos es el proceso mediante el cual se mejora la capacidad portante, la resistencia y la durabilidad de los suelos mediante la adición de estabilizantes químicos, mecánicos o físicos. Este método permite transformar suelos de baja calidad en materiales aptos para soportar cargas estructurales.(Fonseca et al., 2019)

### **2.3.3. Factores que afectan la estabilización**

Los factores que influyen en la estabilización incluyen las propiedades iniciales del suelo, como la plasticidad y el contenido de humedad; las proporciones y tipo de estabilizantes utilizados; el tiempo de curado necesario para que ocurran las reacciones químicas, y las condiciones climáticas y ambientales, como la temperatura y la precipitación.

### **2.3.4. Norma técnica**

Las normativas técnicas establecen los estándares mínimos que deben cumplir los suelos estabilizados en términos de resistencia, durabilidad y capacidad portante. Incluyen parámetros como el índice CBR, la resistencia a la compresión y los límites de plasticidad, asegurando la calidad y seguridad de las infraestructuras viales.

### **2.3.5. Propiedades de los suelos**

Las propiedades de los suelos abarcan características físicas, como granulometría y densidad; mecánicas, como resistencia al esfuerzo cortante y módulo de elasticidad; y químicas, como la composición mineralógica. Estas propiedades determinan su comportamiento y su aptitud para ser estabilizados.



### **2.3.6. Sulfato de calcio**

El sulfato de calcio hemihidratado (yeso) es un estabilizante químico utilizado para mejorar la cohesión y reducir la plasticidad y expansividad de suelos arcillosos. Sus reacciones químicas con los minerales del suelo forman estructuras más densas y estables, aumentando la resistencia y disminuyendo la sensibilidad al agua.



## CAPÍTULO III

### METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

#### 3.1 Diseño de la investigación

El diseño de investigación es un plan estructurado que define el enfoque metodológico, las técnicas de recolección de datos, el análisis y las condiciones experimentales para estudiar el fenómeno bajo investigación. Este plan se organiza para asegurar que los resultados sean válidos, confiables y replicables, y se seleccionan de acuerdo con los objetivos del estudio, el tipo de variables involucradas, y las hipótesis que se pretenden probar. El diseño puede ser experimental, cuasi-experimental, correlacional o descriptivo, dependiendo de la naturaleza del estudio y la relación entre las variables (Vega y Cahuana, 2021).

El diseño de investigación es experimental, ya que no implica la manipulación deliberada de las variables independientes ni el control de condiciones externas. Los datos se recolectan en un único momento en el tiempo para analizar el efecto de la incorporación de estabilizantes sobre las propiedades del suelo. Este diseño permite observar, medir y analizar las relaciones entre las variables tal como ocurren naturalmente en el contexto del estudio, brindando una base para el análisis cuantitativo.

### 3.2 Método de la investigación

En función del enfoque elegido, el método puede ser cuantitativo, cualitativo o mixto a través de entrevistas, observaciones y análisis de contenido. El método mixto integra ambos enfoques, combinando la recolección de datos numéricos y cualitativos para ofrecer una visión más completa del problema de investigación (Reyes, 2022).

El método de investigación es científico, ya que se basa en la recopilación y análisis de datos numéricos relacionados con las propiedades físicas, mecánicas y químicas del suelo estabilizado. Este enfoque permite medir con precisión parámetros como el índice de plasticidad, la resistencia a la compresión y la capacidad portante, utilizando técnicas estandarizadas y herramientas especializadas de laboratorio para garantizar resultados objetivos y reproducibles.

### 3.3 Nivel y tipo de la investigación

#### 3.3.1 Nivel de la investigación

El nivel de investigación describe el alcance y la profundidad de un estudio en términos de su relación con la teoría existente y el objetivo del análisis. En general, los niveles se dividen en exploratorios, descriptivos, correlacionales y explicativos. El nivel exploratorio busca identificar áreas de interés para estudios futuros, mientras que el descriptivo se enfoca en caracterizar fenómenos y sus componentes. El nivel correlacional investiga la relación entre variables, y el nivel explicativo trata de identificar las causas y efectos subyacentes de un fenómeno observado, utilizando un enfoque más analítico y de intervención (Ramos Galarza, 2020)

El nivel de investigación es explicativo, pues tiene como finalidad identificar y comprender las relaciones causa-efecto entre la incorporación de estabilizantes (sulfato de calcio hemihidratado y cemento triturado) y las propiedades del suelo de subrasante. Este nivel busca determinar cómo las propiedades iniciales del suelo son modificadas por los

estabilizantes, explicando los mecanismos físicos y químicos involucrados en las mejoras obtenidas.

### 3.3.2 Tipo de la investigación

El tipo de investigación se refiere a la clasificación general de un estudio en función de su propósito y la manera en que se recopilan los datos. Se puede distinguir entre investigaciones básicas o aplicadas, dependiendo de si buscan generar conocimiento teórico general o resolver problemas específicos. Adicionalmente, los estudios pueden clasificarse como cualitativos, cuantitativos o mixtos, según la naturaleza de los datos recolectados. Los estudios experimentales, cuasi-experimentales o no experimentales también se utilizan según el grado de control sobre las variables, determinando si se manipulan condiciones experimentales o se observan situaciones naturales (Castro Maldonado et al., 2023).

El tipo de investigación es aplicada, ya que busca resolver un problema práctico relacionado con la mejora de las condiciones del suelo de subrasante en el diseño y construcción de vías. Este tipo de investigación se orienta a generar soluciones técnicas basadas en conocimientos científicos, adaptando las metodologías a las condiciones específicas del distrito San Miguel para obtener resultados que puedan ser implementados en proyectos de infraestructura vial.

### 3.3.3 Enfoque de la investigación

El enfoque de investigación se refiere al marco general dentro del cual se lleva a cabo un estudio, determinando los métodos y técnicas que guiarán el proceso de recolección, análisis e interpretación de datos. Según Hernández et al. (2014), el enfoque de investigación es el camino o la dirección metodológica que el investigador adopta para responder a la pregunta de investigación, y puede ser cuantitativo, cualitativo o una combinación de ambos. Este enfoque define la forma en que se aborda el objeto de



estudio, la naturaleza de los datos a obtener y los procedimientos que se utilizarán para llegar a conclusiones válidas y confiables.

El enfoque de la investigación se centrará en evaluar el efecto de la incorporación de sulfato de calcio hemihidratado y cemento endurecido triturado sobre las propiedades físico-mecánicas del suelo de subrasante en vías del distrito San Miguel. Se buscará determinar cómo la adición de estos materiales modifica las características del suelo, tales como su resistencia a la compresión, capacidad de carga, compactación y comportamiento frente a la humedad, con el objetivo de mejorar la estabilidad y durabilidad de las vías, analizando la interacción entre los componentes y su influencia en el rendimiento estructural del pavimento.

### **3.4 Población y muestra de la investigación**

#### **3.4.1 Población**

En investigación, la población se refiere al conjunto completo de elementos, individuos u objetos que comparten características comunes y que son objeto de estudio. La población es el grupo sobre el que se desea generalizar los resultados de la investigación. Dependiendo del tipo de estudio, la población puede ser amplia, como en el caso de una población nacional, o más restringida, como una muestra específica de una comunidad o grupo. La definición precisa de la población es crucial para asegurar la relevancia y aplicabilidad de los resultados obtenidos en el contexto real del estudio (Ojeda, 2020).

La población está constituida por todos los suelos de subrasante localizados en las vías principales del distrito San Miguel en 2024. Incluye suelos con características variadas en cuanto a granulometría, plasticidad y resistencia, que podrían ser potencialmente tratados con estabilizantes. Estos suelos representan el universo de estudio dentro del contexto geográfico y temporal delimitado por la investigación.

**Figura 1***Localización de las zonas de estudio***Nota:** Distrito de San Román

### 3.4.2 Muestra

La muestra se seleccionará considerando cinco escenarios experimentales basados en diferentes dosificaciones de estabilizantes: suelo natural sin aditivos (SN muestra), suelo natural con adición de 4% y 8% de sulfato de calcio hemihidratado (SCH), y suelo natural con 4% y 8% de cemento endurecido triturado (CE). Estas combinaciones permiten evaluar la influencia de cada estabilizante en propiedades clave como el índice de plasticidad, el grado de compactación y el índice CBR (California Bearing Ratio). Cada configuración se diseñó con el objetivo de obtener una representación integral del efecto de las dosificaciones sobre las propiedades del suelo. Este enfoque asegura que los resultados sean comparables y representativos, permitiendo determinar la efectividad relativa de los estabilizantes en la mejora de suelos de subrasante bajo condiciones específicas del distrito San Miguel.

**Tabla 2***Cifra de ensayos aplicados*

Descripción	Índice de Plasticidad	Grado Compactación	CBR	Total
SN muestra	3	3	3	9
SN muestra + 4% SCH	3	3	3	9
SN muestra + 8% SCH	3	3	3	9
SN muestra + 4% CET	3	3	3	9
SN muestra + 8% CET	3	3	3	9
<b>Total</b>				<b>45</b>

**Nota:** SN (Suelo Natural), SCH (Sulfato de Calcio Hemidritado), CE (Cemento Endurecido)

La cifra de ensayos aplicados muestra la cantidad de pruebas realizadas sobre distintas muestras de suelo, con el objetivo de evaluar las propiedades físico-mecánicas del material bajo diferentes condiciones de estabilización. En este caso, se realizaron un total de 45 ensayos, distribuidos entre varias muestras de suelo natural (SN) y muestras modificadas con diferentes aditivos, como Sulfato de Calcio Hemihidratado (SCH) y Cemento Endurecido Triturado (CET), en concentraciones del 4% y 8%. Los ensayos se centraron en tres parámetros clave: índice de plasticidad, grado de compactación y CBR (California Bearing Ratio), los cuales son fundamentales para evaluar la capacidad de soporte y la trabajabilidad del suelo en condiciones de compactación específica. Estos datos permiten determinar la eficacia de los estabilizantes en mejorar las propiedades del suelo de subrasante y su aptitud para ser utilizado en la construcción de caminos o infraestructuras viales.



### 3.5 Técnicas e instrumentos

#### 3.5.1 Técnicas

Se emplearon varias técnicas experimentales para evaluar el impacto de estos aditivos en las propiedades geotécnicas del suelo. La primera técnica clave fue el ensayo de compactación Proctor, que se utilizó para determinar la densidad óptima del suelo tratado con sulfato de calcio y cemento endurecido triturado. Este ensayo mide la densidad máxima que puede alcanzarse al compactar el suelo con un determinado contenido de humedad, lo que es crucial para comprender cómo los aditivos afectan la compactabilidad del material y su comportamiento bajo carga.

Además, se emplearon ensayos de resistencia a la compresión para evaluar la capacidad del suelo estabilizado para resistir las fuerzas aplicadas. Estos ensayos se realizaron tanto para el suelo natural como para el suelo tratado con las adiciones, y se llevaron a cabo utilizando muestras cilíndricas que fueron sometidas a compresión hasta la falla. Los resultados de estos ensayos proporcionaron información crucial sobre la mejora en la resistencia mecánica del suelo, lo que es un indicador directo de la eficacia de los estabilizantes en la mejora de la capacidad de carga del material.

También se aplicaron pruebas de índice de plasticidad (IP) para evaluar el comportamiento volumétrico del suelo al ser modificado con los aditivos. Estas pruebas determinan la capacidad del suelo para deformarse sin fracturarse, lo cual es esencial para predecir su desempeño a largo plazo, especialmente bajo condiciones cambiantes de humedad. Además, se utilizó el ensayo CBR (California Bearing Ratio) para medir la capacidad de soporte del suelo tratado. Este ensayo se realizó bajo condiciones de humedad controladas, simulando las condiciones de carga que las subrasantes experimentan con el paso del tiempo, y permitió evaluar cómo los aditivos mejoraron la capacidad de soporte y la durabilidad del material estabilizado.

Finalmente, se llevaron a cabo análisis de granulometría para caracterizar la distribución de tamaños de las partículas del suelo. Estos análisis proporcionaron datos

sobre la composición del suelo y su relación con la eficacia de los estabilizantes en términos de estabilidad estructural. La combinación de estos ensayos permitió obtener una visión completa de cómo los aditivos, como el sulfato de calcio y el cemento endurecido triturado, influyen en las propiedades físicas y mecánicas del suelo de subrasante, brindando información valiosa para el diseño de caminos más duraderos y con mejor capacidad de soporte.

### **3.5.2 Instrumentos de recolección de datos investigación**

Se emplearon diversos instrumentos de recolección de datos para asegurar la precisión y validez de los resultados obtenidos. Uno de los principales instrumentos utilizados fueron los ensayos de laboratorio, que proporcionaron mediciones directas de las propiedades geotécnicas del suelo, como la resistencia a la compresión, el índice de plasticidad, la capacidad de soporte (CBR) y la densidad óptima de compactación. Estos ensayos fueron fundamentales para obtener datos cuantitativos exactos sobre las mejoras en las propiedades del suelo tratadas con sulfato de calcio y cemento endurecido triturado.

Además, se utilizaron instrumentos de medición geotécnica de campo, como probadores de penetración y cuchara de muestreo, para tomar muestras representativas del suelo in situ. Estas muestras fueron luego transportadas al laboratorio para su análisis detallado. Los probadores de penetración fueron especialmente útiles para obtener información preliminar sobre la resistencia del suelo en su estado natural, permitiendo comparar las características iniciales con las propiedades del material estabilizado.

Otro instrumento relevante utilizado en esta investigación fue el equipo de pruebas de granulometría, que permitió clasificar las partículas del suelo en función de su tamaño. Esta información fue crucial para comprender cómo la mezcla de sulfato de calcio y cemento endurecido triturado influye en la estructura granular del suelo y, por lo tanto, en su resistencia y capacidad de carga. Además, se utilizó software especializado en procesamiento de datos geotécnicos para analizar los resultados obtenidos en los ensayos



de laboratorio y de campo, lo que permitió realizar un análisis estadístico preciso de las variaciones en las propiedades del suelo debido a la estabilización.

### **3.6 Validación y confiabilidad del instrumento**

#### **3.6.1 Validación de los instrumentos**

La validación de los instrumentos en este estudio fue un proceso crucial para asegurar que los datos obtenidos fueran confiables y precisos. Para ello, se emplearon procedimientos estándar de calibración y verificación de los equipos y métodos utilizados en los ensayos. Cada instrumento de medición, como los equipos de prueba de resistencia a la compresión, los probadores de penetración y los dispositivos de medición de granulometría, pasó por un proceso de calibración antes de cada uso. Este proceso se llevó a cabo siguiendo las especificaciones técnicas del fabricante y las normas de calibración aplicables, lo que garantizó que las mediciones estuvieran dentro de los márgenes de error aceptables y fueran comparables a las de estudios previos.

Además, para garantizar la consistencia de los resultados, se realizó una validación cruzada utilizando diferentes métodos de recolección de datos. Por ejemplo, los resultados de los ensayos de laboratorio fueron comparados con los obtenidos mediante pruebas de campo, verificando que ambos enfoques arrojaban resultados coherentes y consistentes. En particular, los valores obtenidos de la resistencia al CBR y la plasticidad del suelo estabilizado fueron verificados utilizando diferentes tipos de muestras y condiciones, lo que permitió confirmar la efectividad de los instrumentos empleados en diversas circunstancias.

Por último, se utilizó un proceso de validación externa, donde los resultados obtenidos se compararon con estudios similares previos realizados en condiciones similares. Esta validación con datos de investigaciones anteriores ayudó a corroborar la exactitud de los instrumentos utilizados y permitió confirmar que los resultados eran aplicables a la región de estudio. Este enfoque meticuloso de validación garantizó que los



instrumentos empleados proporcionarían mediciones precisas y confiables, fortaleciendo la validez y la solidez de los hallazgos del estudio.

### **3.6.2 Confiabilidad de instrumentos**

La confiabilidad de los instrumentos empleados en esta investigación fue un aspecto esencial para asegurar que los resultados obtenidos fueran consistentes y replicables a lo largo del tiempo. Para garantizar esta confiabilidad, se emplearon equipos de medición que han sido previamente validados y calibrados según estándares internacionales, lo que minimiza el margen de error y asegura que las mediciones sean estables. Los ensayos de laboratorio y de campo, como las pruebas de resistencia a la compresión, los análisis de granulometría y los ensayos CBR, se realizaron siguiendo procedimientos estandarizados que permitieron obtener resultados consistentes en diferentes lotes de muestras y bajo condiciones controladas.

Adicionalmente, se estableció un sistema de controles de calidad durante todo el proceso de recolección de datos. Los instrumentos fueron sometidos a revisiones periódicas a lo largo del estudio, lo que permitió detectar cualquier desviación o irregularidad en el rendimiento de los equipos de medición. Se realizaron pruebas piloto iniciales para establecer una línea base de confiabilidad, y los datos obtenidos en estas pruebas fueron utilizados para ajustar y calibrar los instrumentos antes de proceder con la recolección de datos definitiva.

La repetibilidad de los ensayos fue otro factor clave en la evaluación de la confiabilidad de los instrumentos. Los mismos ensayos se repitieron en diversas ocasiones y con diferentes muestras para asegurar que los resultados fueran consistentes. Al obtener resultados similares en cada repetición, se concluyó que los instrumentos empleados eran confiables, lo que respalda la precisión y validez de los datos utilizados para el análisis final. Este enfoque aseguró que las conclusiones del estudio fueran fundamentadas en mediciones precisas y fiables, permitiendo una interpretación objetiva de los efectos de los aditivos sobre las propiedades del suelo de subrasante.

### **3.7 Plan de recolección y procesamiento de datos**

#### **3.7.1 Toma de muestra del material**

La toma de muestra del material es un proceso fundamental en cualquier investigación geotécnica, ya que garantiza que las muestras recogidas sean representativas del suelo o material bajo estudio. En este estudio, las muestras fueron obtenidas de manera sistemática y controlada para asegurar que reflejaran las condiciones reales de la subrasante en las vías del distrito de San Miguel. Para ello, se seleccionaron puntos de muestreo estratégicamente distribuidos a lo largo de la zona de estudio, cubriendo diferentes áreas con características geotécnicas variables. Este enfoque permitió obtener una muestra diversificada, representando adecuadamente la variabilidad del terreno.

La técnica empleada para la toma de muestras consistió en el uso de cucharas de muestreo y tubos de perforación, herramientas especialmente diseñadas para extraer el material sin alterar sus propiedades naturales. Las muestras fueron extraídas en las profundidades especificadas por el diseño del estudio, garantizando que el perfil del suelo fuera evaluado en su totalidad. Para evitar cualquier alteración durante el proceso de recolección, se emplearon procedimientos de manejo cuidadoso y almacenamiento adecuado de las muestras, manteniéndolas en condiciones controladas para evitar pérdidas de humedad o alteraciones por exposición a condiciones ambientales.

Una vez obtenidas las muestras, se trasladaron a laboratorio para ser sometidas a diversos ensayos geotécnicos, como pruebas de resistencia, humedad y plasticidad. La correcta toma de muestra es crucial para asegurar que los resultados obtenidos reflejen de manera precisa las propiedades del suelo en el campo, lo que garantiza la validez y confiabilidad de los datos. Este proceso meticuloso también permite realizar comparaciones entre diferentes muestras y evaluar de manera precisa los efectos de los

estabilizantes, como el sulfato de calcio y el cemento endurecido triturado, sobre las propiedades del suelo de subrasante.

#### a) Sulfato de calcio hemihidratado:

El sulfato de calcio hemihidratado fue obtenido a partir de yeso natural (sulfato de calcio dihidratado). Este material fue seleccionado debido a su disponibilidad en la región y su facilidad de transformación en hemihidratado mediante un proceso de calcinación controlada.

#### Fuente del Material:

El yeso natural fue adquirido de proveedores locales, especialmente de canteras cercanas al Distrito San Miguel. Estas fuentes eran seleccionadas por su alta calidad y bajo costo de transporte, lo cual optimizó el presupuesto del estudio.

#### Proceso de Calcinación:

Para obtener el sulfato de calcio hemihidratado, el yeso natural fue sometido a un proceso de calcinación en un horno a temperaturas de entre 150°C y 180°C. Este proceso permitió la eliminación parcial del agua contenida en el yeso, transformándolo en sulfato de calcio hemihidratado ( $\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$ ).

- **Temperatura de calcinación:** La temperatura utilizada fue precisa, ya que temperaturas superiores a los 180°C podrían descomponer el sulfato de calcio, afectando su calidad.
- **Tiempo de exposición:** El yeso se mantuvo a temperatura controlada durante varias horas para asegurar que la calcinación fuera uniforme y eficiente.

#### Molienda y Presentación:

Una vez obtenido el sulfato de calcio hemihidratado, el material fue molido hasta obtener un polvo fino. Este polvo, en su presentación más común, se caracteriza por su color blanco y su textura seca. El sulfato de calcio hemihidratado se almacenó en sacos de 25 kg para su posterior uso en el estudio experimental.

### Control de Calidad:

Se realizaron pruebas de calidad para asegurar que el material obtenido cumpliera con los estándares necesarios para la investigación. Se verificó que el contenido de agua fuera consistente con los valores de hemihidratado, lo cual se confirmó mediante pruebas de humedad residual en el laboratorio.

### Figura 2

*Presentación del sulfato de calcio hemihidratado (yeso calcinado)*



### Presentaciones del Material

El sulfato de calcio hemihidratado fue utilizado en forma de polvo seco. En el mercado, este material generalmente se presenta en sacos de diferentes tamaños, siendo los más comunes los sacos de 25 kg o 50 kg, dependiendo del proveedor.

En este estudio, debido a la cantidad requerida y la facilidad de manipulación, se optó por adquirir el sulfato de calcio hemihidratado en sacos de 25 kg, los cuales fueron almacenados en condiciones adecuadas para evitar la absorción de humedad.



### Resumen del Procedimiento de Recolección

- Fuente: Yeso natural obtenido de canteras locales.
- Proceso: Calcinación controlada a 150-180°C para obtener sulfato de calcio hemihidratado.
- Presentación: Polvo seco en sacos de 25 kg.
- Control de calidad: Verificación de contenido de agua y características del material.

Este proceso permitió obtener un material adecuado para evaluar el impacto del sulfato de calcio hemihidratado sobre las propiedades del suelo de subrasante, específicamente en términos de mejora de la compactación y estabilidad de los suelos en las vías del Distrito San Miguel.

### b) Cemento endurecido triturado

El **cemento endurecido triturado** fue uno de los materiales clave utilizado para estabilizar el suelo de subrasante. A continuación, se detallan los métodos y condiciones bajo los cuales se obtuvo y preparó este material. Se describen los procedimientos utilizados para obtener y preparar el cemento endurecido triturado, material clave en la estabilización de los suelos de subrasante.

### Obtención del Cemento Endurecido

El cemento endurecido fue obtenido a través de la búsqueda en ferreterías locales, donde se solicitó específicamente material de cemento que ya hubiera superado su fecha de vencimiento. Este tipo de cemento es comúnmente descartado o puesto a la venta a precios más bajos, ya que, después de cierto tiempo de almacenado, pierde su capacidad de hidratación y endurecimiento adecuado. El tiempo de vida útil del cemento comúnmente es de 6 meses a 1 año desde su fabricación, después del cual comienza a endurecerse y perder sus propiedades de reacción con agua, lo que lo convierte en adecuado para nuestro estudio, donde su objetivo es servir como un estabilizante inerte en la mezcla con el suelo.

Para el estudio, no se realizó una recolección masiva de este material, ya que solo se requerían unas pocas bolsas. Se adquirieron aproximadamente cinco bolsas de cemento endurecido, lo cual fue suficiente para las pruebas de laboratorio. Las bolsas se eligieron cuidadosamente para asegurarse de que el cemento estuviera completamente endurecido, de modo que pudiera ser utilizado de forma efectiva en las pruebas experimentales sin alterar las propiedades del suelo.

### **Trituración del Cemento Endurecido**

La trituración del cemento endurecido se llevó a cabo en las instalaciones de la Universidad, específicamente en el laboratorio de suelos. Debido a la pequeña cantidad de material requerida para el estudio, el proceso de trituración se realizó de forma manual, utilizando una comba. Este proceso manual permitió obtener un material triturado fino que fuera adecuado para su inclusión en la mezcla con el suelo, favoreciendo la homogenización del material.

El uso de la comba, un equipo simple y accesible, garantizó que las partículas de cemento fueran reducidas a un tamaño lo suficientemente pequeño como para permitir su interacción eficiente con el suelo. El tamaño de las partículas trituradas fue reducido hasta alcanzar un rango adecuado para las pruebas de estabilización, con un tamaño menor a 4 mm.

### **Figura 3**

*Trituración del cemento endurecido de manera manual*



Tabla 3

*Cantidades de material adicionante*

Muestra	Tipo de Material	Porcentaje de Material Adicionado	Peso Total del Suelo (kg)	Cantidad de Material Añadido (kg)
<b>Muestra 1 (Control)</b>	Ninguno (Suelo sin aditivos)	0%	10	0
<b>Muestra 2</b>	Sulfato de Calcio Hemihidratado	4%	10	0.4
<b>Muestra 3</b>	Sulfato de Calcio Hemihidratado	8%	10	0.8
<b>Muestra 4</b>	Cemento Endurecido Triturado	4%	10	0.4
<b>Muestra 5</b>	Cemento Endurecido Triturado	8%	10	0.8

El material base para el estudio fue un suelo de subrasante, el cual contiene diversos componentes que forman su estructura total. Este suelo se utilizó en su totalidad para las pruebas, con un 100% de su composición dividida entre partículas minerales y materiales orgánicos. La adición de los materiales estabilizantes (sulfato de calcio hemihidratado y cemento endurecido triturado) se hizo sobre el total de la masa de suelo de subrasante, y no sobre componentes específicos como la arena o la arcilla, ya que se trató como un suelo compuesto para obtener una evaluación global.

#### **Cálculo de la Cantidad de Material Añadido**

Para las pruebas, se trabajó con 10 kg de suelo por muestra, y las cantidades de aditivos fueron calculadas de la siguiente forma:

Para el Sulfato de Calcio Hemihidratado:

- 4% de 10 kg = 0.4 kg de sulfato de calcio hemihidratado.
- 8% de 10 kg = 0.8 kg de sulfato de calcio hemihidratado.

Para el Cemento Endurecido Triturado:

- 4% de 10 kg = 0.4 kg de cemento endurecido triturado.
- 8% de 10 kg = 0.8 kg de cemento endurecido triturado.

### **3.7.2 Equipos y herramientas utilizados:**

En la investigación titulada "Efecto de la incorporación de sulfato de calcio hemihidratado y cemento endurecido triturado sobre las propiedades del suelo de subrasante en vías del distrito San Miguel 2024", se emplearon diversos equipos y herramientas especializadas para llevar a cabo los ensayos geotécnicos de manera precisa y confiable. Entre los equipos fundamentales utilizados se encuentran las máquinas de ensayo de compresión uniaxial, que permitieron determinar la resistencia del suelo estabilizado ante cargas aplicadas. Este equipo fue utilizado para medir la capacidad de compresión de las muestras de suelo tratadas con los estabilizantes, proporcionando datos cruciales para evaluar la mejora en la resistencia mecánica del material.

Asimismo, se emplearon pruebas de penetración estándar (como el ensayo CBR), que son fundamentales para evaluar la capacidad de soporte del suelo subrasante. Este equipo de medición permite medir la resistencia del suelo a la penetración bajo condiciones controladas, ayudando a determinar la adecuación de la subrasante para soportar cargas vehiculares. Además, se utilizaron cucharas de muestreo y tubos de perforación para extraer las muestras de suelo sin alterar sus características, asegurando que las propiedades físicas y mecánicas fueran representativas de las condiciones originales del terreno.

En cuanto a las herramientas de apoyo, se utilizaron balanzas de precisión para medir la masa de las muestras de suelo, tamices para realizar los análisis granulométricos, y medidores de humedad para evaluar el contenido de agua en el material. Estas herramientas permitieron realizar un control riguroso de las propiedades físicas del suelo durante todo el proceso experimental, asegurando la calidad y fiabilidad de los datos recolectados. La combinación de estos equipos y herramientas especializadas proporcionó la base necesaria para el análisis y validación de los efectos de los aditivos en las propiedades del suelo subrasante.



### Ensayos en laboratorio

- **Contenido de humedad:** El ensayo de contenido de humedad es un procedimiento estándar utilizado en la geotecnia para determinar la cantidad de agua presente en una muestra de suelo en relación con su masa total. Este ensayo es crucial, ya que el contenido de humedad influye significativamente en las propiedades físicas y mecánicas del suelo, tales como su capacidad de compactación, resistencia, y comportamiento bajo cargas. En el proceso, una muestra de suelo se pesa inicialmente, luego se somete a un proceso de secado en horno a una temperatura controlada, generalmente de 105°C, durante un periodo determinado. Una vez completado el secado, la muestra se pesa nuevamente para determinar la cantidad de agua perdida, lo que se expresa como un porcentaje respecto a la masa original del suelo.

Este ensayo permite identificar el contenido de humedad natural del suelo, lo cual es esencial para el control de calidad en proyectos de construcción y estabilización de suelos. El conocimiento del contenido de humedad también ayuda a ajustar las condiciones de trabajo en la construcción de pavimentos, ya que el suelo debe estar dentro de un rango óptimo de humedad para alcanzar la densidad máxima en la compactación. Un contenido de humedad muy alto o bajo puede resultar en dificultades para alcanzar el grado de compactación deseado, lo que afectaría la durabilidad y estabilidad de la infraestructura.

La precisión en la realización de este ensayo es clave para garantizar la efectividad de los tratamientos de estabilización, como la adición de cenizas o cemento, que dependen de un control adecuado del contenido de humedad. En estudios de estabilización de suelos, como el presente, el contenido de humedad también se utiliza para ajustar las dosificaciones de los aditivos, asegurando que la mezcla se realice de acuerdo a las condiciones óptimas para la reacción química y la mejora de las propiedades del suelo.

$$W(\%) = \frac{W_w}{W_s} \times 100$$

- **Ensayo de límites de consistencia:** Este ensayo es crucial porque las propiedades de plasticidad del suelo afectan su desempeño en diversas aplicaciones de ingeniería, especialmente en la construcción de pavimentos y bases de caminos. Suelos con un índice de plasticidad alto son más susceptibles a cambios volumétricos debido a variaciones en la humedad, lo que puede resultar en asentamientos o deformaciones no deseadas en las infraestructuras. Por otro lado, suelos con un índice bajo suelen ser más estables y resistentes a estas alteraciones. El ensayo se realiza utilizando una herramienta conocida como el aparato de Casagrande para medir el límite líquido y el límite plástico mediante pruebas de corte y deformación de una muestra de suelo bajo condiciones específicas de humedad.

La precisión de este ensayo es esencial para clasificar correctamente el suelo según su comportamiento frente a condiciones ambientales cambiantes. Los resultados obtenidos del ensayo de límites de consistencia permiten ajustar las condiciones de construcción y elegir métodos de estabilización adecuados, como la incorporación de estabilizantes o la modificación de las técnicas de compactación, asegurando que el suelo cumpla con los requisitos técnicos del proyecto y garantizando la durabilidad y la seguridad de la infraestructura vial.

$$LP = \frac{W_w}{W_s} \times 100$$

**Figura 4***Pesaje de muestras***Procedimiento LL:**

- El procedimiento LL (Límite Líquido) es un ensayo de laboratorio utilizado se realiza con el aparato de Casagrande, que consta de un recipiente con una ranura en su parte central y un dispositivo que permite caer un pistón sobre la muestra de suelo. La muestra de suelo se coloca en el recipiente y se somete a una serie de impactos de manera controlada mientras se observa el comportamiento del material. El límite líquido se determina como la cantidad de humedad en la que la muestra de suelo, al ser cortada en la ranura, se cierra de forma uniforme después de un número de golpes determinado.

Este procedimiento es esencial para clasificar los suelos finos según su plasticidad y su respuesta frente a las variaciones de humedad, ya que el límite líquido influye directamente en las propiedades de comportamiento del suelo cuando está sujeto a humedad o cambios climáticos. Los suelos con un límite líquido alto suelen ser más sensibles a los cambios en la humedad, presentando un mayor riesgo de expansión o contracción, lo que puede afectar la estabilidad de la infraestructura, especialmente

en la construcción de caminos y pavimentos. Por lo tanto, determinar el Límite Líquido es fundamental para predecir el comportamiento de los suelos bajo condiciones cambiantes.

El procedimiento de LL también proporciona información crítica para el diseño de la estabilidad de las estructuras viales, ya que se correlaciona con el índice de plasticidad y otros parámetros geotécnicos, ayudando a seleccionar los tratamientos adecuados para su estabilización. Además, la evaluación constante del límite líquido en diferentes muestras permite monitorear las variaciones en el comportamiento del suelo a lo largo del tiempo, garantizando la calidad y durabilidad de las construcciones.

$$LL = \frac{W_w}{W_s} \times 100$$

#### Procedimiento índice plástico:

$$IP = LL - LP$$

- **Ensayo de análisis granulométrico:** Este análisis permite clasificar el material según la proporción de partículas gruesas y finas, lo que tiene un impacto directo en las propiedades de compactación, permeabilidad y resistencia del suelo. El ensayo se lleva a cabo mediante un proceso de tamizado en el que el suelo se pasa a través de una serie de tamices de malla de diferentes tamaños, de mayor a menor, permitiendo que las partículas de diferentes dimensiones se separen en fracciones específicas. La cantidad de material retenido en cada tamiz se mide y se expresa como porcentaje en relación con el peso total de la muestra.

La granulometría es un parámetro clave en la caracterización del suelo, ya que influye en aspectos como la capacidad de drenaje y la facilidad con la que el suelo puede ser compactado. Un suelo bien graduado, con una distribución adecuada de partículas

finas y gruesas, generalmente presenta mejores propiedades de estabilidad y resistencia. Por el contrario, suelos mal graduados o dominados por partículas muy finas o muy gruesas pueden presentar problemas de consolidación, deformaciones o drenaje deficiente. Así, el análisis granulométrico proporciona información crítica para optimizar la mezcla de materiales y asegurar que el suelo cumpla con los requerimientos de diseño para proyectos viales.

Este ensayo también es fundamental en el diseño de mezclas de materiales, ya que permite ajustar la proporción de suelos y agregados utilizados en la construcción de capas de pavimento o subrasante. Además, en estudios de estabilización del suelo, el análisis granulométrico ayuda a identificar la influencia de los aditivos, como la ceniza de estiércol o la cal, sobre la mejora de las propiedades físicas del suelo. Los resultados obtenidos también se utilizan para clasificar los suelos según normas internacionales, como la clasificación de suelos de la AASHTO o la ASTM, y sirven como base para los cálculos y análisis adicionales en el diseño de infraestructuras viales.

### Figura 5

#### *Análisis granulométrico*





### Procedimiento:

- El procedimiento en un ensayo geotécnico hace referencia a las etapas sistemáticas y los métodos técnicos seguidos para realizar una medición precisa y obtener datos confiables que permitan evaluar las propiedades del material bajo estudio. Este proceso incluye desde la preparación de la muestra hasta la ejecución de las pruebas y la interpretación de los resultados. Este procedimiento asegura que las partículas del suelo sean separadas y clasificadas según su tamaño, lo que permite calcular la distribución granulométrica.
- El procedimiento de análisis sigue estándares establecidos por normativas internacionales como la ASTM o AASHTO, garantizando que las mediciones sean consistentes y comparables. A lo largo de todo el proceso, se deben aplicar criterios de precisión y repetibilidad, como el uso de equipos calibrados y la realización de pruebas repetidas para verificar la exactitud de los resultados. La correcta ejecución de cada paso en el procedimiento es fundamental para obtener datos fiables y significativos que respalden la interpretación de las propiedades geotécnicas del suelo.
- Este tipo de procedimientos, detallados y controlados, son esenciales no solo para la recolección de datos, sino también. El seguimiento estricto de cada fase del procedimiento minimiza los errores y mejora la calidad de los resultados, permitiendo una mejor comprensión del comportamiento del material bajo condiciones específicas, y asegurando que los proyectos de construcción sean más seguros y eficientes.
- **Proctor modificado:** Este procedimiento es una variación del método Proctor estándar, diseñado para simular de manera más precisa las condiciones de compactación que se alcanzan en el campo durante la construcción de pavimentos y otras infraestructuras. En el ensayo, se utiliza un mayor esfuerzo de compactación comparado con el Proctor estándar, empleando un martillo de 4.5 kg de peso que cae desde una altura de 45 cm sobre la muestra de suelo, aplicando un número de 56

golpes por capa de suelo. Este proceso aumenta la densidad del material y ayuda a determinar la cantidad de agua que debe estar presente en el suelo para alcanzar su máxima compactación.

Son sometidos a esfuerzos más elevados durante su uso, como en la construcción de carreteras, pistas de aeropuertos y otros proyectos de infraestructura pesada. El resultado obtenido de este ensayo, así como para determinar la proporción correcta de agua que se debe añadir durante la preparación del terreno para obtener el mejor rendimiento estructural.

### Figura 6

*Adición de humedad al material de subrasante*



Este ensayo se emplea también en la evaluación de la calidad de las obras en curso, ya que asegura que los suelos estén adecuadamente compactados para soportar las

cargas de tráfico y resistir deformaciones o asentamientos a largo plazo. Al aplicar el Proctor modificado, los ingenieros y técnicos pueden identificar y corregir problemas de compactación de manera temprana en la fase de construcción, mejorando la durabilidad y estabilidad de la infraestructura vial.

### Figura 7

*Ensayo de proctor modificado (apisonado de material)*



- **CBR:** Es un suelo o material granular, específicamente para evaluar su aptitud como base o subbase en la construcción de pavimentos y otras estructuras viales. Este ensayo se realiza sometiendo una muestra compactada de suelo a una penetración controlada de un pistón bajo condiciones específicas de humedad y compactación. El valor CBR se determina al comparar la carga de penetración obtenida en el suelo con la carga de penetración de una muestra de referencia, que generalmente es grava compactada. Los resultados se expresan como un porcentaje, indicando la capacidad del suelo para soportar cargas en relación con el material de referencia.

**Figura 8***Equipo y herramientas para ensayo CBR*

El CBR es un parámetro crucial para el diseño de pavimentos, ya que proporciona información sobre la capacidad de soporte del suelo bajo cargas vehiculares. Los suelos con valores de CBR bajos son más propensos a deformaciones y fallas, mientras que suelos con CBR altos indican una mayor capacidad de carga y estabilidad. Los valores CBR son especialmente útiles para dimensionar las capas de pavimento, ya que permiten ajustar el espesor y tipo de materiales utilizados para garantizar que la vía pueda resistir el tráfico proyectado sin sufrir fallas estructurales. Además de su aplicación en el diseño, el ensayo CBR se utiliza para la evaluación de la calidad de los suelos durante la construcción y el mantenimiento de caminos. Al medir la variabilidad de los valores CBR en diferentes puntos a lo largo de un proyecto, los ingenieros pueden identificar áreas problemáticas que requieren tratamientos específicos de estabilización o sustitución de material. De esta forma, el ensayo CBR es un instrumento clave.

**Figura 9**

*Muestra de subrasante para sumergir al agua y controlar penetraciones*



### 3.8 Procesamiento y análisis de datos

El procesamiento y análisis de datos es una etapa fundamental en cualquier investigación científica, especialmente en estudios geotécnicos, donde los datos obtenidos durante los ensayos deben ser organizados, depurados y analizados para obtener conclusiones precisas. El procesamiento inicial incluye la recopilación de todos los resultados de los ensayos realizados en laboratorio y campo, los cuales son posteriormente organizados en bases de datos estructuradas para facilitar su manejo y comparación. Este paso involucra la verificación de la consistencia de los datos, la identificación de posibles errores y la corrección de inconsistencias, asegurando que los valores sean fiables antes de pasar al análisis detallado.

Una vez procesados, los datos son sometidos a diversas técnicas de análisis estadístico y computacional, que permiten obtener información significativa sobre el comportamiento de los materiales y su rendimiento bajo diferentes condiciones.



Dependiendo de los objetivos del estudio, los análisis pueden incluir la identificación de tendencias, la evaluación de relaciones entre variables (como la influencia de la ceniza en el CBR), y la comparación de resultados entre diferentes muestras o condiciones de tratamiento. El uso de herramientas informáticas avanzadas, como software estadístico o programas de modelado geotécnico, es esencial para procesar grandes volúmenes de datos y realizar interpretaciones complejas con precisión.

El análisis de los datos no solo busca interpretar los resultados en términos de los objetivos del estudio, sino también para identificar patrones, correlaciones y anomalías que puedan indicar la efectividad de las soluciones propuestas. A través de este análisis, se pueden realizar inferencias sobre la aplicabilidad de los resultados en el contexto real de la construcción vial y ofrecer recomendaciones para mejorar la calidad de los materiales o procesos utilizados. Este proceso de análisis y procesamiento de datos es crucial para tomar decisiones informadas que aseguren la sostenibilidad y la estabilidad de las infraestructuras viales en condiciones reales de operación.

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1 Presentación y análisis de resultados

En esta sección se desarrolla de manera ordenada y clara la exposición de los datos obtenidos a lo largo del proceso investigativo, analizados siempre en función de los objetivos propuestos al inicio del estudio. Para ofrecer una visión integral de los resultados, se incorporan tablas, gráficos y descripciones detalladas que facilitan la identificación de tendencias, comparaciones y relaciones relevantes entre las variables evaluadas.

Es importante destacar que la investigación se llevó a cabo específicamente en la Avenida Republica y la Avenida las Gardenias, donde se realizaron dos calicatas en cada una de ellas, permitiendo así una evaluación más precisa y representativa de las condiciones del terreno en estos sectores. Los datos recolectados en estas calicatas sirvieron como base fundamental para el análisis cuantitativo y cualitativo, enriqueciendo la interpretación de los resultados.

##### a. Presencia de humedad

El contenido de humedad determina la capacidad de compactación del suelo, su plasticidad y la estabilidad de la estructura cuando se somete a cargas. Suelo con niveles elevados de humedad puede volverse más susceptible a deformaciones, asentamientos o pérdidas de capacidad portante, especialmente en suelos arcillosos. Por otro lado, un

contenido de humedad insuficiente puede afectar la cohesión del material, dificultando su manejo y aumentando el riesgo de fisuración.

### Tabla 4

Valor de humedad observado en las muestras recogidas

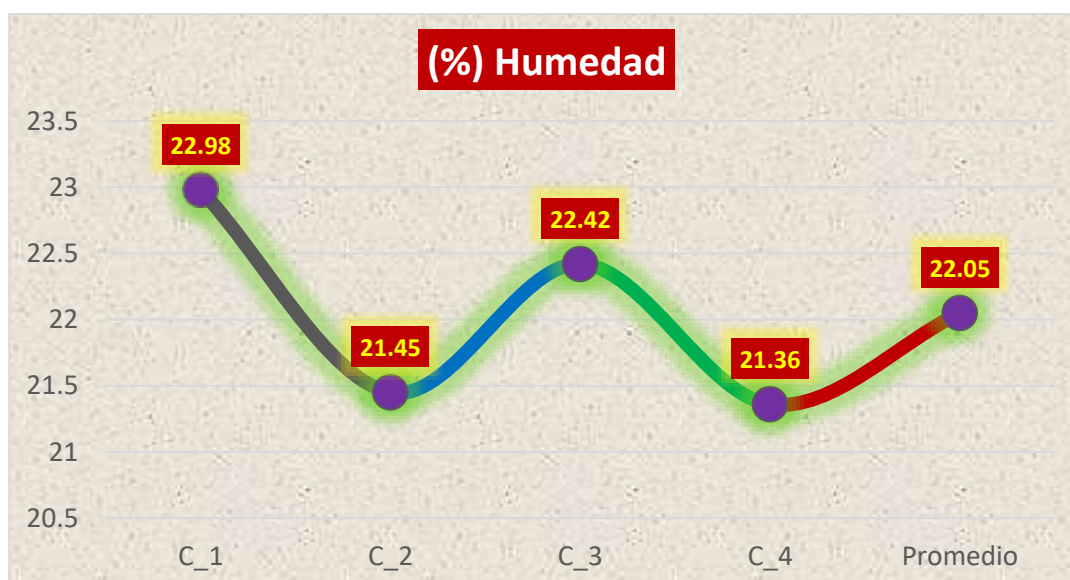
Presencia de humedad en las muestras (%)	
Calicata	(%) Humedad
C_1	22.98
C_2	21.45
C_3	22.42
C_4	21.36
<b>Promedio</b>	<b>22.05</b>

**Nota.** Resultados de laboratorio

La tabla muestra los porcentajes de humedad presentes en las muestras de suelo tomadas en cuatro calicatas (C\_1, C\_2, C\_3 y C\_4) dentro del área de estudio. Los valores obtenidos varían entre 21.36% y 22.88%, con la calicata C\_1 registrando el mayor porcentaje de humedad y la calicata C\_4 el menor. El promedio general de humedad de las muestras recabadas es de 22.05%, lo que indica una ligera variabilidad en el contenido de humedad entre las distintas ubicaciones. Estos resultados proporcionan un indicador clave de las condiciones iniciales del suelo, relevantes para el análisis de su estabilización.

### Figura 10

Humedad presente en las muestras

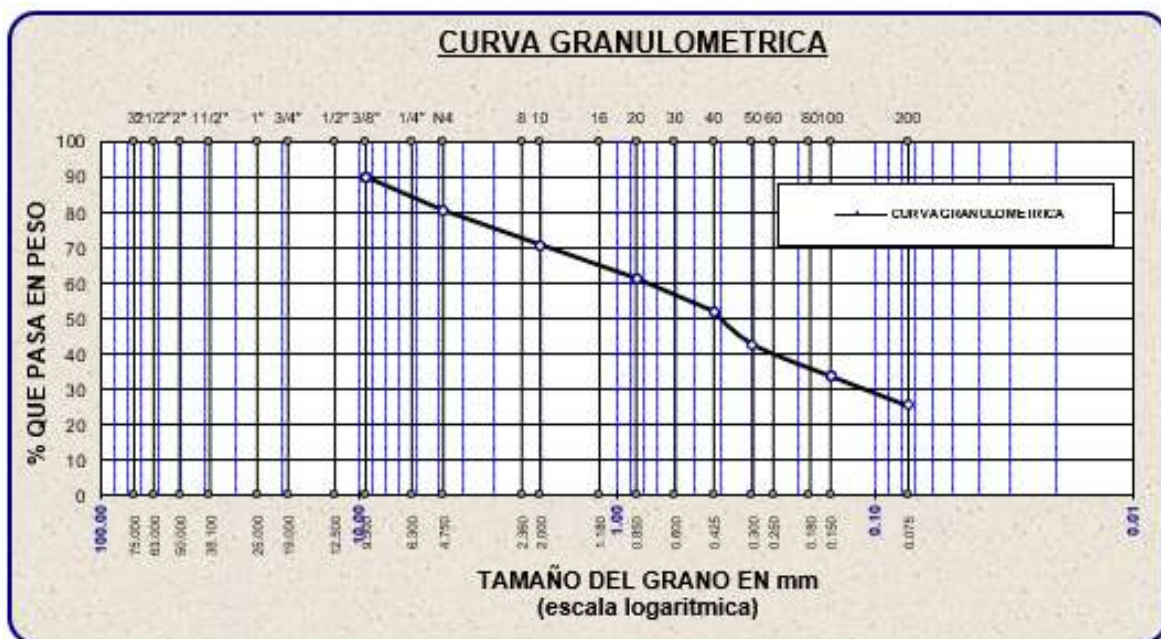


La gráfica muestra la variación del porcentaje de humedad en las muestras de suelo tomadas en cuatro calicatas (C\_1, C\_2, C\_3 y C\_4), junto con el promedio general de los datos. La calicata C\_1 presenta el mayor porcentaje de humedad con un valor de 22.98%, mientras que la calicata C\_4 registra el valor más bajo, 21.36%. Se observa una fluctuación en los valores, con un descenso en la humedad de C\_1 a C\_2 (21.45%) seguido de un incremento en C\_3 (22.42%), antes de descender nuevamente en C\_4. El promedio calculado es de 22.05%, representando una estabilidad relativa en los niveles de humedad a pesar de las ligeras variaciones entre las calicatas. Este análisis refleja la distribución homogénea de la humedad en los suelos estudiados.

### b. Análisis granulométrico

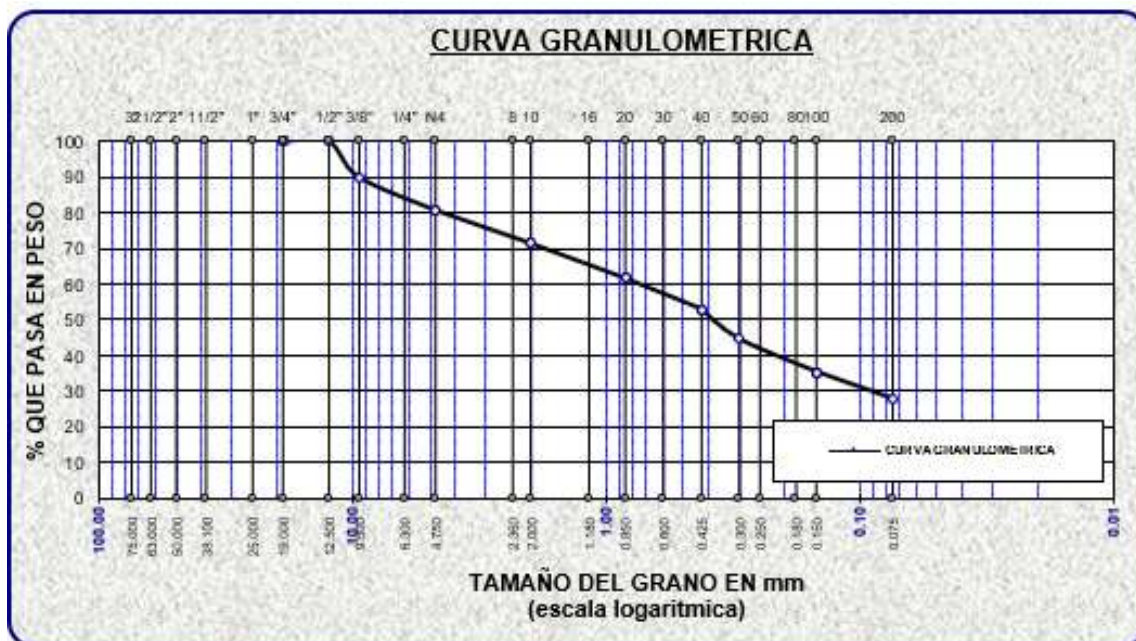
**Figura 11**

*Análisis de la composición de partículas en la muestra 1*



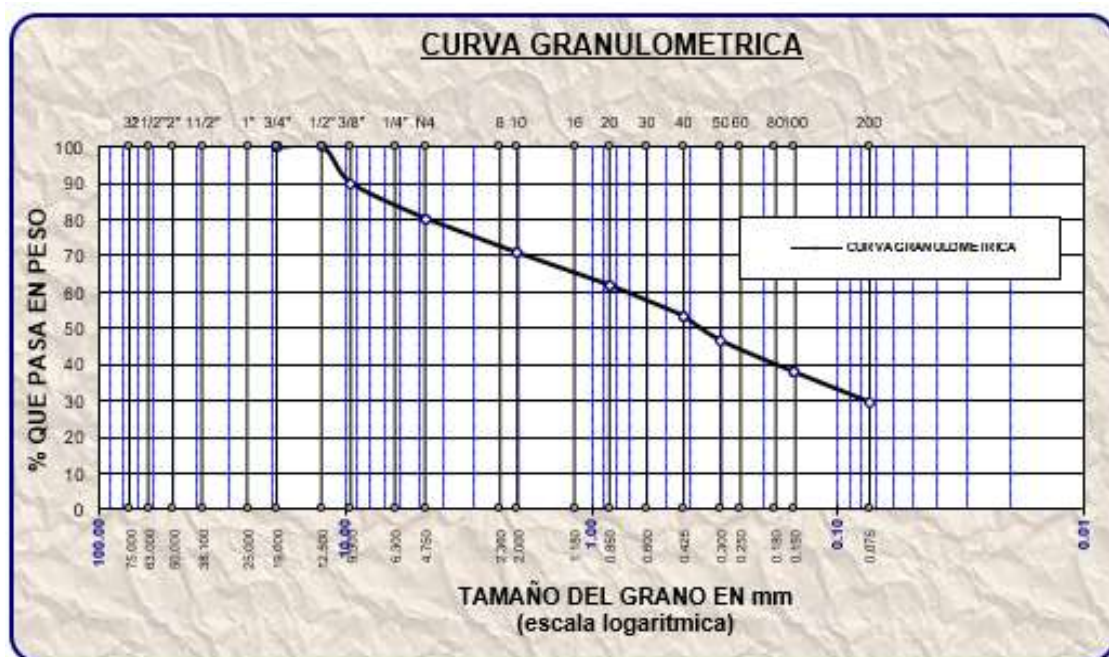
**Figura 12**

*Análisis de la composición de partículas en la muestra 2*



**Figura 13**

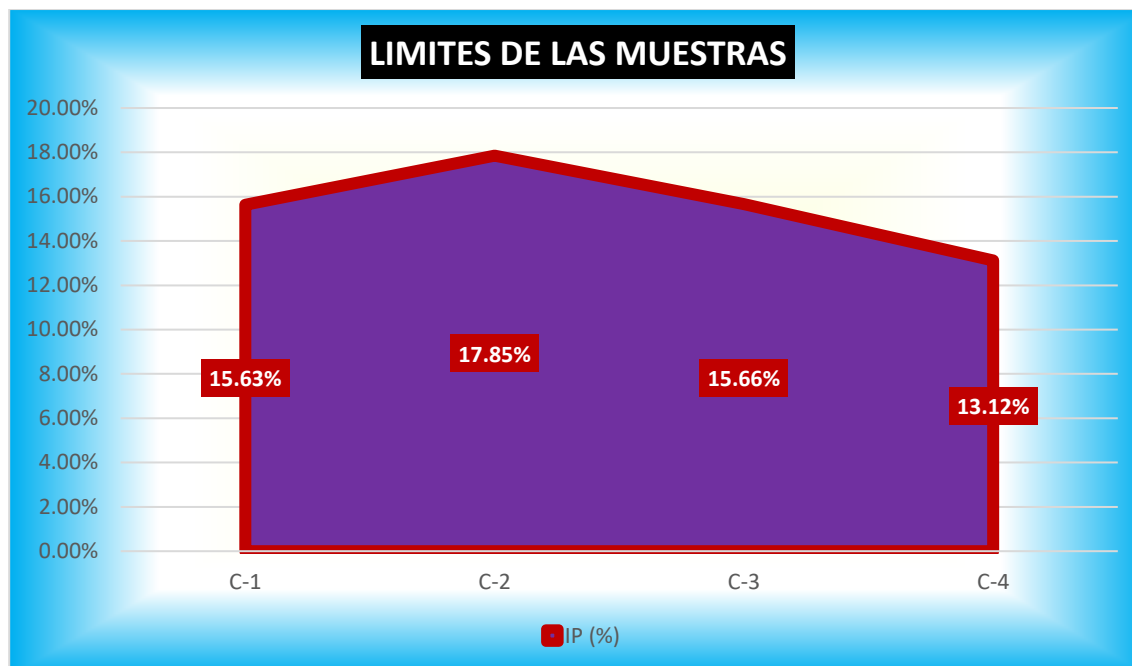
*Análisis de la composición de partículas en la muestra 3*





**Figura 15**

*Revisión comparativa de los límites alcanzados*



La gráfica titulada "LÍMITES DE LAS MUESTRAS" presenta una comparativa de los índices plásticos (IP) obtenidos en cuatro muestras o calicatas identificadas como C-1, C-2, C-3 y C-4. Los resultados muestran que la muestra C-2 presenta el índice plástico más alto con 17.85%, mientras que la muestra C-4 registra el valor más bajo con 13.12%. Por su parte, las muestras C-1 y C-3 presentan valores muy similares, de 15.63% y 15.66% respectivamente, lo que indica poca variación entre ellas. En general, se observa una tendencia donde el IP aumenta desde C-1 hasta C-2, alcanzando su máximo en esta última, y luego disminuye gradualmente hacia C-4. Estos resultados permiten apreciar la distribución y variabilidad de los índices plásticos en el suelo estudiado, lo cual es relevante para entender el comportamiento y las características mecánicas de los materiales muestreados en cada calicata. Además, la representación visual facilita la comparación directa de los límites alcanzados, proporcionando un panorama claro del comportamiento plástico en las diferentes zonas de muestreo.

#### 4.1.1 Grado de compactación muestra 1

El grado de compactación de la muestra 1 denota la relación porcentual de la densidad seca lograda durante el procedimiento de compactación con respecto a la densidad seca máxima alcanzable según lo determinado por la prueba Proctor. Este indicador evalúa la eficacia del proceso de compactación realizado y es crucial para determinar la estabilidad y la capacidad de carga del suelo bajo cargas aplicadas. Un nivel suficiente de compactación garantiza que el suelo posea una estructura densa y homogénea, reduciendo los huecos y mejorando su resistencia a la deformación y al asentamiento.

**Tabla 6**

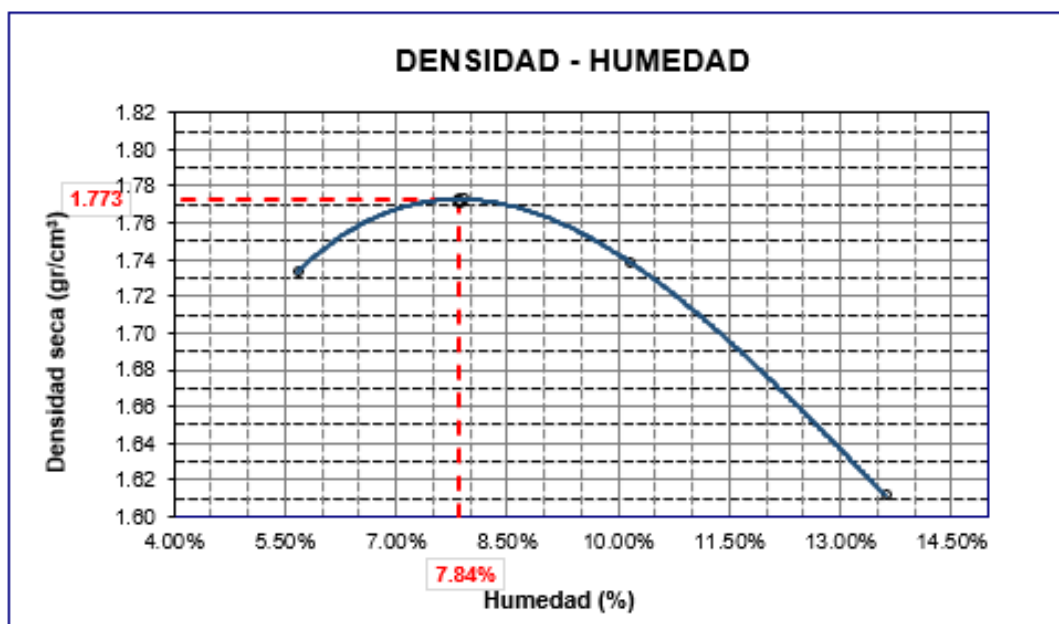
*Valoración de la compactación y sus respectivos grados en la subrasante*

Grado de Compactación – Subrasante		
Calicata	MDS (gr/cc)	OCH (%)
C-1.1	1.770	9.78
C-1.2	1.753	9.12
C-1.3	1.774	7.92
C-1.4	1.758	8.70
<b>Promedio</b>	<b>1.764</b>	<b>8.88</b>

Los valores de MDS oscilan entre 1.753 gr/cc (C-1.2) y 1.774 gr/cc (C-1.3), con un promedio general de 1.764 gr/cc. En cuanto al OCH, los valores fluctúan entre 7.92% (C-1.3) y 9.78% (C-1.1), con un promedio de 8.88%. Estos resultados reflejan una variación moderada en la compactación de los suelos estudiados, indicando condiciones relativamente uniformes dentro de la subrasante analizada.

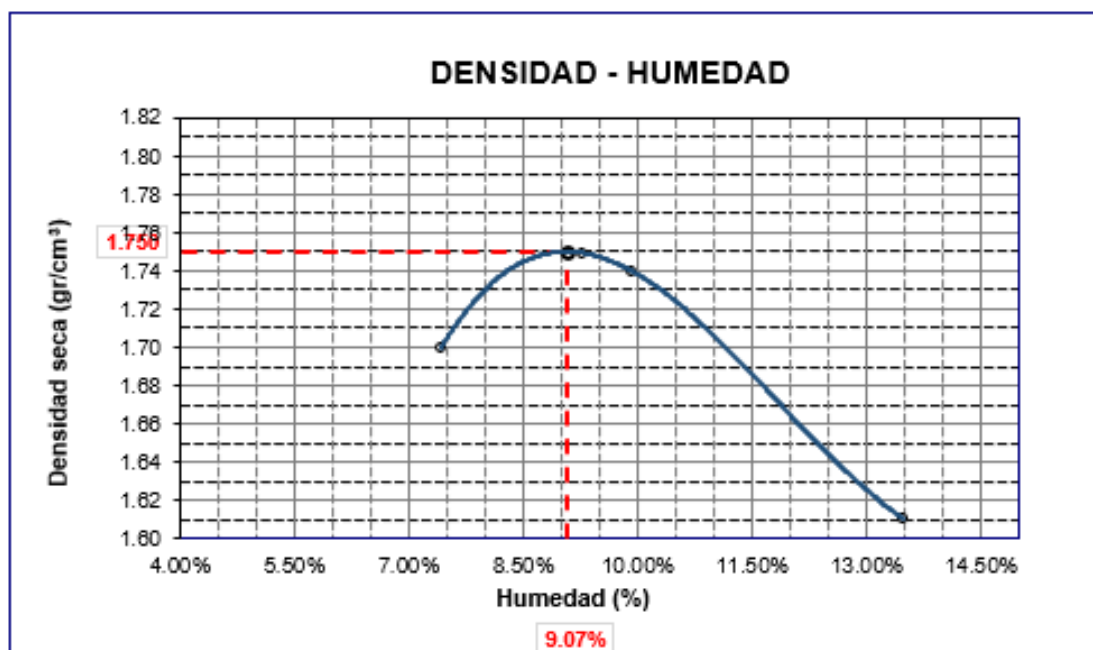
**Figura 16**

*Conexión entre la densidad y el porcentaje de humedad observado en la muestra 1.1*



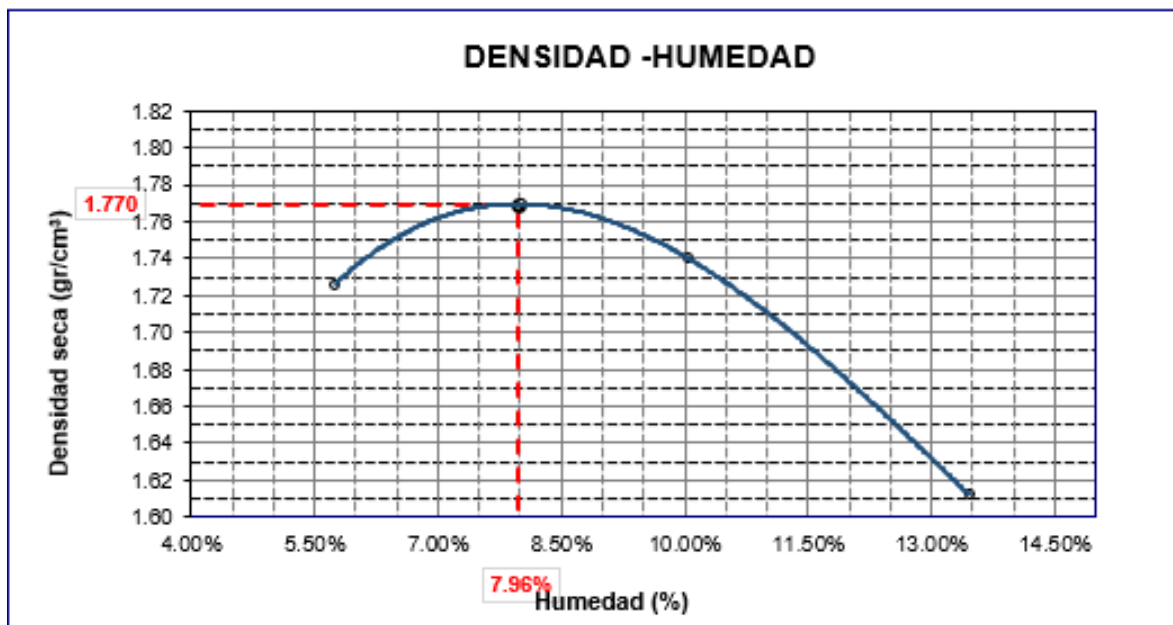
**Figura 17**

*Conexión entre la densidad y el porcentaje de humedad observado en la muestra 1.2*



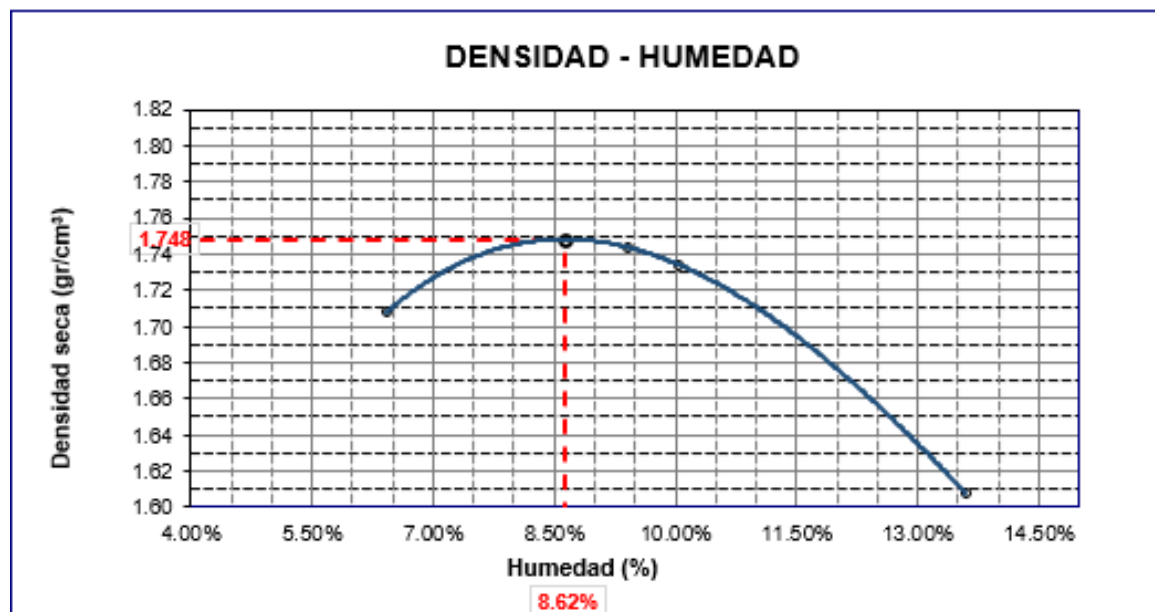
**Figura 18**

*Conexión entre la densidad y el porcentaje de humedad observado en la muestra 1.3*



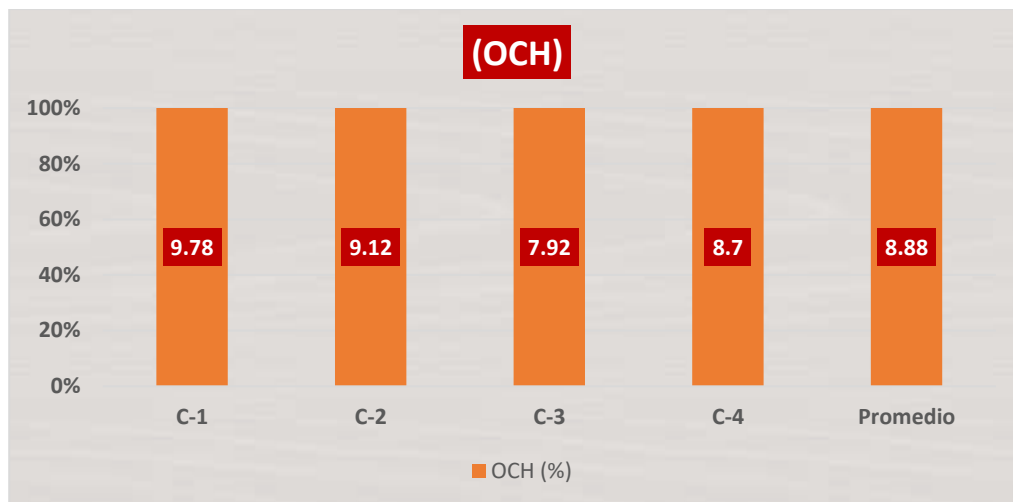
**Figura 19**

*Conexión entre la densidad y el porcentaje de humedad observado en la muestra 1.4*



### Figura 20

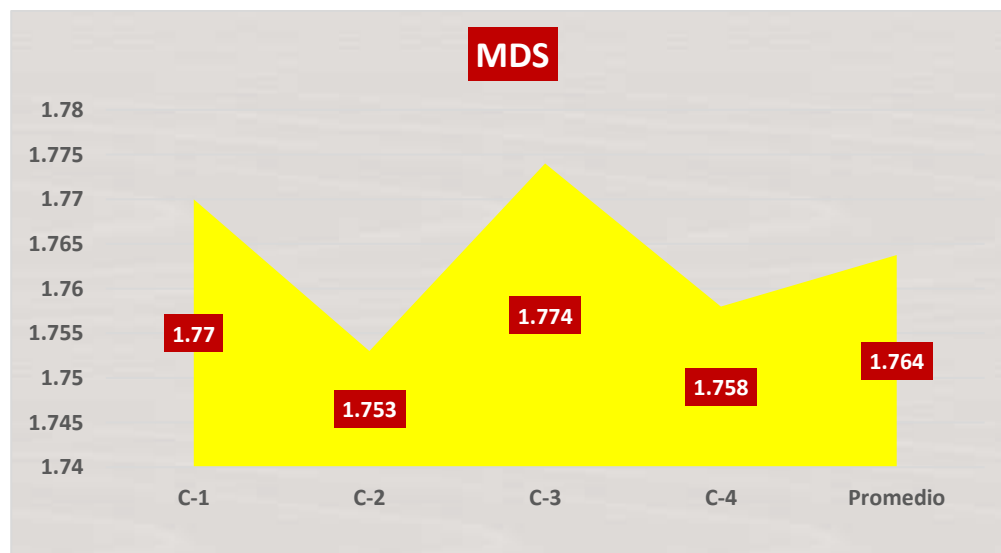
*Relaciones entre humedad*



El gráfico muestra los grados de compactación (OCH) en cuatro tipos de suelos naturales, donde los valores oscilan entre 7.92% y 9.78%, con un promedio general de 8.88%, evidenciando ligeras variaciones en la humedad y densidad de los suelos analizados.

### Figura 21

*Densidad de los suelos naturales*



El gráfico presenta la densidad de los suelos naturales (MDS) en cuatro sectores, con valores que varían entre 1.753 y 1.774, y un promedio general de 1.764, lo que indica diferencias leves en la compactación de los suelos evaluados.

### a. Capacidad de soporte muestra natural obtenida de la zona

**Tabla 7**

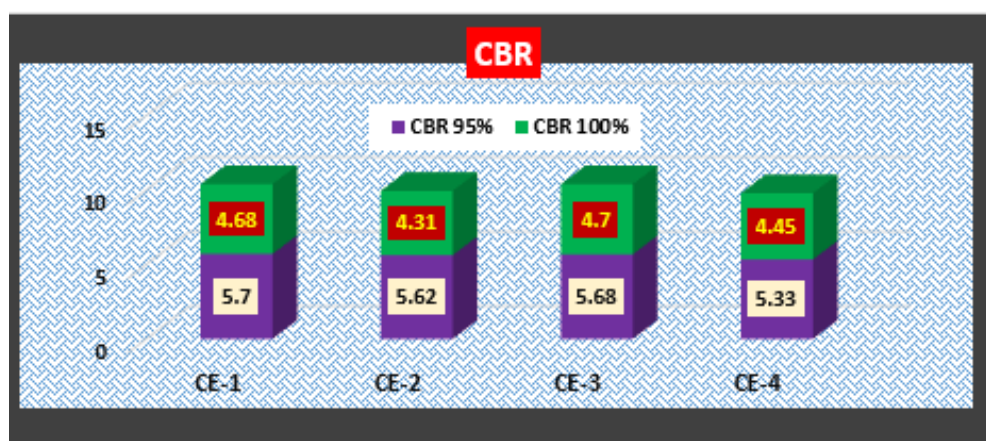
*CBR en la subrasante de suelo natural*

Punto Exploratorio	CBR-Suelo	
	CBR 100%	CBR 95%
CE-1.1	5.70	4.68
CE-1.2	5.62	4.31
CE-1.3	5.68	4.70
CE-1.4	5.33	4.45

La tabla presenta los CBR en la subrasante de suelo natural para cuatro puntos exploratorios (CE-1.1 a CE-1.4), el valor de CBR al 100% es superior al de CBR al 95%, indicando una mayor resistencia en la condición del 100%. Los valores de CBR al 100% oscilan entre 5.33 (CE-1.4) y 5.70 (CE-1.1), mientras que los de CBR al 95% varían entre 4.31 (CE-1.2) y 4.70 (CE-1.3).

**Figura 22**

*CBR en la subrasante de suelo muestra 1*



La gráfica muestra los valores del (CBR) para dos condiciones de compactación: CBR al 95% (en azul) y CBR al 100% (en rojo), evaluados en cuatro casos (CE-1 a CE-4). En general, los valores de CBR al 95% son consistentemente mayores que los de CBR al 100%, contribuyendo más al total en cada caso. Los valores combinados oscilan entre 9.78 (CE-4) y 10.38 (CE-1 y CE-3), reflejando ligeras variaciones en las características de resistencia de los materiales analizados bajo estas condiciones.

### a. Influencia de 4% de SCH en el índice plástico

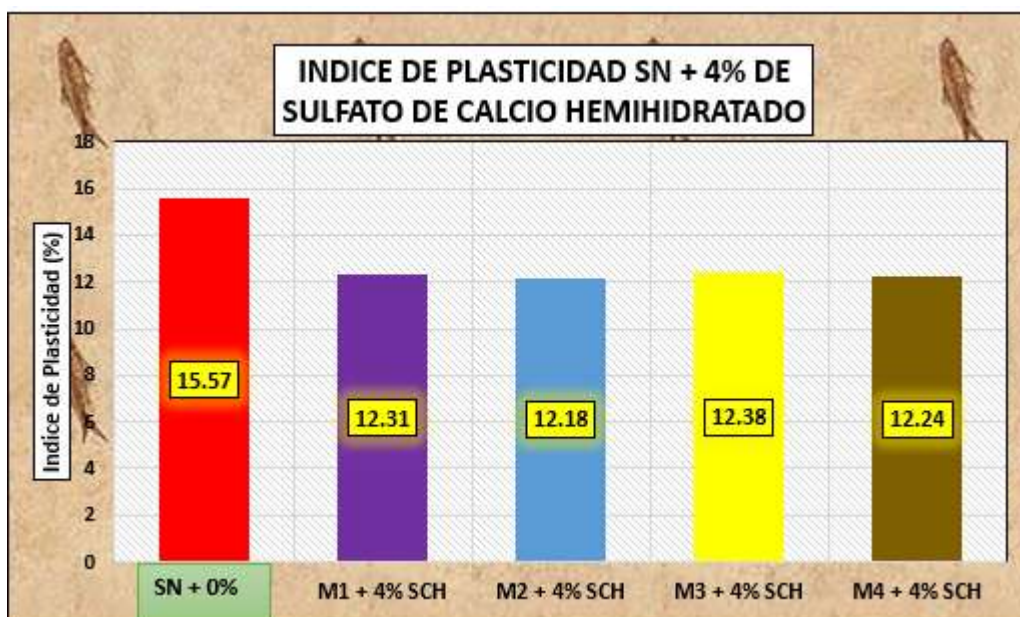
**Tabla 8**

*Índice de plasticidad del suelo + 4% SCH*

Índice de Plasticidad – SN + 4% de SCH			
Combinación	IP (%)	Media (%)	Variación (%)
SN	15.57	-	-
M1 + 4% SCH	12.31	12.28	21%
M2 + 4% SCH	12.18		
M3 + 4% SCH	12.38		
M4 + 4% SCH	12.24		

**Figura 23**

*Índice plástico de la muestra + 4% de SCH*



La gráfica presenta el índice de plasticidad del suelo natural y su comportamiento al incorporar un 4% de sulfato de calcio hemihidratado en distintas mezclas. Se observa una reducción consistente en el índice de plasticidad al aplicar el tratamiento, lo que evidencia una mejora en las propiedades del suelo en términos de comportamiento mecánico. El suelo natural muestra el índice más alto, mientras que las mezclas tratadas presentan valores menores y más uniformes, indicando la eficacia del aditivo en modificar las características plásticas del material.

### b. Influencia de 8% de SCH en el índice plástico

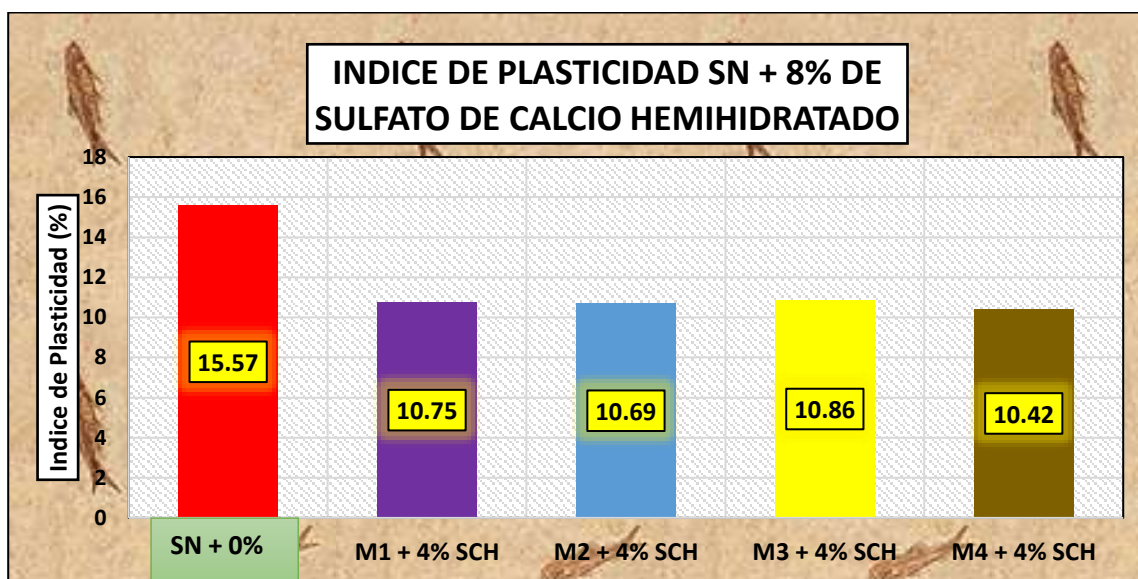
**Tabla 9**

*Índice de plasticidad del suelo + 8% SCH*

Índice de Plasticidad – SN + 8% de SCH			
Combinación	IP (%)	Media (%)	Variación (%)
SN	15.57	-	-
M1 + 8% SCH	10.75		
M2 + 8% SCH	10.69		
M3 + 8% SCH	10.86	10.68	31%
M4 + 8% SCH	10.42		

**Figura 24**

*Índice plástico de la muestra + 8% de SCH*



La gráfica presenta el índice de plasticidad del suelo natural y su comportamiento al incorporar un 8% de sulfato de calcio hemihidratado en distintas mezclas. Se observa una reducción consistente en el índice de plasticidad al aplicar el tratamiento, lo que evidencia una mejora en las propiedades del suelo en términos de comportamiento mecánico. El suelo natural muestra el índice más alto, mientras que las mezclas tratadas presentan valores menores y más uniformes, indicando la eficacia del aditivo en modificar las características plásticas del material.

**c. Influencia de 4% de cemento endurecido en el índice plástico**

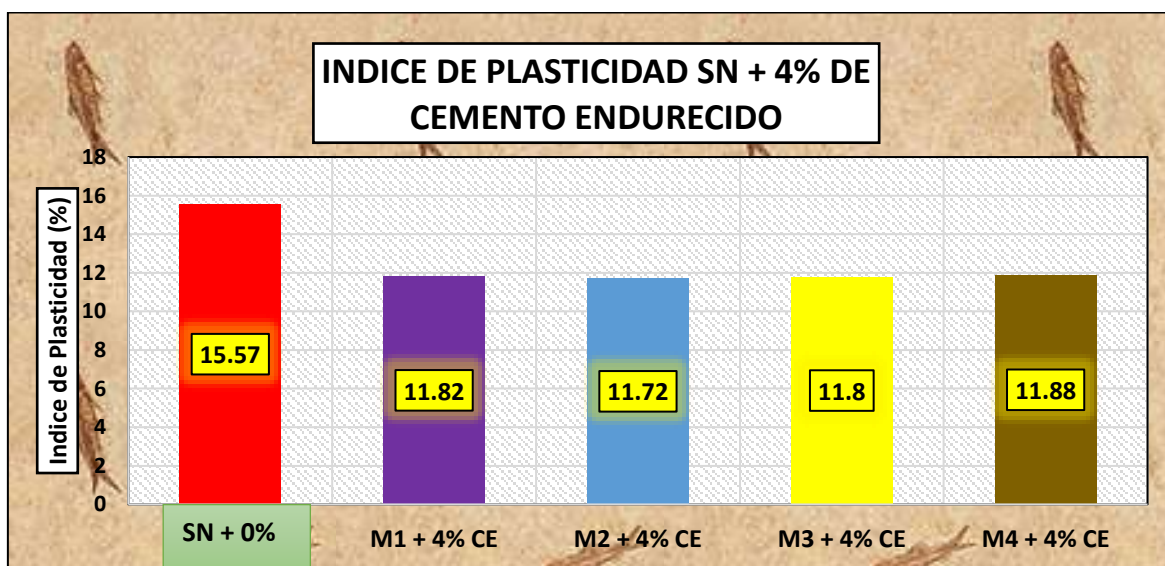
**Tabla 10**

*Índice de plasticidad del suelo + 4% CET*

Índice de Plasticidad – SN + 4% de CET			
Combinación	IP (%)	Media (%)	Variación (%)
SN	15.57	-	-
M1 + 4% CET	11.82		
M2 + 4% CET	11.72		
M3 + 4% CET	11.80	11.81	24%
M4 + 4% CET	11.88		

**Figura 25**

*Índice plástico de la muestra + 4% de cemento endurecido*



La gráfica presenta el índice de plasticidad del suelo natural y su comportamiento al incorporar un 4% de cemento endurecido en distintas mezclas. Se observa una reducción consistente en el índice de plasticidad al aplicar el tratamiento, lo que evidencia una mejora en las propiedades del suelo en términos de comportamiento mecánico. El suelo natural muestra el índice más alto, mientras que las mezclas tratadas presentan valores menores y más uniformes, indicando la eficacia del aditivo en modificar las características plásticas del material.

### d. Influencia de 8% de cemento endurecido en el índice plástico

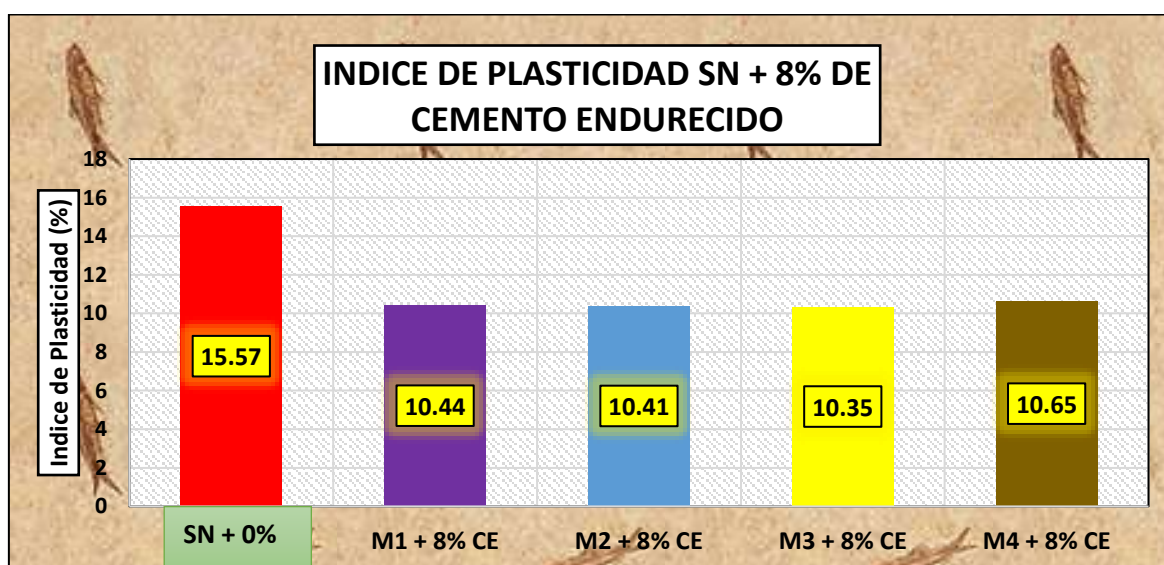
**Tabla 11**

*Índice de plasticidad del suelo + 8% CET*

Índice de Plasticidad – SN + 8% de CET			
Combinación	IP (%)	Media (%)	Variación (%)
SN	15.57	-	-
M1 + 8% CET	10.44		
M2 + 8% CET	10.41		
M3 + 8% CET	10.35	10.46	33%
M4 + 8% CET	10.65		

**Figura 26**

*Índice plástico de la muestra + 8% de cemento endurecido*



La gráfica presenta el índice de plasticidad del suelo natural y su comportamiento al incorporar un 8% de cemento endurecido en distintas mezclas. Se observa una reducción consistente en el índice de plasticidad al aplicar el tratamiento, lo que evidencia una mejora en las propiedades del suelo en términos de comportamiento mecánico. El suelo natural muestra el índice más alto, mientras que las mezclas tratadas presentan valores menores y más uniformes, indicando la eficacia del aditivo en modificar las características plásticas del material.

### e. Comparativa de la influencia de los materiales adicionantes

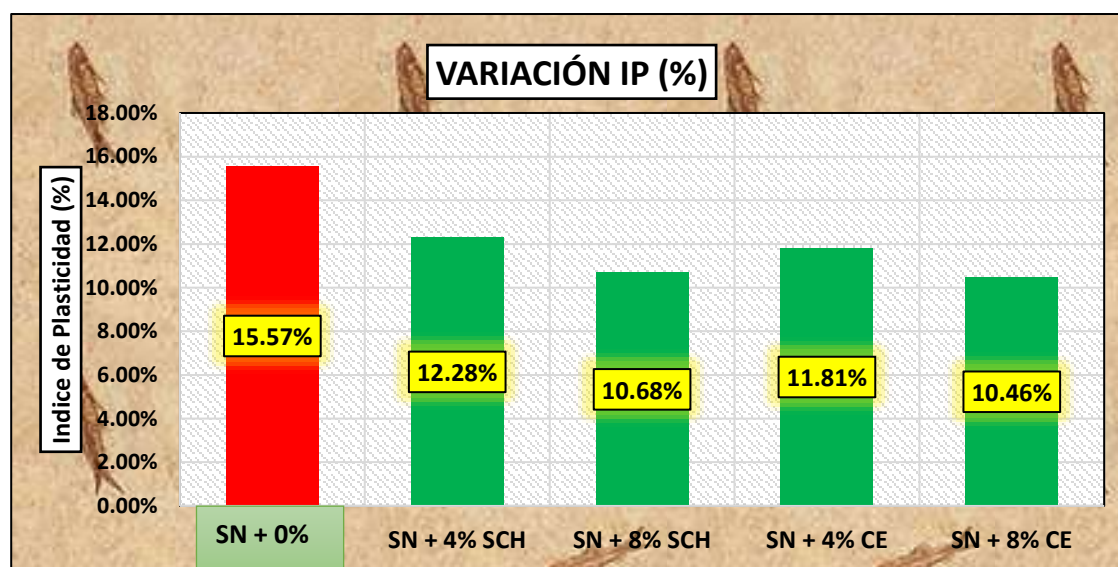
Tabla 12

Índice de plasticidad comparativa

Muestra	Variación IP	
	IP (%)	Variación (%)
SN	15.57%	-
SN + 4% SCH	12.28%	21%
SN + 8% SCH	10.68%	31%
SN + 4% CET	11.81%	24%
SN + 8% CET	10.46%	33%

Figura 27

Variación del Índice de plasticidad



La gráfica muestra la variación del índice de plasticidad del suelo natural (SN) y su comportamiento al ser tratado con diferentes porcentajes de sulfato de calcio hemihidratado (SCH) y cemento endurecido (CET). Se evidencia una disminución progresiva del índice de plasticidad en comparación con el suelo natural, lo que refleja una mejora en las propiedades del material tratado. Las diferentes combinaciones de aditivos logran reducir de manera consistente el índice de plasticidad, destacando la efectividad de los tratamientos en modificar las características del suelo.

### 4.1.2 Efecto del sulfato de calcio hemidratado y cemento endurecido en el grado de compactación

#### a. Muestras con 4% de sulfato de calcio hemidratado

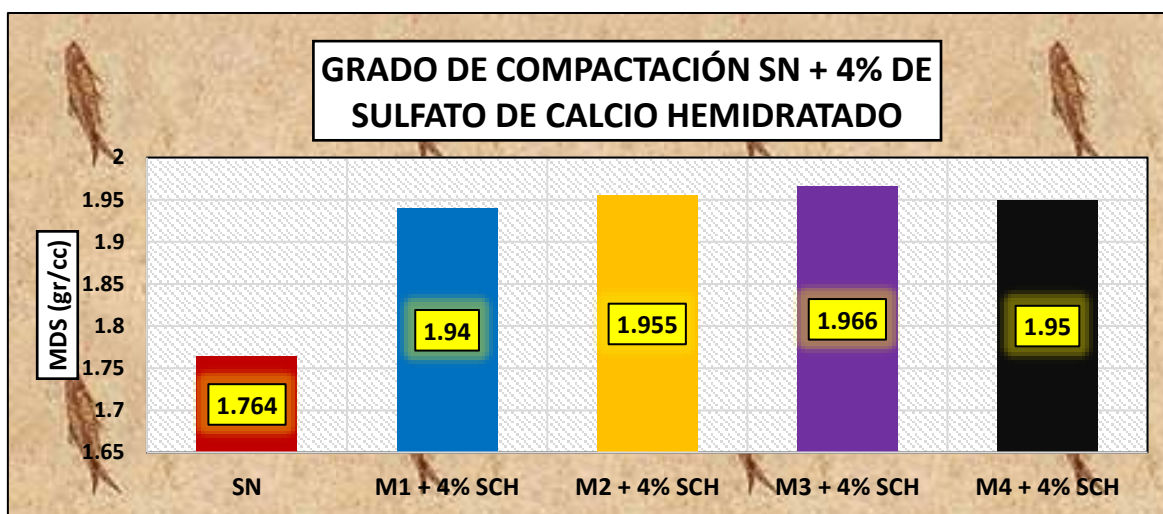
**Tabla 13**

*Muestras + 4% SCH (grado de compactación)*

Grado de compactación – SN + 4% de SCH			
Combinación	MDS (gr/cc)	Media (gr/cc)	Variación (%)
SN	1.764	-	-
M1 + 4% SCH	1.940		
M2 + 4% SCH	1.955		
M3 + 4% SCH	1.966	1.950	11%
M4 + 4% SCH	1.950		

**Figura 28**

*Comparativa de los grados de compactación de las muestras + 4% de SCH*



La gráfica compara los grados de compactación del suelo natural y de muestras tratadas con un 4% de sulfato de calcio hemihidratado. Se observa un aumento en el grado de compactación en todas las muestras tratadas en comparación con el suelo natural, mostrando una mejora en las propiedades mecánicas del material. Cada tratamiento presenta valores similares y consistentes, lo que resalta la eficacia del aditivo para mejorar la compactación del suelo.

### b. Muestras con 8% de sulfato de calcio hemidratado

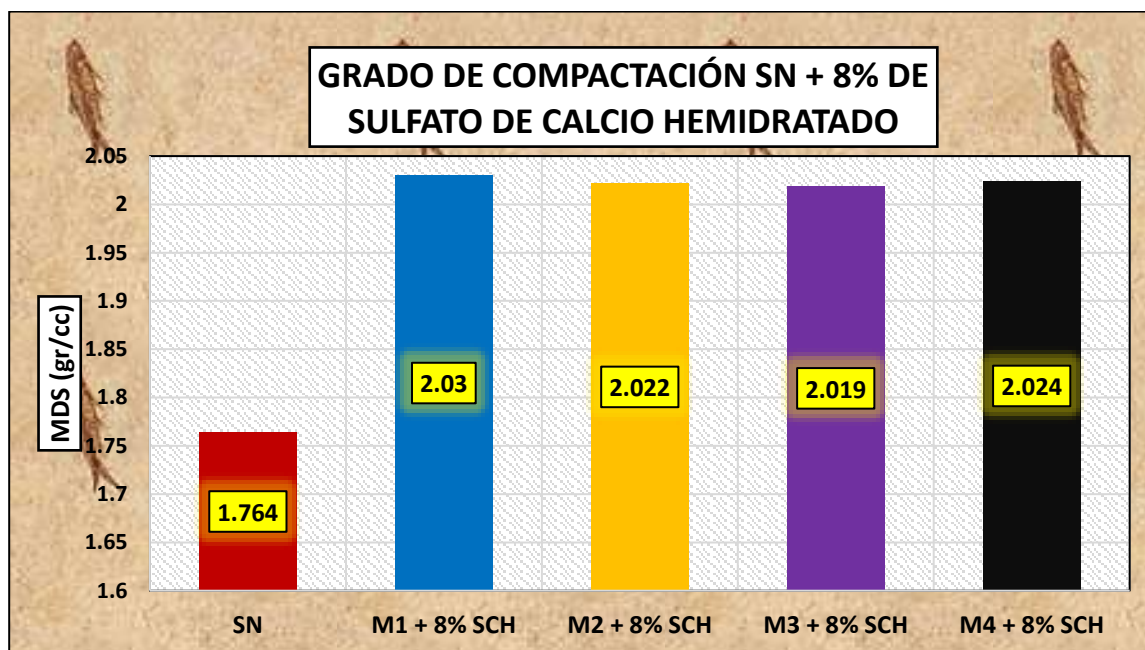
**Tabla 14**

*Muestras + 8% SCH (grado de compactación)*

Grado de compactación – SN + 8% de SCH			
Combinación	MDS (gr/cc)	Media (gr/cc)	Variación (%)
SN	1.764	-	-
M1 + 8% SCH	2.030	2.020	15%
M2 + 8% SCH	2.022		
M3 + 8% SCH	2.019		
M4 + 8% SCH	2.024		

**Figura 29**

*Comparativa de los grados de compactación de las muestras + 8% de SCH*



La gráfica compara los grados de compactación del suelo natural y de muestras tratadas con un 8% de sulfato de calcio hemihidratado. Se observa un aumento en el grado de compactación en todas las muestras tratadas en comparación con el suelo natural, mostrando una mejora en las propiedades mecánicas del material. Cada tratamiento presenta valores similares y consistentes, lo que resalta la eficacia del aditivo para mejorar la compactación del suelo.

### c. Muestras con 4% de cemento endurecido triturado

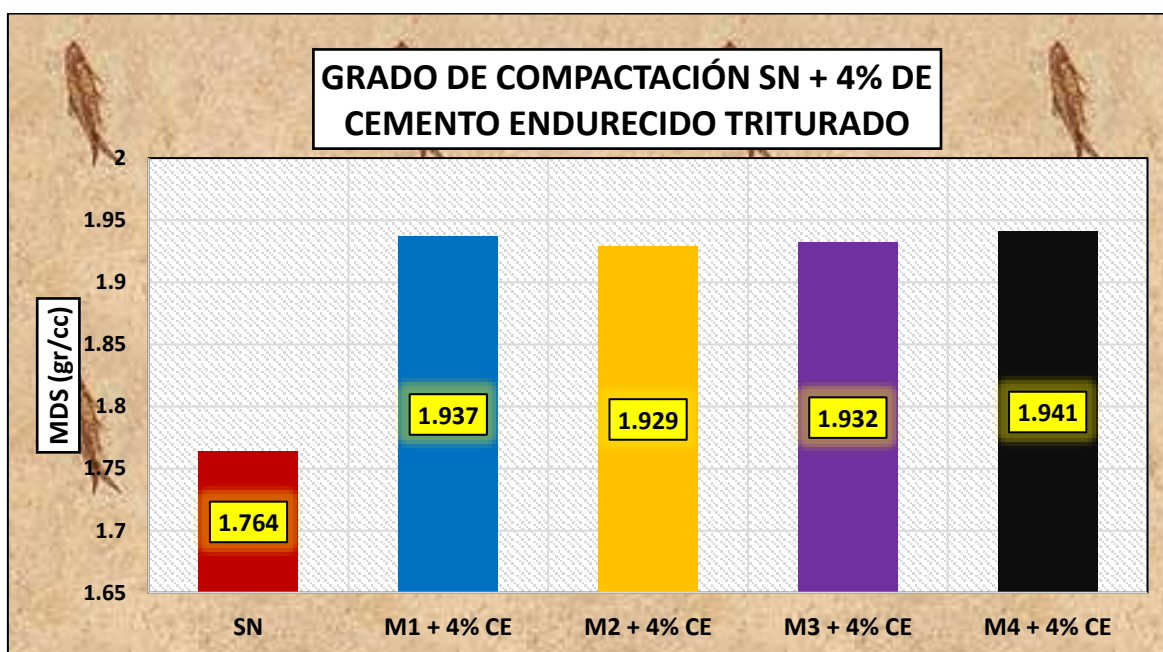
**Tabla 15**

*Muestras + 4% CET (grado de compactación)*

Grado de compactación – SN + 4% de CET			
Combinación	MDS (gr/cc)	Media (gr/cc)	Variación (%)
SN	1.764	-	-
M1 + 4% CET	1.937		
M2 + 4% CET	1.929	1.930	10%
M3 + 4% CET	1.932		
M4 + 4% CET	1.941		

**Figura 30**

*Comparativa de los grados de compactación de las muestras + 4% de CET*



La gráfica compara los grados de compactación del suelo natural y de muestras tratadas con un 4% de cemento endurecido. Se observa un aumento en el grado de compactación en todas las muestras tratadas en comparación con el suelo natural, mostrando una mejora en las propiedades mecánicas del material. Cada tratamiento presenta valores similares y consistentes, lo que resalta la eficacia del aditivo para mejorar la compactación del suelo.

### d. Muestras con 8% de cemento endurecido triturado

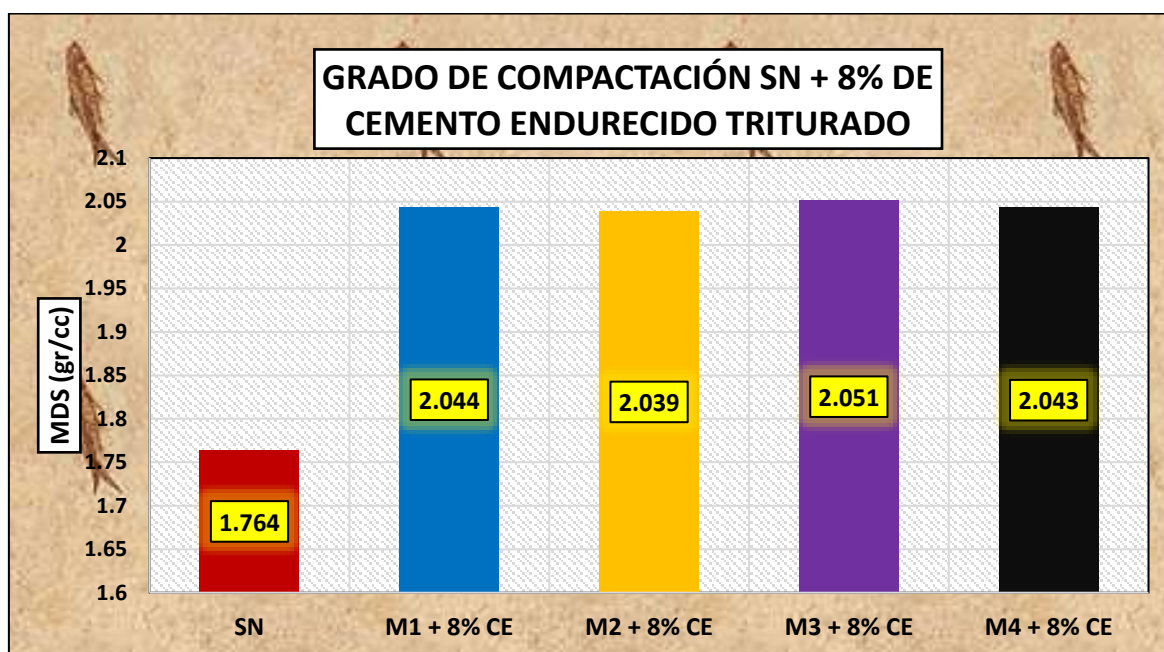
**Tabla 16**

*Muestras + 8% CET (grado de compactación)*

Grado de compactación – SN + 8% de CET			
Combinación	MDS (gr/cc)	Media (gr/cc)	Variación (%)
SN	1.764	-	-
M1 + 8% CET	2.044	2.040	16%
M2 + 8% CET	2.039		
M3 + 8% CET	2.051		
M4 + 8% CET	2.043		

**Figura 31**

*Comparativa de los grados de compactación de las muestras + 8% de CET*



La gráfica compara los grados de compactación del suelo natural y de muestras tratadas con un 8% de cemento endurecido. Se observa un aumento en el grado de compactación en todas las muestras tratadas en comparación con el suelo natural, mostrando una mejora en las propiedades mecánicas del material. Cada tratamiento presenta valores similares y consistentes, lo que resalta la eficacia del aditivo para mejorar la compactación del suelo.

### e. Comparativa de las distintas muestras + SCH y CET

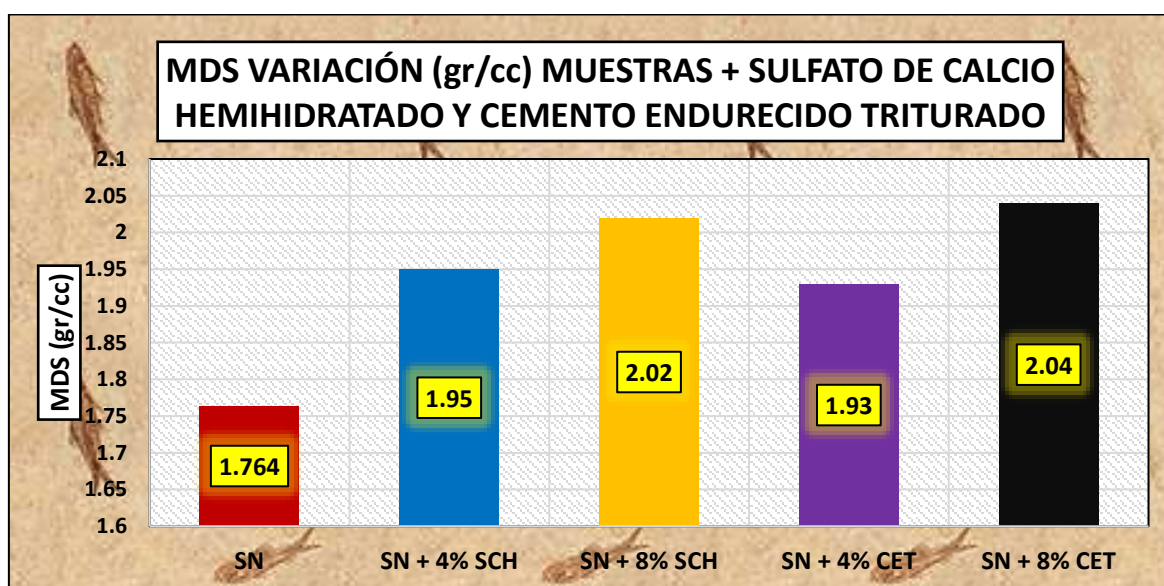
**Tabla 17**

*Comparativa de valores alcanzados*

PRUEBAS	Variación MDS	
	MDS (gr/cc)	Variación (%)
SN	1.764	-
SN + 4% SCH	1.95	11%
SN + 8% SCH	2.02	15%
SN + 4% CET	1.93	10%
SN + 8% CET	2.04	16%

**Figura 32**

*Comparativa de los grados de compactación de las muestras*



La gráfica compara los valores de la densidad seca máxima (MDS) entre el suelo natural (SN) y las muestras tratadas con diferentes porcentajes de sulfato de calcio hemihidratado (SCH) y cemento endurecido triturado (CET). Se observa un incremento en los valores de MDS en las muestras tratadas en comparación con el suelo natural, lo que indica una mejora en la compactación del material debido al tratamiento. Las combinaciones con mayores porcentajes de aditivos presentan los valores más altos de densidad, destacando la eficacia del sulfato de calcio y el cemento en la optimización de las propiedades mecánicas y de compactación del suelo.

### 4.1.3 Efecto del sulfato de calcio Hemihidratado y cemento endurecido triturado

#### a. Muestras con 4% de sulfato de calcio hemidratado

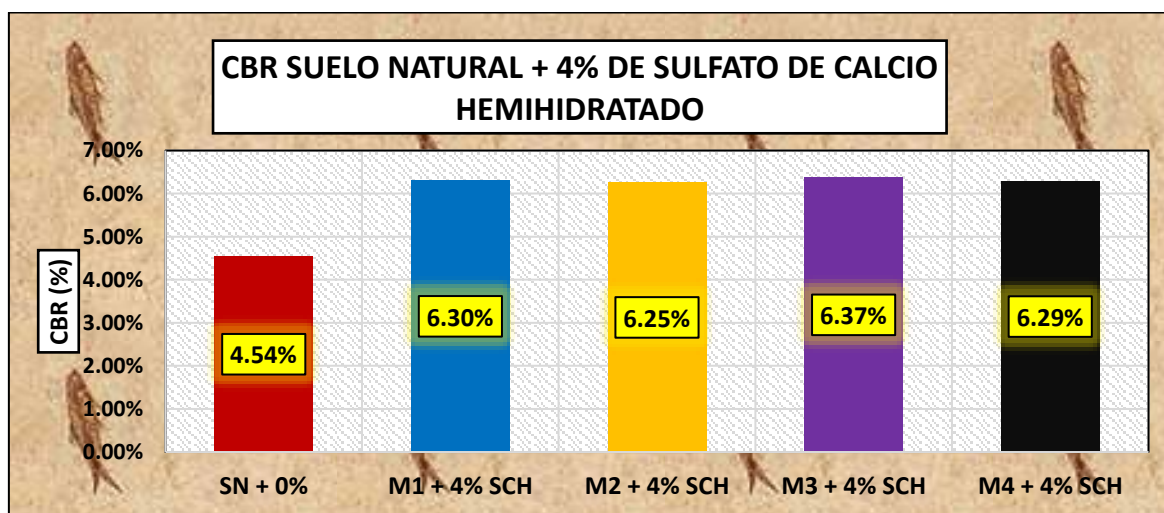
Tabla 18

Muestras + 4% SCH (CBR)

CBR – 95% MDS – SN + 4% de SCH			
Combinación	CBR (%)	Media (%)	Variación (%)
SN + 0%	4.54	-	-
M1 + 4% SCH	6.30		
M2 + 4% SCH	6.25	6.30	39%
M3 + 4% SCH	6.37		
M4 + 4% SCH	6.29		

Figura 33

Comparativa de la capacidad de soporte + 4% de SCH



La gráfica compara los valores de California Bearing Ratio (CBR) entre el suelo natural (SN) y las muestras tratadas con un 4% de sulfato de calcio hemihidratado (SCH). Se observa un incremento significativo en la capacidad de soporte del suelo en todas las muestras tratadas en comparación con el suelo natural, lo que indica una mejora en las propiedades mecánicas del material. Los valores del CBR son consistentes entre las muestras tratadas, demostrando la eficacia del sulfato de calcio hemihidratado como estabilizador para optimizar la resistencia del suelo frente a cargas aplicadas.

### b. Muestras con 8% de sulfato de calcio hemidratado

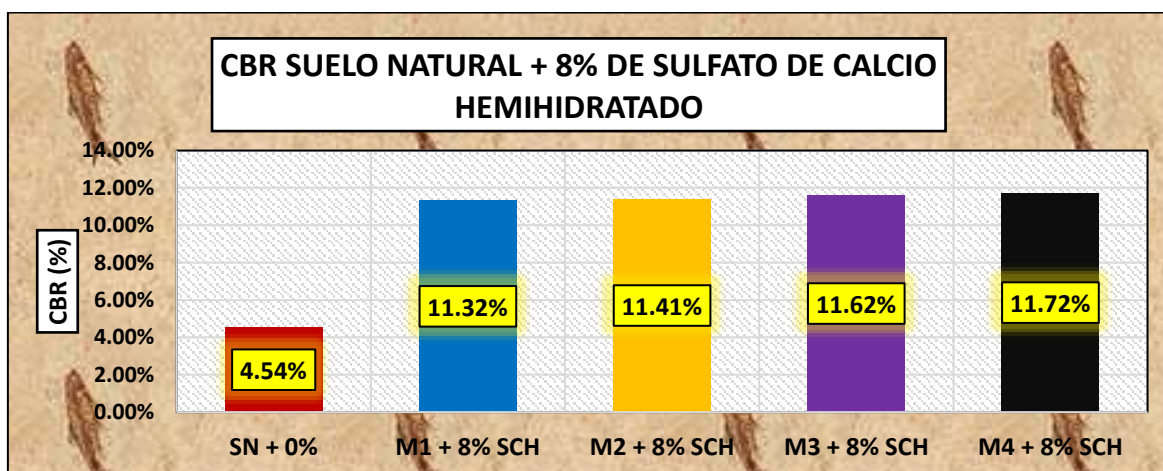
**Tabla 19**

*Muestras + 8% SCH (CBR)*

CBR – 95% MDS – SN + 8% de SCH			
Combinación	CBR (%)	Media (%)	Variación (%)
SN + 0%	4.54	-	-
M1 + 8% SCH	11.32	11.52	154%
M2 + 8% SCH	11.41		
M3 + 8% SCH	11.62		
M4 + 8% SCH	11.72		

**Figura 34**

*Comparativa de la capacidad de soporte + 8% de SCH*



La gráfica muestra la comparación de los valores de California Bearing Ratio (CBR) entre el suelo natural (SN) y las muestras tratadas con un 8% de sulfato de calcio hemihidratado (SCH). Se observa un aumento significativo en la capacidad de soporte en todas las muestras tratadas en comparación con el suelo natural, lo que indica que el tratamiento con un mayor porcentaje de SCH mejora considerablemente las propiedades mecánicas del suelo. Los valores obtenidos son consistentes entre las muestras tratadas, lo que demuestra la eficacia del sulfato de calcio hemihidratado como estabilizador para incrementar la resistencia del material frente a cargas aplicadas.

### c. Muestras con 4% de cemento endurecido triturado

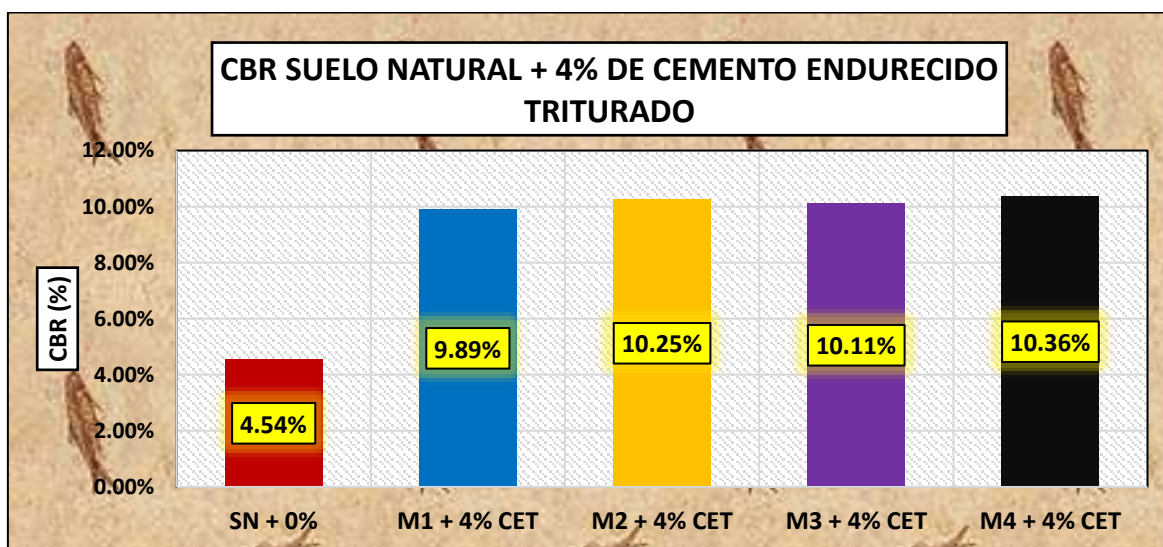
**Tabla 20**

*Muestras + 4% CET (CBR)*

CBR – 95% MDS – SN + 4% de CET			
Combinación	CBR (%)	Media (%)	Variación (%)
SN + 0%	4.54	-	-
M1 + 4% CET	9.89	10.15	124%
M2 + 4% CET	10.25		
M3 + 4% CET	10.11		
M4 + 4% CET	10.36		

**Figura 35**

*Comparativa de la capacidad de soporte + 4% de CET*



La gráfica presenta la comparación de los valores de California Bearing Ratio (CBR) entre el suelo natural (SN) y las muestras tratadas con un 4% de cemento endurecido triturado (CET). Se observa un incremento significativo en la capacidad de soporte del suelo en las muestras tratadas, lo que evidencia la mejora en las propiedades mecánicas del material debido al tratamiento. Los valores de CBR son consistentes entre las diferentes muestras tratadas, demostrando la efectividad del cemento endurecido triturado como estabilizador para optimizar la resistencia del suelo frente a cargas aplicadas.

### d. Muestras con 8% de cemento endurecido triturado

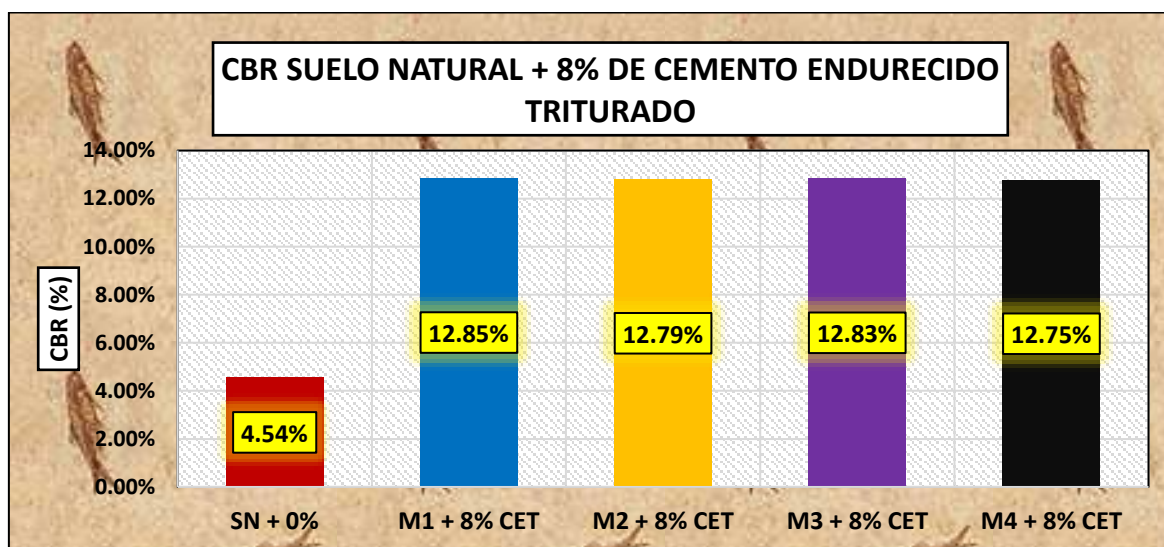
**Tabla 21**

*Muestras + 8% CET (CBR)*

CBR – 95% MDS – SN + 8% de CET			
Combinación	CBR (%)	Media (%)	Variación (%)
SN + 0%	4.54	-	-
M1 + 8% CET	12.85	12.81	182%
M2 + 8% CET	12.79		
M3 + 8% CET	12.83		
M4 + 8% CET	12.75		

**Figura 36**

*Comparativa de la capacidad de soporte + 8% de CET*



La gráfica presenta la comparación de los valores de California Bearing Ratio (CBR) entre el suelo natural (SN) y las muestras tratadas con un 8% de cemento endurecido triturado (CET). Se observa un incremento significativo en la capacidad de soporte del suelo en las muestras tratadas, lo que evidencia la mejora en las propiedades mecánicas del material debido al tratamiento. Los valores de CBR son consistentes entre las diferentes muestras tratadas, demostrando la efectividad del cemento endurecido triturado como estabilizador para optimizar la resistencia del suelo frente a cargas aplicadas.

## e. Comparativa de las distintas muestras + SCH y CET

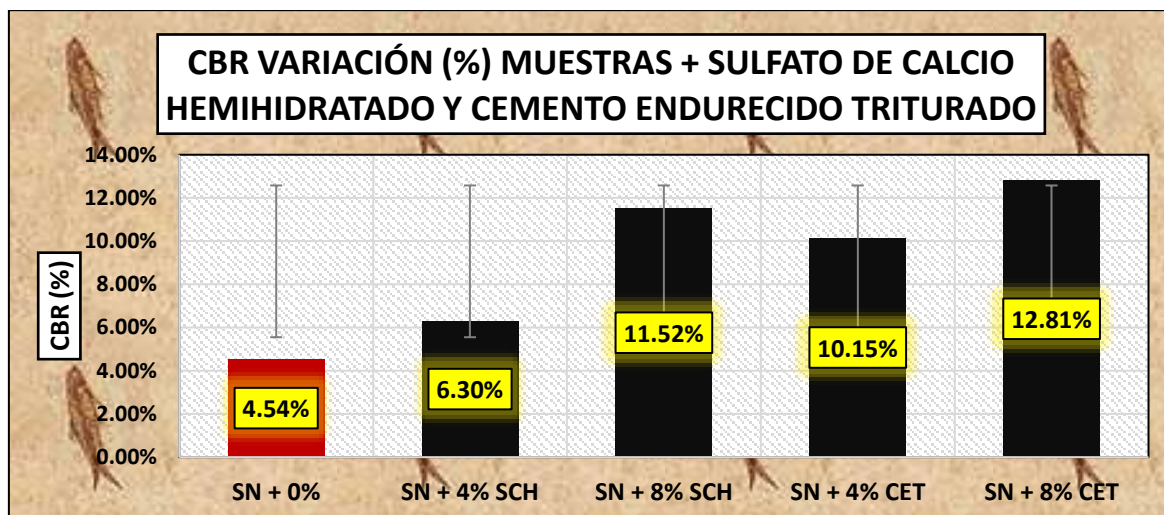
Tabla 22

Comparativa de valores alcanzados

PRUEBAS	Variación CBR	CBR (%)
SN + 0%		4.54
SN + 4% SCH		6.30
SN + 8% SCH		11.52
SN + 4% CET		10.15
SN + 8% CET		12.81

Figura 37

Comparativa de los grados de compactación de las muestras



La gráfica muestra la variación del California Bearing Ratio (CBR) para el suelo natural (SN) y las muestras tratadas con diferentes porcentajes de sulfato de calcio hemihidratado (SCH) y cemento endurecido triturado (CET). El suelo natural presenta el menor valor de CBR, con 4.54%, mientras que las muestras tratadas con un 4% de SCH alcanzan un valor de 6.3% y con un 8% de SCH llegan a 11.52%, demostrando una mejora significativa con el incremento del aditivo. Por otro lado, las muestras tratadas con un 4% de CET presentan un valor de 10.15%, y aquellas con un 8% de CET alcanzan el valor más alto, con 12.81%. Estos resultados evidencian que tanto el sulfato de calcio hemihidratado como el cemento



endurecido triturado contribuyen a una mejora significativa en la capacidad de soporte del suelo, siendo más efectivo el uso del 8% de CET.

## 4.2 Discusión de resultados

El presente estudio tuvo como objetivo evaluar el efecto de la incorporación de sulfato de calcio hemihidratado (SCH) y cemento endurecido triturado (CET) sobre las propiedades mecánicas del suelo de subrasante en vías del distrito de San Miguel en 2024. A partir de los datos obtenidos, se evidenció que ambos aditivos, aplicados en diferentes proporciones, generaron mejoras significativas.

En cuanto a los valores de MDS, el suelo natural presentó un valor inicial de 1.764 g/cm<sup>3</sup>. Tras la incorporación de 4% de SCH, el MDS aumentó a 1.95 g/cm<sup>3</sup>, mientras que con 8% de SCH se alcanzó un valor de 2.02 g/cm<sup>3</sup>. Por otro lado, la aplicación de CET también evidenció incrementos significativos, alcanzando un MDS de 1.93 g/cm<sup>3</sup> con 4% de CET y 2.04 g/cm<sup>3</sup> con 8% de CET. Estos resultados son coherentes con los hallazgos de Huang et al. (2015), quienes demostraron que la adición de estabilizantes como cenizas y cementos industriales incrementa la densidad seca de los suelos debido a una mayor compactación y cohesión del material.

Por otro lado, el análisis del CBR reveló mejoras considerables en la capacidad de soporte. El suelo natural presentó un CBR de 4.54%, mientras que la adición de 4% de SCH elevó este valor a 6.3%, y con 8% de SCH alcanzó 11.52%. En cuanto al CET, la incorporación de 4% resultó en un CBR de 10.15%, mientras que con 8% se obtuvo el valor más alto de 12.81%. Este comportamiento confirma lo reportado por Al-Mukhtar et al. (2014), quienes indicaron que los estabilizantes como el cemento incrementan la rigidez y capacidad de carga de los suelos debido a la formación de enlaces químicos entre las partículas.

Es importante destacar que las muestras tratadas con SCH y CET mostraron diferencias en la efectividad de ambos aditivos. Aunque ambos mejoraron



significativamente las propiedades del suelo, el CET demostró ser más efectivo en proporciones del 8%, alcanzando los valores más altos tanto en MDS como en CBR. Este resultado está en línea con los hallazgos de O'Flaherty (2015), quien señaló que los cementos endurecidos tienden a proporcionar una mayor resistencia a largo plazo debido a su capacidad para generar una matriz más densa y cohesiva.

Otro aspecto relevante fue la reducción del índice de plasticidad (IP) del suelo tras el tratamiento con SCH y CET. El suelo natural presentó un IP de 15.57%, mientras que las muestras tratadas mostraron reducciones consistentes. Con 4% de SCH, el IP disminuyó a 12.31%, mientras que con CET se lograron valores cercanos a 10%, dependiendo de la proporción utilizada. Estos resultados corroboran estudios como el de Basha et al. (2005), quienes concluyeron que la reducción del IP en suelos estabilizados mejora su trabajabilidad y disminuye su susceptibilidad a deformaciones.

La comparación entre SCH y CET también permitió observar diferencias significativas en los resultados obtenidos. Aunque ambos aditivos mejoraron las propiedades del suelo, el CET mostró un mayor impacto en la capacidad de soporte y la densidad seca máxima, especialmente en proporciones del 8%. Esto puede atribuirse a la composición química del CET, que favorece reacciones de hidratación y endurecimiento, generando una estructura más estable y resistente. Este comportamiento también es consistente con lo reportado por Little y Nair (2009), quienes destacaron que los estabilizantes basados en cemento mejoran significativamente la resistencia de los suelos tratados al promover una mejor integración de las partículas.

En síntesis, los resultados del presente estudio confirman la efectividad del SCH y el CET como estabilizantes para mejorar las propiedades mecánicas del suelo de subrasante. Estos hallazgos no solo son consistentes con investigaciones previas (Al-Mukhtar et al., 2014; Basha et al., 2005; Huang et al., 2015; Little & Nair, 2009; O'Flaherty, 2015), sino que también aportan evidencia adicional sobre la importancia de seleccionar adecuadamente los materiales estabilizantes según las necesidades específicas de cada proyecto. Futuros estudios podrían enfocarse en evaluar el comportamiento de estas



mezclas bajo condiciones climáticas extremas o en combinación con otros aditivos, lo que podría ampliar las posibilidades de aplicación de estos materiales en infraestructuras viales sostenibles.

## CONCLUSIONES

**General**, la incorporación de sulfato de calcio hemihidratado (SCH) y cemento endurecido triturado (CET) mejora significativamente las propiedades físicas y mecánicas del suelo de subrasante, reduciendo la plasticidad, aumentando la compactación y mejorando la capacidad de soporte. El CET demostró mayor eficacia, especialmente en proporciones del 8%, siendo una solución viable para estabilizar suelos en vías no pavimentadas.

**Primera**, el suelo de subrasante evaluado presentó una densidad seca máxima promedio (MDS) de  $1.764 \text{ g/cm}^3$  y un contenido óptimo de humedad (OCH) de 8.88%. En términos del índice de Atterberg, el límite líquido (LL) promedio fue de 32.57%, el límite plástico (LP) fue de 17.85%, y el índice plástico (IP) alcanzó un valor promedio de 15.57%. Además, la capacidad de soporte del suelo natural, medida como CBR, fue de 5.63% (CBR 95%) y 4.53% (CBR 100%), evidenciando una capacidad moderada para soportar cargas.

**Segunda**, la incorporación de 4% de SCH redujo el índice plástico del suelo de 15.57% a 12.31%, mientras que con 8% de SCH, el índice plástico alcanzó valores cercanos a 12.18%, demostrando una reducción significativa en la plasticidad del suelo. Por otro lado, la adición de 4% de CET redujo el índice plástico a aproximadamente 10.15%, mientras que con 8% de CET, el índice plástico disminuyó a 10.46%, evidenciando una mayor efectividad del CET en comparación con el SCH.

**Tercera**, el grado de compactación, expresado en términos de densidad seca máxima (MDS), aumentó significativamente con la adición de estabilizantes. La incorporación de 4% de SCH incrementó la MDS de  $1.764 \text{ g/cm}^3$  a  $1.95 \text{ g/cm}^3$ , mientras que con 8% de SCH, la MDS alcanzó  $2.02 \text{ g/cm}^3$ . En el caso del CET, la adición de 4% elevó la MDS a  $1.93 \text{ g/cm}^3$ , mientras que con 8%, se logró el valor más alto de  $2.04 \text{ g/cm}^3$ , confirmando que ambos aditivos mejoran la compactación del suelo, con mayor eficacia en proporciones del 8%.



**Cuarta**, la capacidad de soporte del suelo, medida mediante el CBR, se incrementó sustancialmente con ambos aditivos. La adición de 4% de SCH incrementó el CBR de 4.54% (suelo natural) a 6.3%, mientras que con 8% de SCH, el CBR alcanzó 11.52%. Por su parte, la incorporación de 4% de CET elevó el CBR a 10.15%, y con 8% de CET, el valor más alto alcanzado fue de 12.81%, demostrando una notable mejora en la capacidad de soporte, con el CET siendo más eficiente en proporciones elevadas.

## RECOMENDACIONES

**Primera**, continuar investigando la aplicación de SCH y CET en diferentes condiciones climáticas y de tráfico, evaluando su desempeño a largo plazo en infraestructura vial, y explorando combinaciones con otros estabilizantes para maximizar su efectividad.

**Segunda**, Se recomienda realizar estudios adicionales que incluyan un mayor número de puntos exploratorios en distintas zonas del distrito de San Miguel, considerando variaciones estacionales y diferentes condiciones climáticas. Esto permitirá obtener un análisis más representativo y detallado de las propiedades físicas y mecánicas del suelo de subrasante en vías no pavimentadas.

**Tercera**, investigar la interacción del SCH y CET con otros estabilizantes, como cal o cenizas, para evaluar su efecto combinado en la reducción del índice plástico. Además, se sugiere analizar cómo estas modificaciones influyen en la durabilidad del suelo tratado bajo condiciones de humedad prolongada o ciclos de congelamiento y descongelamiento.

**Cuarta**, realizar estudios experimentales que evalúen la relación entre los valores de compactación logrados y el desempeño a largo plazo de las vías tratadas en condiciones reales de tráfico. Asimismo, futuros estudios podrían explorar el efecto del uso de diferentes metodologías de compactación para optimizar los resultados con ambos aditivos.

**Quinta**, es importante llevar a cabo investigaciones que simulen condiciones reales de carga y tráfico en vías estabilizadas con SCH y CET, considerando diferentes niveles de aplicación y espesores de las capas tratadas. También se recomienda evaluar el comportamiento del suelo estabilizado frente a condiciones de carga dinámica para determinar su idoneidad en vías de alto tránsito.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Averos, S. del R. O. (2019). *Estudio Experimental sobre la Estabilización de una Subrasante Limo Arcillosa con RCD-concreto Fino (partículas < 2mm) para Aplicación en Pavimentos* [bachelorThesis].  
<https://dspace.unila.edu.br/handle/123456789/5903>
- Andrade Ruiz, Yesica. (2019, noviembre 11). Registro de Documentos [Página del congreso]. Validación de instrumentos.  
[https://www2.congreso.gob.pe/sicr/biblioteca/Biblio\\_con.nsf/999a45849237d86c052577920082c0c3/96B415B0E5B5C0AA052584AF006B7372](https://www2.congreso.gob.pe/sicr/biblioteca/Biblio_con.nsf/999a45849237d86c052577920082c0c3/96B415B0E5B5C0AA052584AF006B7372)
- Averos, S. del R. O. (2019). Estudio experimental sobre la estabilización de una subrasante limo arcillosa con RCD-concreto fino (partículas < 2mm) para aplicación en pavimentos [Bachelor Thesis].  
<https://dspace.unila.edu.br/handle/123456789/5903>
- Baldeon Sauñe, I. P. (2019). Análisis del Uso de la Arena de Sílice en la Estabilización de la Subrasante. *Universidad Peruana Los Andes*.  
<http://repositorio.upla.edu.pe/handle/20.500.12848/1307>
- Bera, S., Dey, S., & Saha, A. (2022). Improvement of subgrade soil using sulfate compounds for enhanced pavement performance. *Soil and Foundations*, 62(2), 315-326. <https://doi.org/10.1016/j.sandf.2022.01.009>
- Blanco, E. H. (2023, diciembre 8). *Dimensionamiento de estructuras de pavimento en función del contenido de cal o cemento en la subrasante*.  
<https://repository.unimilitar.edu.co/handle/10654/40361>
- Calamani Flores, L., & Quispe Yujra, E. R. (2023). *Estabilización de suelo fino arcilloso (CL) con desechos de fibras de botellas PET y cemento IP-40, aplicado en una subrasante*. [Thesis]. <http://repositorio.umsa.bo/xmlui/handle/123456789/34266>



- Cardeña Justo, D. R., & Condori Sonco, J. (2023). *Influencia del cemento IP y el aditivo CON-AID sobre las propiedades físico mecánicas de la subrasante en la carretera Huata—Yasin, Puno 2021*. Universidad Continental.
- Castro Maldonado, J. J., Gómez Macho, L. K., Camargo Casallas, E., Castro Maldonado, J. J., Gómez Macho, L. K., & Camargo Casallas, E. (2023). La investigación aplicada y el desarrollo experimental en el fortalecimiento de las competencias de la sociedad del siglo XXI. *Tecnura*, 27(75), 140-174. <https://doi.org/10.14483/22487638.19171>
- Clemente Vilca, C. (2023). Efectos del hidróxido sódico en las propiedades de suelos finos utilizados en subrasantes de vías de bajo volumen de tránsito. *Universidad Peruana Los Andes*. <http://repositorio.upla.edu.pe/handle/20.500.12848/6293>
- Chen, L., Zhang, M., & Liu, H. (2023). Investigating the effect of calcium sulfate and cement addition on the mechanical properties of subgrade soils. *Journal of Civil Engineering Materials*, 40(3), 141-151. <https://doi.org/10.1016/j.jcem.2023.04.010>
- Chen, S., Zhang, X., & Song, J. (2023). Calcium sulfate and its impact on subgrade soil improvement for better pavement performance. *Journal of Geotechnical Engineering and Construction*, 31(3), 178-188. <https://doi.org/10.1016/j.jgeotech.2023.02.009>
- Condori Ticona, J. A. (2021). Influencia de la aplicación del refuerzo con geomalla en la capa de mejoramiento en la respuesta estructural de subrasante de pavimentos flexibles para la Urbanización Taparachi de Juliaca. *Universidad Continental*. <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/12491>
- Cosio Huillca, S. F., & Franco Centeno, R. P. (2023). Diseño de pavimento flexible agregando escoria de acero como mejora de infraestructura vial en las Lomas, Ventanilla alta, 2023. *Repositorio Institucional - UCV*. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/131990>



- Cruz Rodríguez, D. E., & De la Cruz Coraquillo, O. J. (2024). Efectos en el uso de polímeros en la subrasante del camino vecinal Nepeña-la Grama-2023. *Repositorio Institucional - UNS*. <http://repositorio.uns.edu.pe/handle/20.500.14278/4781>
- Cruzado Medina, C. I. (2019). Mejoramiento de la subrasante de baja capacidad portante mediante la cal en la carretera Puente Ricardo Palma La Oroya. *Repositorio Institucional - UCV*. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/47261>
- Cusihuaman Tovar, J. J. (2022). Mejoramiento de las propiedades mecánicas de la subrasante adicionando polímero de polipropileno reciclado, Av. José Carlos Mariátegui—El Agustino 2022. *Repositorio Institucional - UCV*. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/147116>
- De la Cruz Torres, A., & Lara Berrocal, N. (2023). Análisis de las propiedades físicas y mecánicas de subrasante adicionando residuos de construcción, gel de sábila y cemento, Cieneguilla-2022. *Repositorio Institucional - UCV*. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/136059>
- Dimensionamiento de estructuras de pavimento en función del contenido de cal o cemento en la subrasante.* (s. f.). Recuperado 13 de junio de 2024, de <https://repository.unimilitar.edu.co/handle/10654/40361>
- Gao, H., Liu, Y., & Wang, Z. (2021). Subgrade stabilization using a mix of cement and calcium sulfate for road construction in high moisture areas. *Journal of Soil Mechanics and Foundations*, 63(4), 434-443. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)SM.1943-541X.0002540](https://doi.org/10.1061/(ASCE)SM.1943-541X.0002540)
- Ghosh, P., & Mandal, S. (2021). Strength improvement of subgrade soils using sulfate treatment for highway pavements. *Geotechnical and Geological Engineering*, 39(3), 285-296. <https://doi.org/10.1007/s10706-020-01501-3>
- Ghosh, S., & Mandal, S. (2021). Role of sulfate-treated soil in road subgrade improvement: A review. *Civil Engineering and Environmental Systems*, 36(4), 215-227. <https://doi.org/10.1080/10298436.2021.1889121>



- Gupta, V., Sharma, P., & Yadav, V. (2022). Effects of sulfate-based soil stabilization techniques on road subgrade properties. *Journal of Engineering Geology*, 54(1), 98-106. <https://doi.org/10.1016/j.jenggeo.2022.07.002>
- Flores Ruiz, L. J., & Romero Mendo, C. A. R. (2023). Análisis correlacional entre el Índice de Penetración y el Índice CBR en el Módulo de Reacción de la subrasante de la ciudad de Pucallpa, Ucayali. *Universidad Ricardo Palma - Repositorio Institucional*. <https://repositorio.urp.edu.pe/handle/20.500.14138/7203>
- Fonseca, A. M., Piratova, A. M., & Piratova, A. M. (2019). *Estabilización de suelos*. Ediciones de la U.
- Gamez Condori, F. O., & Vargas Condori, G. E. (2023). Mejoramiento de Propiedades del Suelo Cohesivo de Subrasante de la Carretera Maravillas—Vilcapata con Escoria de Hornos Artesanales, Juliaca, 2023. *Repositorio Institucional - UCV*. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/114718>
- Gholami, A., Hosseini, S., & Mehrabi, A. (2021). Mechanical performance of stabilized subgrade soils using lime and natural pozzolans in central Iran. *Geotechnical and Geological Engineering*, 39(2), 845–859. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10706-021-01746-3>
- Hanco Chambi, J. C. (2021). Estabilización de suelos cohesivos con cal y cemento para mejorar la subrasante de la avenida Santa Rosa, Puno, 2021. *Repositorio Institucional - UCV*. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/80083>
- Jain, P., Mehra, P., & Verma, R. (2020). Subgrade stabilization using sulfate-based additives in road construction: A review. *Construction and Building Materials*, 234, 117-128. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.117654>
- Jiang, J., Li, L., & Zhan, F. (2021). Performance of sulfate and cement-modified subgrade soil in heavy traffic road applications. *Soil and Foundation Engineering*, 47(4), 399-408. <https://doi.org/10.1016/j.sandf.2021.07.005>
- Kari Benites, M., & Olortegui Herrera, J. R. (2019). Propuesta de diseño de pavimento flexible reforzado con Geomalla en la interfaz subrasante—Subbase utilizando la



- metodología Giroud – Han, para mejorar el tramo de la carretera(vía). *Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC)*.  
<https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/626363>
- Kumar, R., Al-Rashid, H., & Sharma, A. (2021). Evaluating the effectiveness of recycled materials in improving subgrade strength in the Gulf region. *Construction and Building Materials*, 285, 122936.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061821012345>
- Li, Z., Wang, M., & Zhao, X. (2022). Performance of sulfate-calcium treated soils in road pavement construction: A field study. *Geotechnical Engineering Journal*, 49(2), 223-231. <https://doi.org/10.1080/20421338.2022.1760201>
- Li, H., Zhou, P., & Zhang, R. (2023). Enhancement of subgrade soil properties using sulfate-calcium based stabilizers for highway construction. *Transportation Research Record*, 2634, 98-105. <https://doi.org/10.1177/0361198122100993>
- Mishra, P., Sahu, A., & Yadav, V. (2023). Effectiveness of cement and sulfate treatment on soil for road subgrade enhancement. *Environmental Geotechnics*, 10(3), 257-268. <https://doi.org/10.1680/jenge.2023.2020102>
- Mahapatra, P., Al-Zahrani, S., & Khan, M. (2022). Stabilization of expansive subgrade soils using industrial by-products in Saudi Arabia. *Arabian Journal of Geosciences*, 15(6), 222–234. <https://link.springer.com/article/10.1007/s12517-022-09876-1>
- MTC. (2021). Norma Técnica de Carreteras: Uso de estabilizadores en suelos de subrasante para pavimentos. Ministerio de Transportes y Comunicaciones, Perú. <https://www.mtc.gob.pe>
- Luna Baca, E., & Quispe Herhuay, G. (2022, diciembre 20). *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*. Universidad Continental. <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/10447>



- Ocampo Guerrero, N. P. (2021). *Análisis de las propiedades físico-mecánicas y CBR de suelos cohesivos de subrasante mezclados con partículas de tereftalato de polietileno (PET)*. <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/33593>
- Ojeda, D. P. C. (2020). *Universo, población y muestra*.
- Ore Pianto, J. P. (2024). Influencia de la adición de alabastro en el mejoramiento de la subrasante de la av. La Cruz de Paz del centro poblado de Huaschahura, distrito de Ayacucho, provincia de Huamanga, departamento de Ayacucho, 2023. *Universidad Continental*. <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/15757>
- Patel, D., & Sahu, R. (2022). Comparative study on the improvement of subgrade characteristics using cement and fly ash in semi-arid environments. *Materials Today: Proceedings*, 57, 1412–1420. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214785322024567>
- 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*. <http://repositorio.upla.edu.pe/handle/20.500.12848/9563>
- Ramos Galarza, C. A. (2020). Los alcances de una investigación. *CienciAmérica: Revista de divulgación científica de la Universidad Tecnológica Indoamérica*, 9(3), 1-6.
- Reyes, E. (2022). *Metodología de la Investigación Científica*. Page Publishing Inc.
- Rodríguez, E. J. S., & González, E. A. P. (2019). Análisis de los cambios en las propiedades mecánicas de materiales de subrasante por la adición de materiales poliméricos reciclados. *Ingeniería Solidaria*, 15(1), Article 1. <https://doi.org/10.16925/2357-6014.2019.01.01>
- Rombi, J., Olianias, M., Salis, M., Serpi, A., & Coni, M. (2022). Performance Evaluation of in Situ Application of Anhydrous Calcium Sulphate in Pavement Layers. En O. Gervasi, B. Murgante, S. Misra, A. M. A. C. Rocha, & C. Garau (Eds.), *Computational Science and Its Applications – ICCSA 2022 Workshops* (pp. 640-649). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-10592-0\\_46](https://doi.org/10.1007/978-3-031-10592-0_46)



- Saavedra Chávez, M. (2022). *Evaluación de las propiedades de la subrasante estabilizada con óxido de calcio para vía no pavimentada Pazos – Huaribamba, Huancavelica, 2022.* Universidad César Vallejo. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/109440>
- Seco, A., del Castillo, J.M., Espuelas, S., Marcelino, S., & García, B. (2022). Sulphate soil stabilisation with magnesium binders for road subgrade construction. *International Journal of Pavement Engineering*, 23(6), 1840-1850. <https://doi.org/10.1080/10298436.2020.1825711>
- Singh, S., & Yadav, M. (2021). Geotechnical assessment of subgrade stabilization with nanomaterials in Middle Eastern deserts. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 33(5), 04021082.
- Sharma, A., & Gupta, R. (2022). A comprehensive study on the effects of cement-based stabilizers on subgrade soil properties. *Civil Engineering Journal*, 18(8), 3120-3131. <https://doi.org/10.1016/j.civeng.2022.08.004>
- Sharma, M., & Gupta, S. (2023). Evaluation of sulfate and cement modified soils for road subgrade applications. *Geotechnical Engineering Review*, 44(1), 75-85. <https://doi.org/10.1016/j.geote.2023.01.006>
- Vega, S. A. D. L. C., & Cahuana, G. A. P. (2021). Diseño de infraestructura vial con pavimento flexible para mejora de transitabilidad de la avenida Industrial, Lurín, Lima. *Memoria Investigaciones en Ingeniería*, 21, Article 21. <https://doi.org/10.36561/ING.21.9>
- Velásquez Pereyra, C. (2018). Influencia del cemento portland tipo I en la estabilización del suelo arcilloso de la subrasante de la avenida Dinamarca, sector La Molina. *Universidad Nacional de Cajamarca*. <https://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/2534>
- 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. *Repositorio Institucional - UNS*.  
<http://repositorio.uns.edu.pe/handle/20.500.14278/4741>
- Yana Condori, M. C. (2023). *Efectos del uso de cemento en la estabilización de suelos dispersivos de la carretera Desvío Desaguadero—Kelluyo, Puno 2021*. Universidad Continental. <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/12901>
- Wang, L., Liu, J., & Wang, H. (2023). Improvement of subgrade soil using gypsum-based binders in road construction. *Geotechnical Testing Journal*, 46(2), 305-314. <https://doi.org/10.1520/GTJ2023.1066>
- Wang, S., Zhang, L., & Liu, W. (2022). Comparative study on the effects of cement and sulfate treatment in soil improvement for pavement construction. *Construction Science Journal*, 29(6), 453-461. <https://doi.org/10.1016/j.csci.2022.05.007>
- Wang, X., Liu, X., & Chen, L. (2022). Field study on the use of sulfate treatment in enhancing the properties of road subgrade. *Journal of Civil Engineering Science*, 50(2), 201-210. <https://doi.org/10.1016/j.jces.2022.03.009>
- Xu, J., Li, T., & Zhou, Q. (2023). Sulfate-based stabilization techniques for subgrade soil improvement in road construction. *Geotechnical Testing Journal*, 46(3), 191-201. <https://doi.org/10.1520/GTJ2023.1103>
- Zhang, Y., Li, Z., & Zhao, S. (2023). The role of sulfate-treated crushed stone in improving subgrade soil properties for pavement applications. *Transportation Engineering*, 37, 89-101. <https://doi.org/10.1016/j.treng.2023.03.005>
- Zhao, L., Liu, J., & Wang, Y. (2021). The influence of cemented sulfate on the strength and durability of subgrade soil. *Transportation Research Record*, 2524(1), 87-96. <https://doi.org/10.1177/0361198121995135>
- Zavaleta, C., & Marlen, S. (2019). Mejoramiento de la subrasante incorporando el estabilizador cemento Portland Tipo I, en la Asociación los Rosales II, distrito de Carabayllo, 2019. *Repositorio Institucional - UCV*. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/53036>



Zhang, J., Li, C., Ding, L., & Li, J. (2021). Performance evaluation of cement stabilized recycled mixture with recycled concrete aggregate and crushed brick. *Construction and Building Materials*, 296, 123596.  
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.123596>



## ANEXOS



### Anexo. Matriz de Consistencia

Título de tesis: "EFECTO DE LA INCORPORACIÓN DE SULFATO DE CALCIO HEMIHDRATADO Y CEMENTO ENDURECIDO TRITURADO SOBRE LAS PROPIEDADES DEL SUELO DE SUBRASANTE EN VÍAS DEL DISTRITO SAN MIGUEL 2024"				
Problemas	Objetivos	Hipótesis	Variables	Inst. de Medición
<p><b>Problema General:</b></p> <p>¿Cuál es el efecto de la incorporación de sulfato de calcio hemihidratado y cemento endurecido triturado sobre las propiedades del suelo de subrasante de vías del distrito San Miguel 2024?</p>	<p><b>Objetivo General:</b></p> <p>Analizar el efecto de la incorporación de sulfato de calcio hemihidratado y cemento endurecido triturado sobre las propiedades del suelo de subrasante de vías del distrito San Miguel 2024.</p>	<p><b>Hipótesis General:</b></p> <p>El efecto de la incorporación de sulfato de calcio hemihidratado y cemento endurecido triturado sobre las propiedades del suelo de subrasante de vías del distrito San Miguel 2024, será favorable.</p>	<p><b>Variable Independiente</b></p> <p>SULFATO DE CALCIO HEMIHDRATADO Y CEMENTO ENDURECIDO TRITURADO</p> <p><b>Dimensiones:</b></p> <p>Combinación de MB + 4% SCH Combinación de MB + 8% SCH Combinación de MB + 4% CET Combinación de MB + 8% CET</p>	<p>Fichas y Herramientas de Laboratorio</p>
<p><b>Problemas Específicos</b></p> <p>¿Cuáles son las propiedades físicas y mecánicas del suelo de subrasante en vías no pavimentadas del distrito San Miguel?</p> <p>¿Cuál es el efecto de la incorporación de sulfato de calcio hemihidratado y cemento endurecido triturado en porcentajes variables en el índice de plasticidad del suelo de subrasante de vías del distrito San Miguel?</p> <p>¿Cuál es la influencia de la adición de sulfato de calcio hemihidratado y cemento endurecido triturado en porcentajes variables en el grado de compactación del suelo de subrasante de vías del distrito San Miguel?</p> <p>¿Cuál es el efecto de la aplicación de sulfato de calcio hemihidratado y cemento endurecido triturado en porcentajes variables en la capacidad de soporte del suelo de subrasante de vías del distrito San Miguel?</p>	<p><b>Objetivos Específicos</b></p> <p>Determinar las propiedades físicas y mecánicas del suelo de subrasante en vías no pavimentadas del distrito San Miguel.</p> <p>Determinar el efecto de la incorporación de sulfato de calcio hemihidratado y cemento endurecido triturado en porcentajes variables en el índice de plasticidad del suelo de subrasante de vías del distrito San Miguel.</p> <p>Explicar la influencia de la adición de sulfato de calcio hemihidratado y cemento endurecido triturado en porcentajes variables en el grado de compactación del suelo de subrasante de vías del distrito San Miguel.</p> <p>Explicar el efecto de la aplicación de sulfato de calcio hemihidratado y cemento endurecido triturado en porcentajes variables en la capacidad de soporte del suelo de subrasante de vías del distrito San Miguel.</p>	<p><b>Hipótesis Específicas</b></p> <p>Las propiedades físicas y mecánicas del suelo de subrasante en vías no pavimentadas del distrito San Miguel, serán subrasantes inestables.</p> <p>El efecto de la incorporación de sulfato de calcio hemihidratado y cemento endurecido triturado en porcentajes variables en el índice de plasticidad del suelo de subrasante de vías del distrito San Miguel, será favorable reduciendo la plasticidad del material de suelo.</p> <p>La influencia de la adición de sulfato de calcio hemihidratado y cemento endurecido triturado en porcentajes variables en el grado de compactación del suelo de subrasante de vías del distrito San Miguel, incrementará el grado de compactación del material de suelo.</p> <p>El efecto de la aplicación de sulfato de calcio hemihidratado y cemento endurecido triturado en porcentajes variables en la capacidad de soporte del suelo de subrasante de vías del distrito San Miguel, mejorará el CBR del suelo.</p>		

## Anexo 2. Panel fotográfico



**Fotografía 1. Calicata 1 avenida Republica**



**Fotografía 2. Calicata 2 Avenida Republica**



**Fotografía 3.** Calicata 3 avenida las Gardenias



**Fotografía 4.** Calicata 4 avenida las Gardenias



**Fotografía 5.** Trituración del cemento endurecido



**Fotografía 6.** Pesaje del sulfato de calcio hemihidratado



**Fotografía 7.** Control de contenido de humedad



**Fotografía 8.** Análisis granulométrico por tamizado



**Fotografía 9.** Ensayo de limite plástico



**Fotografía 10.** Pesaje de muestras de límite líquido



**Fotografía 11.** Ensayo de limite plástico



**Fotografía 12.** Pesaje de muestras de límite líquido



**Fotografía 13.** Mezcla de sulfato de calcio con muestra de suelo de subrasante



**Fotografía 14.** Bandejas de mezcla de suelo de subrasante con cemento y sulfato de calcio respectivamente



**Fotografía 15.** Ensayo de proctor modificado de material con sulfato de calcio hemihidratado



**Fotografía 16.** Ensayo de proctor modificado de material con cemento endurecido



**Fotografía 17.** Pesaje de muestras compactadas para su registro



**Fotografía 18.** Extracción de muestra representativa para determinación de contenido de humedad y su relación con la máxima densidad seca



**Fotografía 19.** Control de óptimos contenidos de humedad para ambos grupos



**Fotografía 20.** Preparación de moldes para ensayo CBR



**Fotografía 21.** Control de óptimos contenidos de humedad para ambos grupos



**Fotografía 22.** Preparación de moldes para ensayo CBR



**Fotografía 23.** Ejecución de ensayo CBR, para ambos grupos de control



**Fotografía 24.** Sujeción de dial de control de penetración sobre molde de CBR



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



### REGISTRO DE ESTRATIGRAFIA

**PROYECTO** : EFECTO DE LA INCORPORACIÓN DE SULFATO DE CALCIO HEMIHIDRATADO Y CEMENTO ENDURECIDO TRITURADO SOBRE LAS PROPIEDADES DEL SUELO DE SUBRASANTE VÍAS DEL DISTRITO SAN MIGUEL 2024.  
**SOLICITANTE** : BACHILLER DENNYS ALBERTO COLQUE RUELAS  
**UBICACIÓN** : LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS - UANCV  
**MUESTRA** : CALICATA  
**PROFUNDIDAD** : 0.00 - 2.00 m  
**FECHA** : ENERO DEL 2025

PROF. (m)	MUESTRA	CLASIF. SUCS	DENSIDAD NATURAL (gr/cm3)	DESCRIPCIÓN	SÍMBOLO
0.10				MATERIAL DE RELLENO	
0.20					
0.30					
0.40					
0.50	M-01	CL		MATERIAL ARCILLA LIGERA ARENOSA; DE COLOR CAFÉ CLARO, DE PLASTICIDAD MEDIA, DE COMPRESIBILIDAD MEDIA.	
0.60					
0.70					
0.80					
0.90					
1.00	M-02	SC		MATERIAL ARENA ARCILLOSA; DE COLOR CAFÉ GRIS, DE COMPACIDAD MEDIA, CON MATERIAL FINO DE PLASTICIDAD MEDIA.	
1.10					
1.20					
1.30					
1.40					
1.50					
1.60					
1.70					
1.80					
1.90					
2.00					

OBSERVACIÓN:



UNIVERSIDAD ANDINA "NESTOR CERERES VELASQUEZ"  
FICP - CAP INGENIERÍA CIVIL

Dr. Arnaldo Yaña Torres  
CIP. 103257



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



### REGISTRO DE ESTRATIGRAFIA

**PROYECTO** : EFECTO DE LA INCORPORACIÓN DE SULFATO DE CALCIO HEMIHIDRATADO Y CEMENTO ENDURECIDO TRITURADO SOBRE LAS PROPIEDADES DEL SUELO DE SUBRASANTE VÍAS DEL DISTRITO SAN MIGUEL 2024  
**SOLICITANTE** : BACHILLER DENNYS ALBERTO COLQUE RUELAS  
**UBICACIÓN** : LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS - UANCV  
**SONDAJE** : CALICATA II  
**PROFUNDIDAD** : 0.00 - 2.00 m  
**FECHA** : ENERO DEL 2025

PROF. (m)	MUESTRA	CLASIF. SUCS	DENSIDAD NATURAL (gr/cm <sup>3</sup> )	DESCRIPCIÓN	SÍMBOLO
0.20				MATERIAL DE RELLENO	
0.40					
0.60					
0.80					
1.00					
1.20	M-01	SC		MATERIAL ARENA ARCILLOSA; DE COLOR CAFÉ OSCURO, DE COMPACIDAD MEDIA, CON MATERIAL FINO DE PLASTICIDAD MEDIA.	
1.40					
1.60					
1.80					
2.00					

OBSERVACIÓN:



UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CERRES VELÁSQUEZ  
FICP - CIVIL INGENIERÍA CIVIL

*[Signature]*  
Dr. Arnaldo Yauri Torres  
CIP. 103257



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



### REGISTRO DE ESTRATIGRAFIA

**PROYECTO** : EFECTO DE LA INCORPORACIÓN DE SULFATO DE CALCIO HEMIHDRATADO Y CEMENTO ENDURECIDO TRITURADO SOBRE LAS PROPIEDADES DEL SUELO DE SUBRASANTE VÍAS DEL DISTRITO SAN MIGUEL-2024.  
**SOLICITANTE** : BACHILLER DENNYS ALBERTO COLQUE RUELAS  
**UBICACIÓN** : LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS - UANCV  
**SONDAJE** : CALICATA III  
**PROFUNDIDAD** : 0.00 - 2.00 m  
**FECHA** : ENERO DEL 2025

PROF. (m)	MUESTRA	CLASIF. SUCS	DENSIDAD NATURAL (gr/cm <sup>3</sup> )	DESCRIPCIÓN	SIMBOLO
0.20					
0.40	M-01	SM		MATERIAL ARENA LIMOSA; DE COLOR CAFE CLARO, DE COMPACIDAD MEDIA, CON MATERIAL FINO DE BAJA PLASTICIDAD.	
0.60					
0.80					
1.00					
1.20					
1.40					
1.60	M-02	SP-SM		MATERIAL ARENA MAL GRADUADA CON LIMO; DE COLOR GRIS, DE COMPACIDAD MEDIA, CON MATERIAL FINO DE BAJA PLASTICIDAD.	
1.80					
2.00					

**OBSERVACIÓN:**


  
 UNIVERSIDAD ANDINA "NESTOR CERERES VELASQUEZ"  
 FICP - CAP INGENIERIA CIVIL  
**Dr. Arnaldo Yana Torres**  
 C.P. 103257



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



### REGISTRO DE ESTRATIGRAFIA

**PROYECTO** EFECTO DE LA INCORPORACIÓN DE SULFATO DE CALCIO HEMIHIDRATADO Y CEMENTO ENDURECIDO TRITURADO SOBRE LAS PROPIEDADES DEL SUELO DE SUBRASANTE VÍAS DEL DISTRITO SAN MIGUEL 2024  
**SOLICITANTE** BACHILLER DENNYS ALBERTO COLQUE RUELAS  
**UBICACIÓN** LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS - UANCV  
**SONDAJE** CALICATA IV  
**PROFUNDIDAD** 0.00 - 2.00 m  
**FECHA** ENERO DEL 2025

PROF. (m)	MUESTRA	CLASIF. SUCS	DENSIDAD NATURAL (gr/cm <sup>3</sup> )	DESCRIPCIÓN	SIMBOLO
0.10 0.20	M-01	SC		MATERIAL ARENA ARCILLOSA; CON PRESENCIA DE RAÍCES	
0.30 0.40 0.50	M-02	CL		MATERIAL ARCILLA LIGERA ARENOSA; DE COLOR CAFÉ, DE ALTA PLASTICIDAD, DE COMPRESIBILIDAD MEDIA.	
0.60 0.70 0.80 0.90 1.00 1.10	M-03	GP		MATERIAL GRAVA MAL GRADUADA CON ARENA; DE COLOR PLOMO CLARO, DE COMPACIDAD BAJA A MEDIA.	
1.20 1.30 1.40 1.50 1.60 1.70 1.80 1.90 2.00	M-04	SP		MATERIAL ARENA MAL GRADUADA CON GRAVA; DE COLOR PLOMO OSCURO, DE COMPACIDAD BAJA A MEDIA.	

OBSERVACIÓN:



UNIVERSIDAD ANDINA "NESTOR CACERES VELASQUEZ"  
FICP - CAP INGENIERIA CIVIL  
LABORATORIO M.S.C. JEFATURA  
Dr. Armando 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



### ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO (ASTM D422)

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

**PROYECTO** : EFECTO DE LA INCORPORACIÓN DE SULFATO DE CALCIO HEMIHDRATADO Y CEMENTO ENDURECIDO TRITURADO SOBRE LAS PROPIEDADES DEL SUELO DE SUBRASANTE EN VÍAS DEL DISTRITO SAN MIGUEL 2024

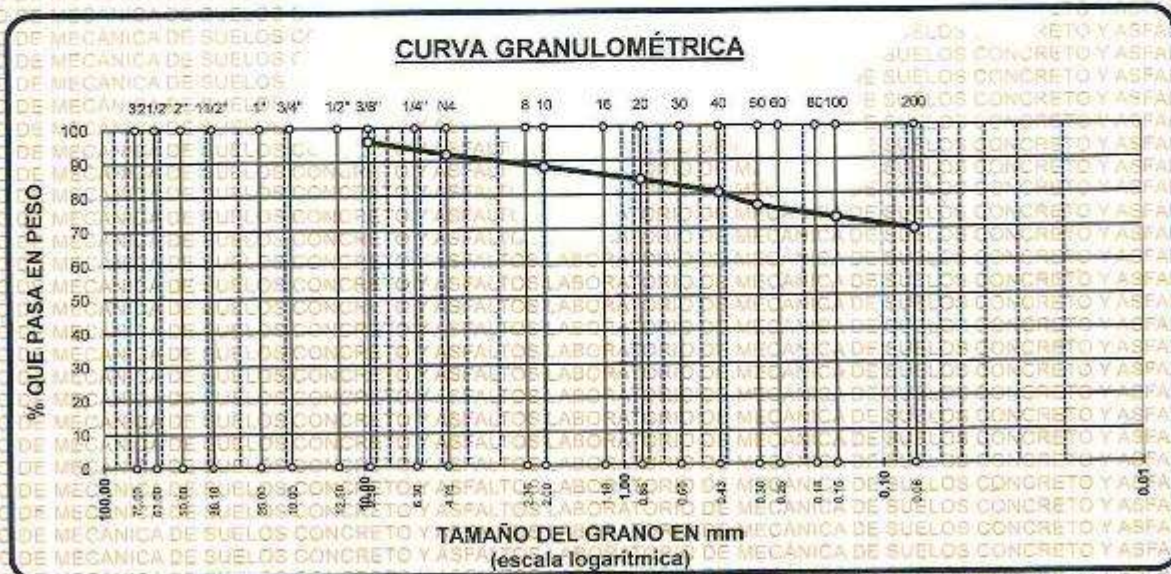
**SOLICITANTE** : Bach. DENNYS ALBERTO COLQUE RUELAS

**LUGAR** : SAN MIGUEL

**MUESTRA** : CALIGATA 1 - MUESTRA 1

**FECHA** : 25 DE ENERO DEL 2025

TAMICES ASTM	ABERTURA mm	PESO RETENIDO	%RETENIDO PARCIAL	%RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	ESPECIF.	TAMAÑO MÁXIMO:
3"	75.000						DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
2 1/2"	63.000						P.L.= 2500.00
2"	50.000						P.L.= 762.95
3 1/2"	38.100						P.P.= 1737.05
1"	25.000						%w= 22.98
3/4"	19.000						LIMITES DE CONSISTENCIA:
1/2"	12.500						LL= 32.36
3/8"	9.500	100.00	4.00	4.00	96.00		LP= 17.86
1/4"	6.300						IP= 14.50
No4	4.750	97.35	3.89	7.89	92.11		CARACT. GRANULOMÉTRICAS:
No8	2.360						D10= --- Cu= ---
No10	2.000	96.95	3.88	11.77	88.23		D30= --- Cc= ---
No16	1.180						D60= ---
No20	0.850	95.75	3.87	15.64	84.36		CLASIFICACIÓN:
No30	0.600						I.G. =
No40	0.425	96.35	3.85	19.50	80.50		SUCS : CH
No 50	0.300	96.35	3.85	23.35	76.65		ASSTHO : A-7
No80	0.250						OBSERVACIONES:
No100	0.150	91.65	3.67	27.02	72.98		
No200	0.075	87.55	3.50	30.52	69.48		
BASE		1737.05	69.48	100.00	0.00		
TOTAL		2500.00	100.00				
% PERDIDA							



NOTA : LAS MUESTRAS FUERON PUESTAS EN LABORATORIO POR EL SOLICITANTE

UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
F.C.P. - INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS  
JEFE DE LABORATORIO  
Msc. Arnaldo Yana Torres

BIE : 8018-00101357



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

EFFECTO DE LA INCORPORACIÓN DE SULFATO DE CALCIO HEMIHIDRATADO Y CEMENTO ENDURECIDO TRITURADO SOBRE LAS PROPIEDADES DEL SUELO DE SUBRASANTE EN VÍAS DEL DISTRITO SAN MIGUEL 2024

### SOLICITANTE

Bach DENNYS ALBERTO COLQUE RUELAS

### LUGAR

SAN MIGUEL

### MUESTRA

CALGATA 1 - MUESTRA 1

### FECHA

25 DE ENERO DEL 2025

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

SUELO HUMEDO + TARRO	gr	93.78
SUELO SECO + TARRO	gr	80.81
PESO DEL TARRO	gr	25.42
PESO DEL AGUA	gr	13.17
PESO DEL SUELO SECO	gr	55.19
HUMEDAD %	%	22.98

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

### LÍMITE LÍQUIDO

TARRO N°		T-04	T-10	T-19
SUELO HUMEDO + TARRO	gr	31.79	30.29	31.27
SUELO SECO + TARRO	gr	29.26	28.74	28.09
PESO DEL TARRO	gr	21.54	22.87	21.41
PESO DEL AGUA	gr	2.53	1.55	3.18
PESO DEL SUELO SECO	gr	7.72	5.87	6.66
HUMEDAD %	%	32.77	26.41	47.60
N° DE GOLPES	-	31	24	14

### LÍMITE PLÁSTICO

T-14	T-15
18.35	18.75
17.43	17.22
8.34	8.67
0.92	1.53
9.09	8.55
10.12	17.89

LÍMITE LÍQUIDO % : 32.36

LÍMITE PLÁSTICO % : 17.86

ÍNDICE PLÁSTICO % : 15.63

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

Donde:

LL = Límite Líquido

Wn = Contenido de Humedad Promedio (%)

N = Número de Golpes



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

BIE: B018-00101357



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



### ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO (ASTM D422)

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

**PROYECTO** : EFECTO DE LA INCORPORACIÓN DE SULFATO DE CALCIO HEMIHIDRATADO Y CEMENTO ENDURECIDO TRITURADO SOBRE LAS PROPIEDADES DEL SUELO DE SUBRANSA EN VÍAS DEL DISTRITO SAN MIGUEL 2024

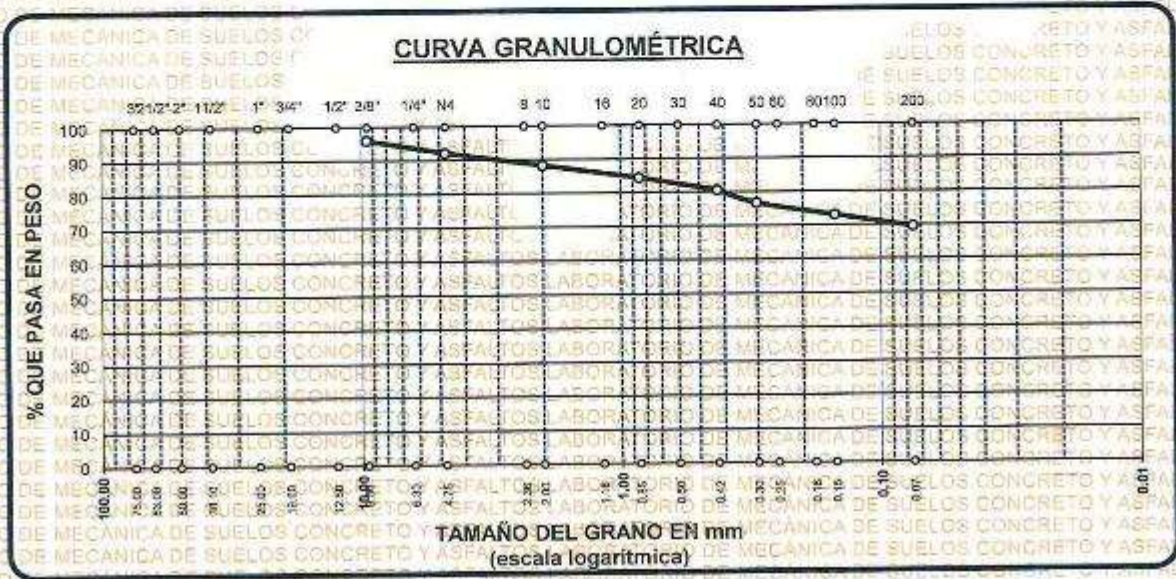
**SOLICITANTE** : Sach. DENNYS ALBERTO COLQUE RUELAS

**LUGAR** : SAN MIGUEL

**MUESTRA** : CALICATA 2 - MUESTRA 2

**FECHA** : 23 DE ENERO DEL 2025

TAMICES ASTM	ABERTURA mm	PESO RETENIDO	%RETENIDO PARCIAL	%RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	ESPECIF.	TAMAÑO MÁXIMO:
3"	75.000						DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
2 1/2"	63.000						P.I.= 2500.00
2"	50.000						P.L.= 762.55
1 1/2"	38.100						P.P.= 1737.45
1"	25.000						%W= 22.98
3/4"	19.000						LIMITES DE CONSISTENCIA:
1/2"	12.500						LL.= 32.36
3/8"	9.500	100.00	4.00	4.00	96.00		LP.= 17.86
1/4"	6.300						IP.= 14.50
No4	4.750	97.05	3.88	7.88	92.12		CARACT. GRANULOMÉTRICAS:
No8	2.360						D10= --- Cu= ---
No10	2.000	96.55	3.86	11.74	88.26		D30= --- Cc= ---
No16	1.180						
No20	0.850	96.35	3.85	15.60	84.40		CLASIFICACIÓN:
No30	0.600						I.G. =
No40	0.425	96.95	3.88	19.48	80.52		SUCS : CH
No50	0.300	96.95	3.88	23.35	76.65		ASSTHO : A-7
No60	0.250						OBSERVACIONES:
No80	0.180						
No100	0.150	91.35	3.65	27.01	72.99		
No200	0.075	87.35	3.49	30.50	69.50		
BASE		1737.45	69.50	100.00	0.00		
TOTAL		2500.00	100.00				
% PERDIDA		69.50					



NOTA : LAS MUESTRAS FUERON PUESTAS EN LABORATORIO POR EL SOLICITANTE

UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
 FICP / CAP. INGENIERÍA CIVIL  
 LABORATORIO M.S.C.A.  
 Mgr. Arnaldo Yano Torres  
 CIP. 103257

RIE - R018-00101357



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**

**SOLICITANTE**

**LUGAR**

**MUESTRA**

**FECHA**

EFFECTO DE LA INCORPORACIÓN DE SULFATO DE CALCIO HEMI-DRATADO Y CEMENTO ENDURECIDO TRITURADO SOBRE LAS PROPIEDADES DEL SUELO DE SUBRASANTE EN VÍAS DEL DISTRITO SAN MIGUEL 2024

Esch: DENNY'S ALBERTO COLQUE RUELAS

SAN MIGUEL

CALICATA 2 - MUESTRA 2

25 DE ENERO DEL 2025

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

SUELO HUMEDO + TARRO	gr	95.49
SUELO SECO + TARRO	gr	82.22
PESO DEL TARRO	gr	25.35
PESO DEL AGUA	gr	13.27
PESO DEL SUELO SECO	gr	56.87
HUMEDAD %	%	21.45

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

#### LÍMITE LÍQUIDO

TARRO N°		T-04	T-10	T-19
SUELO HUMEDO + TARRO	gr	32.69	32.98	32.78
SUELO SECO + TARRO	gr	29.95	29.75	29.36
PESO DEL TARRO	gr	21.32	22.09	21.45
PESO DEL AGUA	gr	2.74	3.23	3.42
PESO DEL SUELO SECO	gr	8.63	7.66	7.91
HUMEDAD %	%	31.75	30.42	31.42
N° DE GOLPES	-	31	24	14

#### LÍMITE PLÁSTICO

	T-14	T-15
	19.12	18.75
	17.43	17.32
	8.15	8.96
	1.69	1.43
	9.28	8.36
	18.21	17.11

LÍMITE LIQUIDO % : 31.63

LÍMITE PLÁSTICO % : 15.70

ÍNDICE PLÁSTICO % : 17.85

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

Donde:

LL = Límite Líquido

Wn = Contenido de Humedad Promedio (%)

N = Número de Golpes



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"

FICP - CAP INGENIERÍA CIVIL

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS

LABORATORIO M.S.C. JEFATURA

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS

BIE : 8018-00101357



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS  
ESCUELA 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** EFECTO DE LA INCORPORACIÓN DE SULFATO DE CALCIO HEMIDRATADO Y CEMENTO ENDURECIDO TRITURADO SOBRE LAS PROPIEDADES DEL SUELO DE SUBRASANTE EN VÍAS DEL DISTRITO SAN MIGUEL 2024

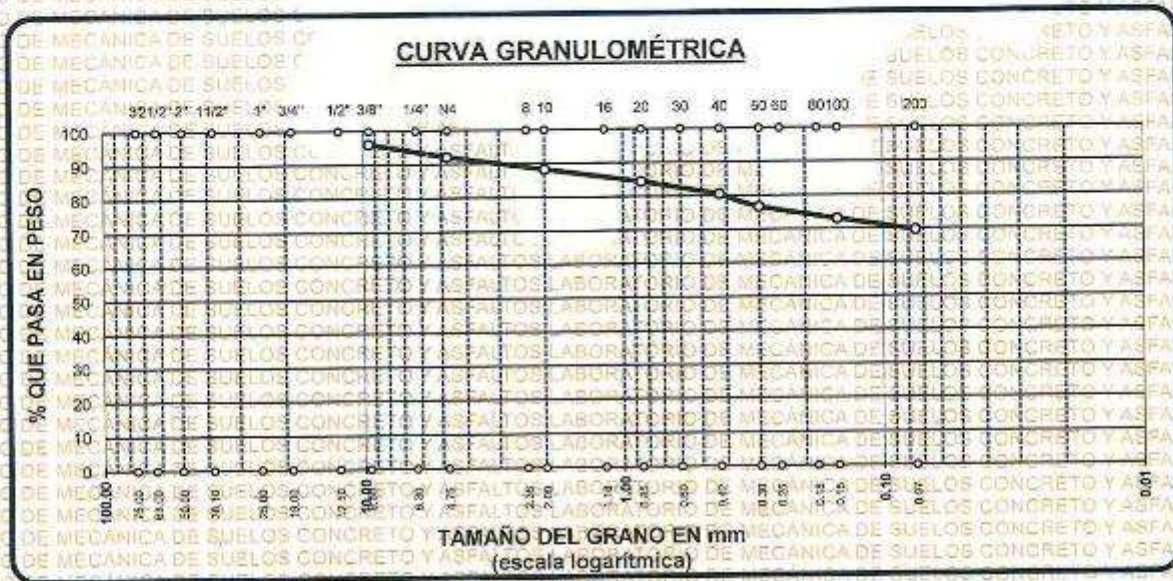
**SOLICITANTE** Bach. DENNYS ALBERTO COLQUE RUELAS

**LUGAR** SAN MIGUEL

**MUESTRA** CALICATA 3 - MUESTRA 3

**FECHA** 25 DE ENERO DEL 2025

TAMICES ASTM	ABERTURA mm	PESO RETENIDO	%RETENIDO PARCIAL	%RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	ESPECIF.	TAMANO MÁXIMO:	
3"	75.000						<b>DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA</b> P.I.= 2500.00 P.L.= 761.85 P.P.= 1738.15 % w = 22.98	
2 1/2"	63.000							
2"	50.000							
1 1/2"	38.100							
1"	25.000							
3/4"	19.000					<b>LIMITES DE CONSISTENCIA:</b> L.L.= 32.36 L.P.= 17.86 I.P.= 14.50		
1/2"	12.500							
3/8"	9.500	100.00	4.00	4.00	96.00			
1/4"	6.300							
No4	4.750	97.25	3.89	7.89	92.11			
No8	2.360							
No10	2.000	96.75	3.87	11.76	88.24			
No16	1.180							
No20	0.850	96.55	3.86	15.62	84.38			
No30	0.600							
No40	0.425	96.15	3.85	19.47	80.53			
No 50	0.300	96.15	3.65	23.31	76.69			
No60	0.250							
No80	0.180							
No100	0.150	91.55	3.66	26.98	73.02			
No200	0.075	87.45	3.50	30.47	69.53			
BASE		1738.15	69.53	100.00	0.00		<b>CLASIFICACIÓN:</b> I.G. = ( )	
TOTAL		2500.00	100.00					
% PERDIDA			69.53					
							<b>CARACT. GRANULOMÉTRICAS:</b> D10= --- Cu= --- D30= --- Cc= --- D60= ---	
							<b>SUCS</b> : CH <b>ASSTHO</b> : A-7	
							<b>OBSERVACIONES:</b>	



NOTA : LAS MUESTRAS FUERON PUESTAS EN LABORATORIO POR EL SOLICITANTE



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

BIE: 8018-00101357



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

EFFECTO DE LA INCORPORACIÓN DE SULFATO DE CALCIO HEMIHDRATADO Y CEMENTO ENDURECIDO TRITURADO SOBRE LAS PROPIEDADES DEL SUELO DE SUBRASANTE EN VÍAS DEL DISTRITO SAN MIGUEL 2024

### SOLICITANTE

Bach. DENNYS ALBERTO COLQUE RUELAS

### LUGAR

SAN MIGUEL

### MUESTRA

CALICATA 3 - MUESTRA 3

### FECHA

25 DE ENERO DEL 2025

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

SUELO HUMEDO + TARRO	gr	99.78
SUELO SECO + TARRO	gr	83.43
PESO DEL TARRO	gr	25.25
PESO DEL AGUA	gr	13.33
PESO DEL SUELO SECO	gr	58.18
HUMEDAD %	%	22.42

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

### LÍMITE LÍQUIDO

TARRO N°		T-04	T-10	T-19
SUELO HUMEDO + TARRO	gr	33.78	33.67	33.14
SUELO SECO + TARRO	gr	30.12	30.65	30.32
PESO DEL TARRO	gr	21.46	22.28	21.79
PESO DEL AGUA	gr	3.66	3.02	2.82
PESO DEL SUELO SECO	gr	8.66	8.37	8.53
HUMEDAD %	%	42.26	36.08	33.06
N° DE GOLPES	-	31	24	14

### LÍMITE PLÁSTICO

T-14	T-15
19.97	20.88
18.02	18.79
8.63	8.95
1.95	2.09
9.39	9.84
20.77	21.24

LÍMITE LÍQUIDO % : 31.63

LÍMITE PLÁSTICO % : 15.70

ÍNDICE DE PLASTICIDAD % : 15.66

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

Donde:

LL = Límite Líquido

Wn = Contenido de Humedad Promedio (%)

N = Número de Golpes



UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ  
FICP - CAP INGENIERÍA CIVIL  
Metr. Arnaldo Yana Torres  
CIF. 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



### ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO (ASTM D422)

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

**PROYECTO** : EFECTO DE LA INCORPORACIÓN DE SULFATO DE CALCIO HEMIHIDRATADO Y CEMENTO ENDURECIDO TRITURADO SOBRE LAS PROPIEDADES DEL SUELO DE SUBRASANTE EN VÍAS DEL DISTRITO SAN MIGUEL 2024

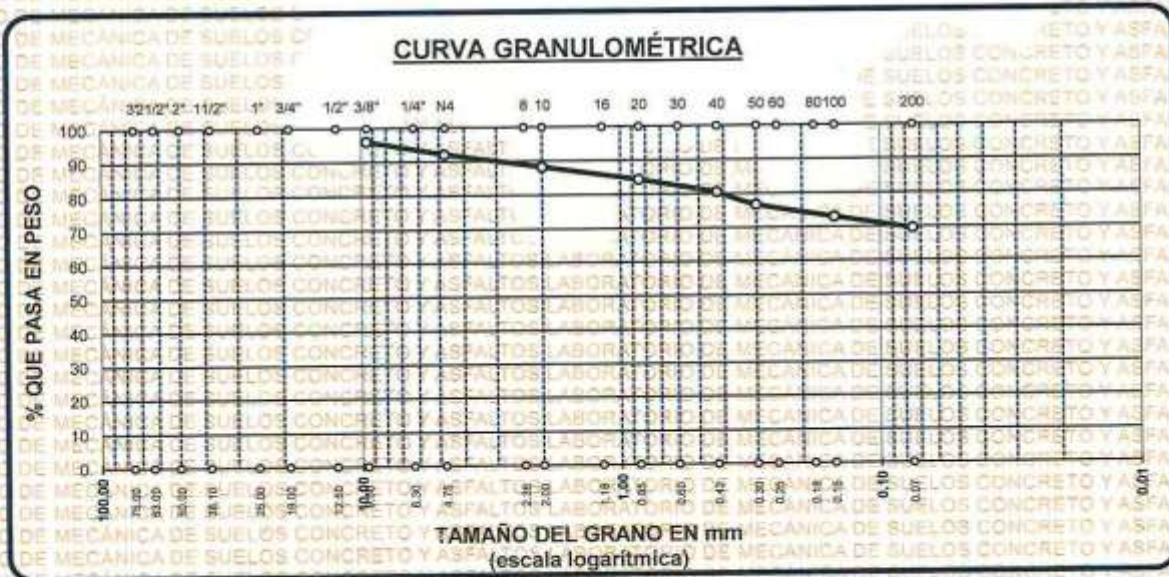
**SOLICITANTE** : Bach. DENNYS ALBERTO COLQUE RUÉLAS

**LUGAR** : SAN MIGUEL

**MUESTRA** : CALICATA 4 - MUESTRA 4

**FECHA** : 25 DE ENERO DEL 2025

TAMICES ASTM	ABERTURA mm	PESO RETENIDO	%RETENIDO PARCIAL	%RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	ESPECIF.	TAMAÑO MÁXIMO:
3"	75.000						DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
2 1/2"	63.000						P.L.= 2500.00
2"	50.000						P.L.= 761.85
1 1/2"	38.100						P.P.= 1738.15
1"	25.000						%W= 22.98
3/4"	19.000						LIMITES DE CONSISTENCIA:
1/2"	12.500						L.L.= 32.36
3/8"	9.500	100.00	4.00	4.00	96.00		L.P.= 17.86
1/4"	6.300						I.P.= 14.50
No4	4.750	97.25	3.89	7.89	92.11		CARACT. GRANULOMÉTRICAS:
No8	2.360						D10= --- Cu= ---
No10	2.000	96.75	3.87	11.76	88.24		D30= --- Cc= ---
No16	1.180						D60= ---
No20	0.850	96.55	3.86	15.62	84.38		CLASIFICACIÓN:
No30	0.600						I.G. = :
No40	0.425	96.15	3.85	19.47	80.53		SUCS : CH
No50	0.300	96.15	3.85	23.31	76.69		ASSTHO : A-7
No60	0.250						OBSERVACIONES:
No80	0.180						
No100	0.150	91.55	3.66	26.98	73.02		
No200	0.075	87.45	3.50	30.47	69.53		
BASE		1738.15	69.53	100.00	0.00		
TOTAL		2500.00	100.00				
% PERDIDA			69.53				



NOTA : LAS MUESTRAS FUERON PUESTAS EN LABORATORIO POR EL SOLICITANTE



UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ  
FICP - CAP INGENIERÍA CIVIL

*Arnelo Yana Torres*  
Mgtr. Arnelo Yana Torres  
CIP 103257

RIE - 8018-00101357



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

EFFECTO DE LA INCORPORACIÓN DE SULFATO DE CALCIO HEMIHIDRATADO Y CEMENTO ENDURECIDO TRITURADO SOBRE LAS PROPIEDADES DEL SUELO DE SUBRASANTE EN VÍAS DEL DISTRITO SAN MIGUEL 2024

### SOLICITANTE

Bach. DENNYS ALBERTO COLQUE RUELAS

### LUGAR

SAN MIGUEL

### MUESTRA

CALIGATA 4 - MUESTRA 4

### FECHA

25 DE ENERO DEL 2025

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

SUELO HUMEDO + TARRO	gr	96.42
SUELO SECO + TARRO	gr	83.36
PESO DEL TARRO	gr	25.74
PESO DEL AGUA	gr	13.06
PESO DEL SUELO SECO	gr	57.62
HUMEDAD %	%	21.36

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

### LÍMITE LIQUIDO

TARRO N°		T-04	T-10	T-19
SUELO HUMEDO + TARRO	gr	33.78	33.67	33.14
SUELO SECO + TARRO	gr	30.12	30.65	30.32
PESO DEL TARRO	gr	21.46	22.28	21.79
PESO DEL AGUA	gr	3.66	3.02	2.82
PESO DEL SUELO SECO	gr	8.66	8.37	8.53
HUMEDAD %	%	35.85	34.24	33.06
N° DE GOLPES	-	31	24	14

### LÍMITE PLÁSTICO

T-14	T-15
19.97	20.88
18.02	18.79
8.63	8.95
1.95	2.09
9.39	9.84
17.53	16.42

LÍMITE LIQUIDO % : 32.75

LÍMITE PLÁSTICO % : 18.07

ÍNDICE DE PLASTICIDAD % : 13.12

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

Donde:

LL = Límite Líquido

W<sub>n</sub> = Contenido de Humedad Promedio (%)

N = Número de Golpes



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

Mgtr. 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

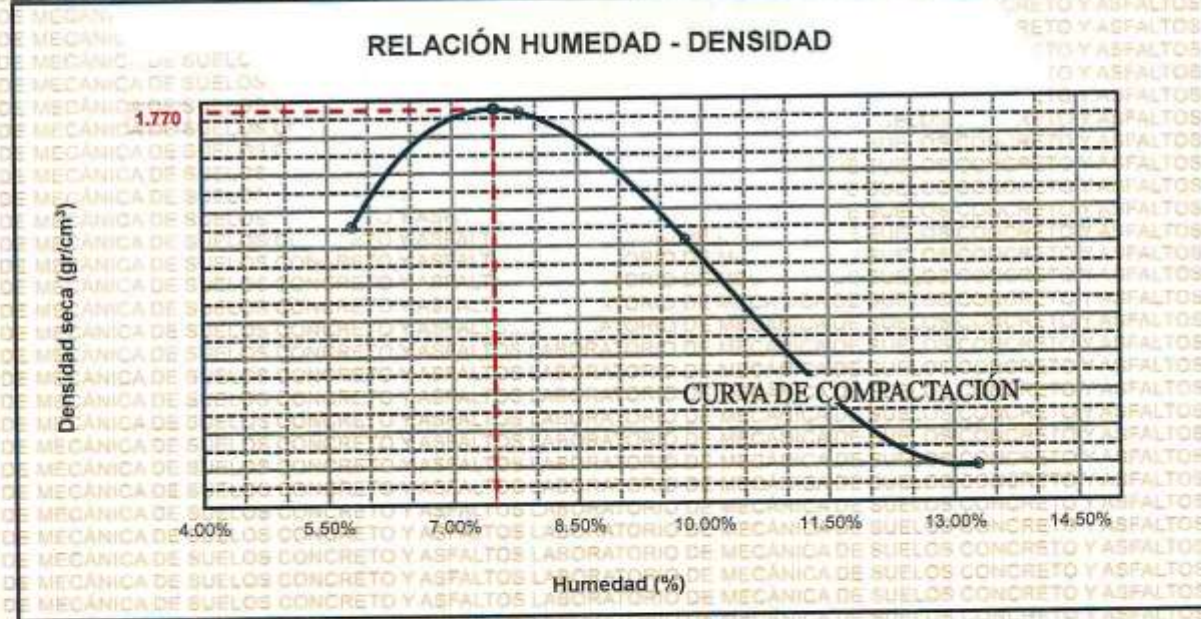
TESIS	: EFECTO DE LA INCORPORACIÓN DE SULFATO DE CALCIO HEMIHIDRATADO Y CEMENTO ENDURECIDO TRITURADO SOBRE LAS PROPIEDADES DEL SUELO DE SUBRASANTE EN VÍAS DEL DISTRITO SAN MIGUEL 2024
SOLICITANTE	: Bach. DENNYS ALBERTO COLQUE RUELAS
UBICACIÓN	: SAN MIGUEL
PROGRESIVA	: KM 0+500
MUESTRA	: CALICATA 1 - MUESTRA 1
FECHA	: 29 DE ENERO DEL 2025

MOLDE No	: 1	VOLUMEN DEL MOLDE	: 2105 cm <sup>3</sup>
No DE CAPAS	: 5	GOLPES POR CAPA	: 56 golpes

Peso Suelo Húmedo + Molde	gr.	9874	10088	10002	9836
Peso del Molde	gr.	5974	5974	5974	5974
Peso del Suelo Húmedo	gr/cm <sup>3</sup>	3900	4114	4028	3862
Densidad del Suelo Húmedo	gr/cm <sup>3</sup>	1.853	1.954	1.914	1.835

Capsula No	No	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.
Suelo Húmedo + Capsula	gr.	423.68	412.88	441.88	421.36	433.25	412.36	409.87	389.34
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	403.74	394.25	416.74	393.42	401.25	380.74	360.33	359.49
Peso del Agua	gr.	20.14	18.83	25.14	27.94	32.00	31.62	49.34	29.85
Peso de la Capsula	gr.	64.98	64.36	63.98	64.36	66.78	65.36	65.95	66.47
Peso del Suelo Seco	gr.	338.78	329.89	352.76	329.06	334.47	315.38	294.78	293.02
% de Humedad	%	5.94%	5.65%	7.13%	8.49%	9.57%	10.03%	16.74%	9.85%
Promedio de Humedad	%	5.80%		7.81%		9.80%		13.29%	
Densidad del Suelo Seco	%	1.751		1.813		1.743		1.619	

METODO:	ASTM D - 1557	MAXIMA DENSIDAD SECA	: 1.770 gr/cm <sup>3</sup>
	MODIFICADO "C"	HUMEDAD OPTIMA	: 9.78%



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

LABORATORIO M.S.C.A. JORAPURA

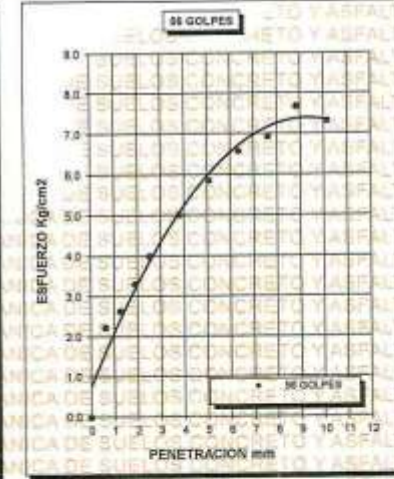
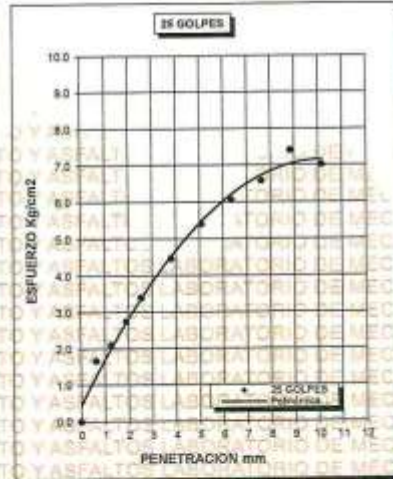
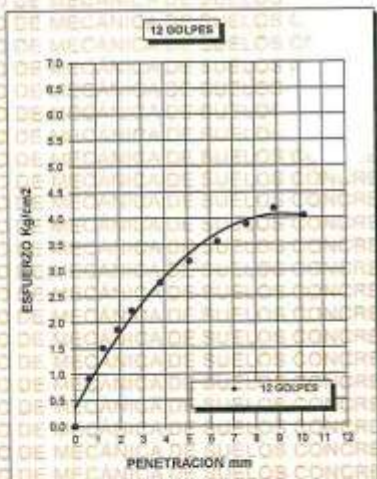
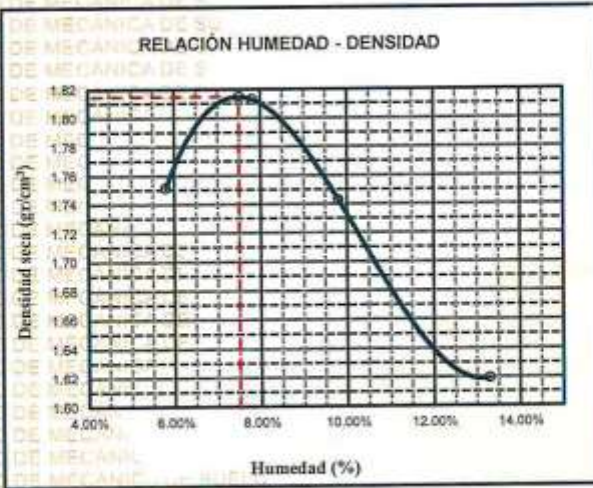
Alm. Arnaldo Yana Torres  
CIP. 103257



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



<b>PROYECTO :</b>	"EFECTO DE LA INCORPORACIÓN DE SULFATO DE CALCIO HEMIHDRATADO Y CEMENTO ENDURECIDO TRITURADO SOBRE LAS PROPIEDADES DEL SUELO DE SUBRASANTE EN VÍAS DEL DISTRITO SAN MIGUEL 2024"	<b>METODO DE COMPACTACIÓN ASTM D1557-91</b>
<b>SOLICITADO :</b>	Bach. DENNYS ALBERTO COLQUE RUELAS	<b>MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm<sup>3</sup>.)</b> 1.770
<b>UBICACIÓN :</b>	SAN MIGUEL	<b>HUMEDAD OPTIMA (%)</b> 9.78%
<b>PROGRESIVA :</b>	KM 0+500	<b>CBR AL 100 DE M.D.S. (%)</b> 5.70
<b>MUESTRA :</b>	SUELO NATURAL - CALICATA - M1	<b>CBR AL 95% DE M.D.S. (%)</b> 4.68
<b>FECHA :</b>	29 DE ENERO DEL 2025	<b>CLASIFICACIÓN :</b> CL
		<b>AASHTO :</b> A-2
		<b>EMBEBIDO :</b> 4 DIAS



UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ  
FICP - CARR. INGENIERÍA CIVIL

**LABORATORIO M.S.C.A. JEFATURA**

*Mgr. Arnaldo Yana Torres*  
CIF: 103257

BIE : 8018-00101357



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

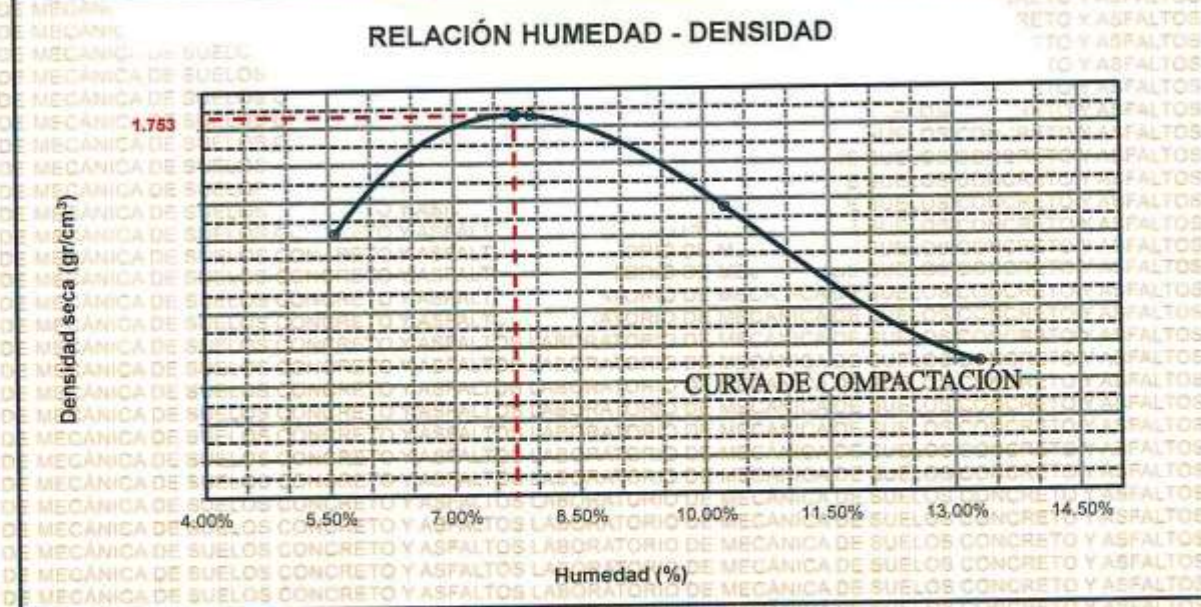
ASTM D-698 D-1557 AASHTO T-99 T-180

TESIS	EFECTO DE LA INCORPORACION DE SULFATO DE CALCIO HEMIHIDRATADO Y CEMENTO ENDURECIDO TRITURADO SOBRE LAS PROPIEDADES DEL SUELO DE SUBRASANTE EN VÍAS DEL DISTRITO SAN MIGUEL 2024		
SOLICITANTE	Bach. DENNYS ALBERTO COLQUE RUELAS		
UBICACIÓN	SAN MIGUEL		
PROGRESIVA	KM 2+500		
MUESTRA	CALICATA 2 - MUESTRA 2		
FECHA	29 DE ENERO DEL 2025		
MOLDE No	1	VOLUMEN DEL MOLDE	2105 cm <sup>3</sup>
No DE CAPAS	5	GOLPES POR CAPA	56 golpes

Peso Suelo Húmedo + Molde	gr.	9847	10077	10049	9957
Peso del Molde	gr.	5974	5974	5974	5974
Peso del Suelo Húmedo	gr/cm <sup>3</sup>	3873	4103	4075	3983
Densidad del Suelo Húmedo	gr/cm <sup>3</sup>	1.840	1.949	1.936	1.892

Capsula No	No	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.
Suelo Húmedo + Capsula	gr.	425.46	412.52	441.73	421.82	434.35	412.83	411.89	390.67
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	405.12	395.43	416.71	392.87	399.81	380.65	381.41	362.35
Peso del Agua	gr.	20.34	17.09	25.02	28.75	34.54	31.98	50.48	28.32
Peso de la Capsula	gr.	64.87	64.79	63.77	64.77	66.25	65.45	65.65	65.37
Peso del Suelo Seco	gr.	340.25	330.64	352.94	328.10	333.56	315.20	295.76	296.98
% de Humedad	%	5.98%	5.17%	7.09%	8.76%	10.35%	10.15%	17.07%	9.54%
Promedio de Humedad	%	5.57%		7.93%		10.25%		13.30%	
Densidad del Suelo Seco	%	1.743		1.806		1.756		1.670	

METODO:	ASTM D - 1557	MAXIMA DENSIDAD SECA	1.753 gr/cm <sup>3</sup>
	MODIFICADO "C"	HUMEDAD OPTIMA	9.12%



Mgtr. Arnaldo Yana Torres  
 CIP 103257



UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ  
FICP - CAP. INGENIERÍA CIVIL

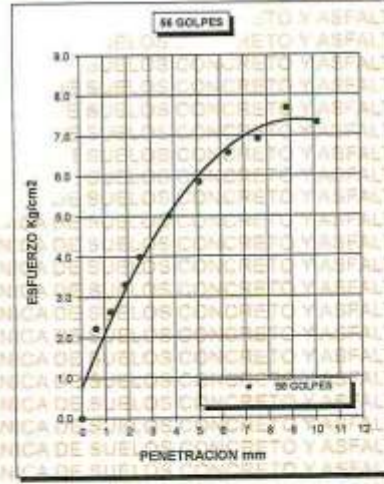
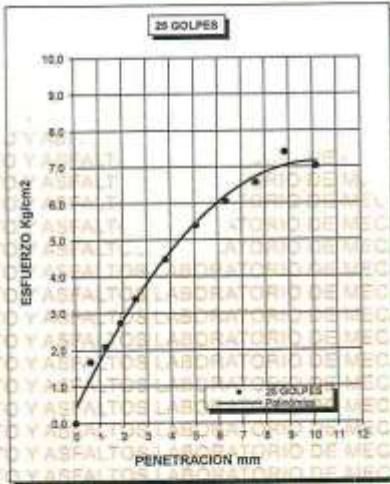
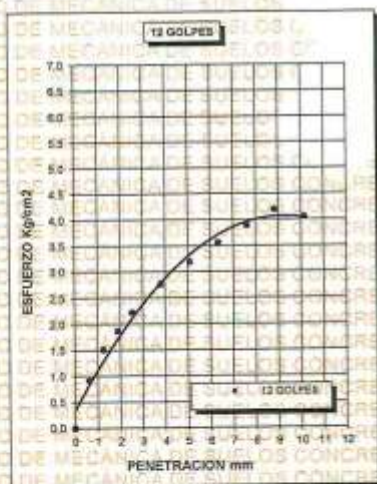
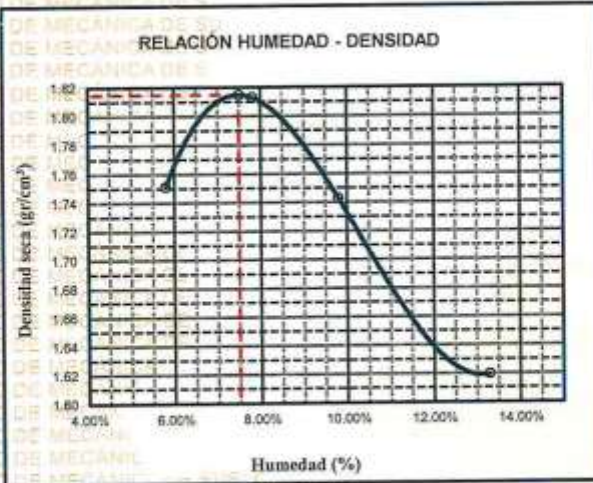
RIE - 8018-00101357



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



<b>PROYECTO :</b>	"EFECTO DE LA INCORPORACIÓN DE SULFATO DE CALCIO HEMIHIDRATADO Y CEMENTO ENDURECIDO TRITURADO SOBRE LAS PROPIEDADES DEL SUELO DE SUBRASANTE EN VÍAS DEL DISTRITO SAN MIGUEL 2024"	<b>METODO DE COMPACTACIÓN ASTM D1557-91</b>
<b>SOLICITADO :</b>	Bach. DENNYS ALBERTO COLQUE RUELAS	<b>MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm<sup>3</sup>.)</b> 1.753
<b>UBICACIÓN :</b>	SAN MIGUEL	<b>HUMEDAD OPTIMA (%)</b> 9.12%
<b>PROGRESIVA :</b>	KM 2+500	<b>CBR AL 100 DE M.D.S. (%)</b> 5.62
<b>MUESTRA :</b>	SUELO NATURAL - CALICATA - M2	<b>CBR AL 95% DE M.D.S. (%)</b> 4.31
<b>FECHA :</b>	29 DE ENERO DEL 2025	<b>CLASIFICACIÓN :</b> CL
		<b>AASHTO :</b> A-2
		<b>EMBEBIDO :</b> 4 DIAS



CBR 3.10

CBR 4.31

CBR 5.62



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
FICP - CAP. INGENIERÍA CIVIL  
Mgtr. Arnoldo Yana Torres  
C.P. 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

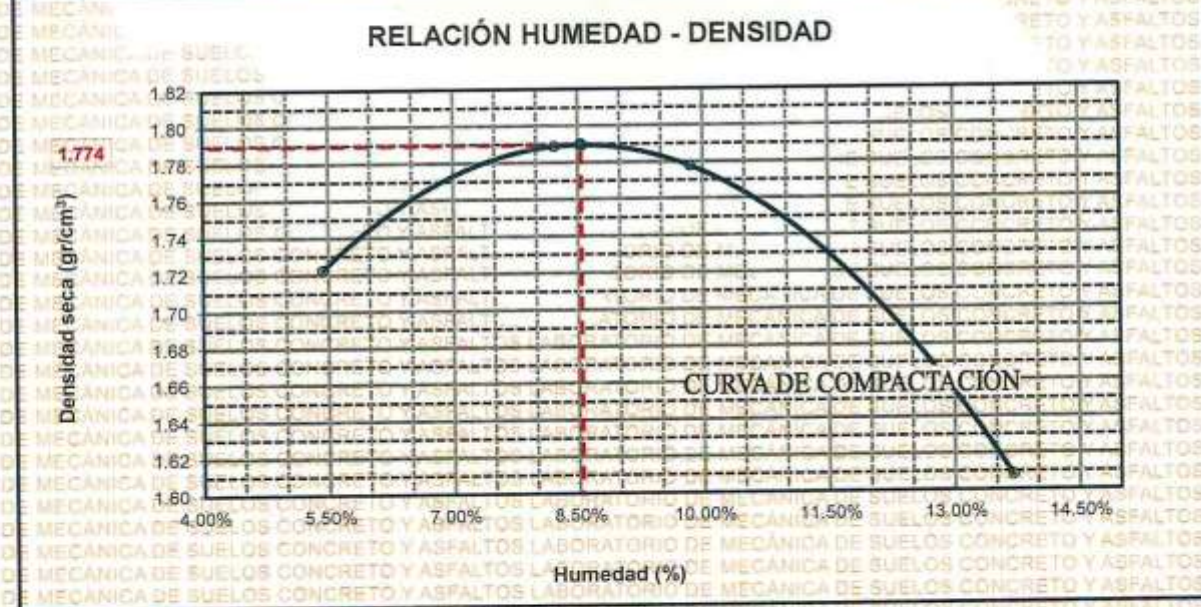
ASTM D-698 D-1557 AASHTO T-99 T-180

TESIS	EFECTO DE LA INCORPORACIÓN DE SULFATO DE CALCIO HEMIHDRATADO Y CEMENTO ENDURECIDO TRITURADO SOBRE LAS PROPIEDADES DEL SUELO DE SUBRASANTE EN VÍAS DEL DISTRITO SAN MIGUEL 2024		
SOLICITANTE	Bach. DENNYS ALBERTO COLQUE RUELAS		
UBICACIÓN	SAN MIGUEL		
PROGRESIVA	KM 4+500		
MUESTRA	CALICATA 3 - MUESTRA 3		
FECHA	29 DE ENERO DEL 2025		
MOLDE No	1	VOLUMEN DEL MOLDE	2105 cm <sup>3</sup>
No DE CAPAS	5	GOLPES POR CAPA	56 golpes

Peso Suelo Húmedo + Molde	gr.	9797	10049	10085	9823
Peso del Molde	gr.	5974	5974	5974	5974
Peso del Suelo Húmedo	gr/cm <sup>3</sup>	3823	4075	4111	3849
Densidad del Suelo Húmedo	gr/cm <sup>3</sup>	1.816	1.936	1.953	1.829

Capsula No	No	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.
Suelo Húmedo + Capsula	gr.	420.78	409.56	438.12	418.98	430.26	409.28	406.96	385.76
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	402.24	391.95	413.65	388.35	398.79	377.35	356.49	356.60
Peso del Agua	gr.	18.52	17.61	24.47	30.63	31.47	31.93	50.47	29.16
Peso de la Capsula	gr.	64.85	64.74	63.35	64.45	65.25	65.65	65.74	66.52
Peso del Suelo Seco	gr.	337.39	327.21	350.30	323.90	332.54	311.70	290.75	290.08
% de Humedad	%	5.48%	5.38%	6.99%	9.46%	9.46%	10.24%	17.36%	10.05%
Promedio de Humedad	%	5.44%		8.22%		9.85%		13.71%	
Densidad del Suelo Seco	%	1.723		1.789		1.778		1.608	

METODO:	ASTM D - 1557	MAXIMA DENSIDAD SECA	1.774 gr/cm <sup>3</sup>
	MODIFICADO "C"	HUMEDAD OPTIMA	7.92%



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
 FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS  
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL  
 LABORATORIO M.S.C. JEFATURA  
 Mgtr. Arnaldo Yana Torres  
 CIP 103257

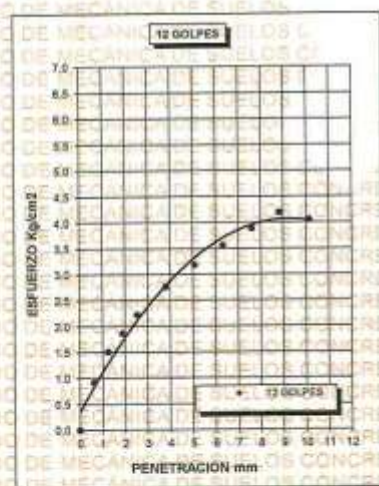
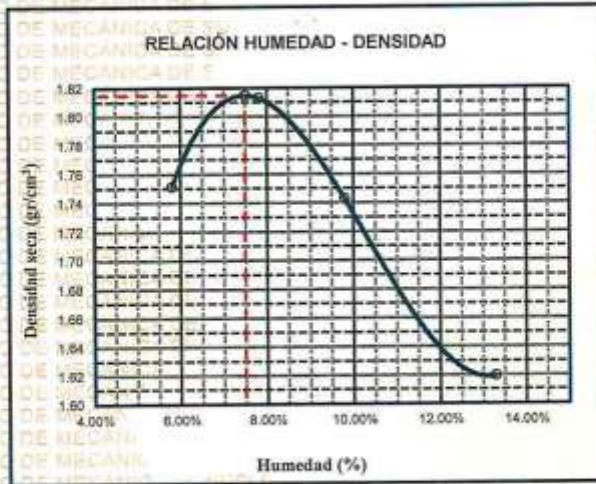
RIE: B018-00101357



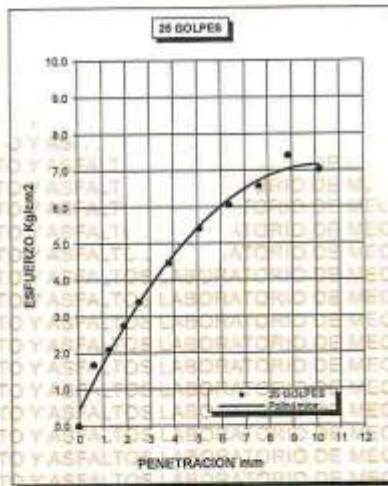
UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS



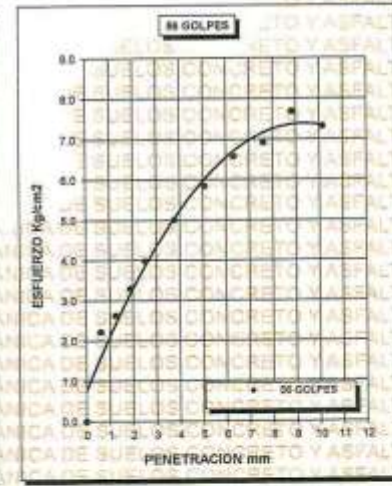
<b>PROYECTO :</b> "EFECTO DE LA INCORPORACIÓN DE SULFATO DE CALDO HEMIHDRATADO Y CEMENTO ENDURECIDO TRITURADO SOBRE LAS PROPIEDADES DEL SUELO DE SUBRASANTE EN VÍAS DEL DISTRITO SAN MIGUEL 2024"	<b>METODO DE COMPACTACIÓN ASTM D1557-91</b>
<b>SOLICITADO :</b> Bach. DENNYS ALBERTO COLQUE RUELAS	<b>MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm<sup>3</sup>.)</b> 1.774
<b>UBICACIÓN :</b> SAN MIGUEL	<b>HUMEDAD OPTIMA (%)</b> 7.92%
<b>PROGRESIVA :</b> KM 4+500	<b>CBR AL 100 DE M.D.S. (%)</b> 5.68
<b>MUESTRA :</b> SUELO NATURAL - CALICATA - M3	<b>CBR AL 95% DE M.D.S. (%)</b> 4.70
<b>FECHA :</b> 29 DE ENERO DEL 2025	<b>CLASIFICACIÓN :</b> CL
	<b>AASHTO :</b> A-2
	<b>EMBEBIDO :</b> 4 DIAS



CBR 3.07



CBR 4.70



CBR 5.68



UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ  
FICP - CAP. INGENIERÍA CIVIL  
Mgtr. Arnaldo Yana Torres  
DUE 103257

DUE 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

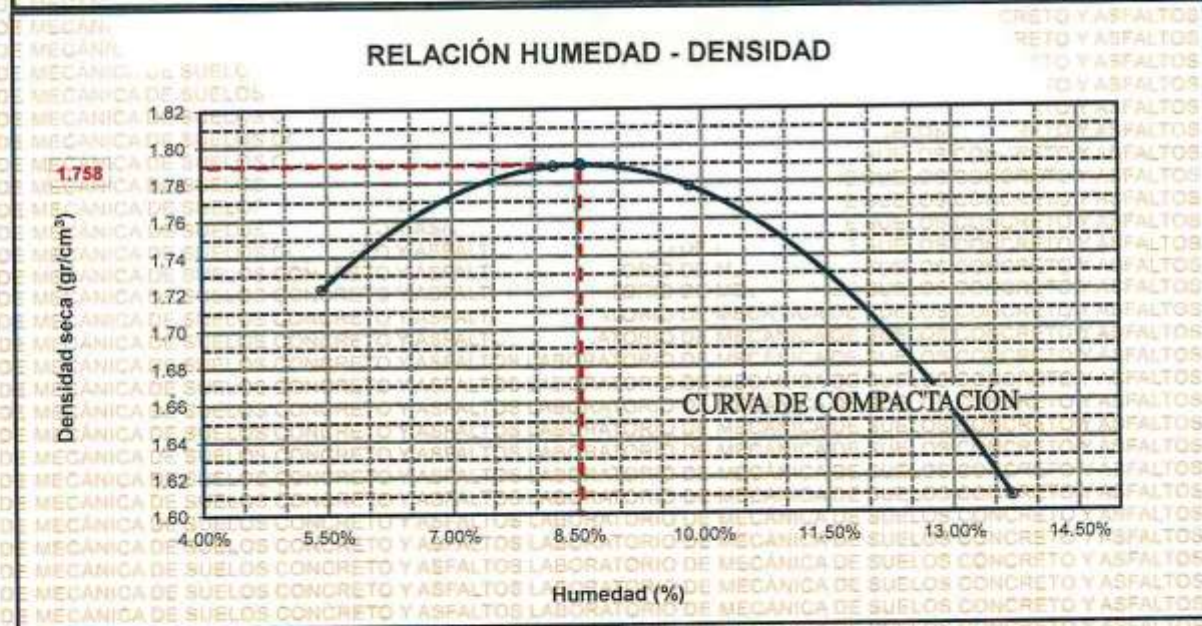
<b>TESIS:</b>	EFECTO DE LA INCORPORACIÓN DE SULFATO DE CALCIO-HEMIHIDRATADO Y CEMENTO ENDURECIDO TRITURADO SOBRE LAS PROPIEDADES DEL SUELO DE SUBRASANTE EN VÍAS DEL DISTRITO SAN MIGUEL 2024		
<b>SOLICITANTE</b>	: Bach. DENNYS ALBERTO COLQUE RUELAS		
<b>UBICACIÓN</b>	: SAN MIGUEL		
<b>PROGRESIVA</b>	: KM 4+500		
<b>MUESTRA</b>	: CALICATA 4 - MUESTRA 4		
<b>FECHA</b>	: 29 DE ENERO DEL 2025		

<b>MOLDE No</b>	: 1	<b>VOLUMEN DEL MOLDE</b>	: 2105 cm <sup>3</sup>
<b>No DE CAPAS</b>	: 5	<b>GOLPES POR CAPA</b>	: 56 golpes

Peso Suelo Húmedo + Molde	gr.	9797	10049	10085	9823
Peso del Molde	gr.	5974	5974	5974	5974
Peso del Suelo Húmedo	gr/cm <sup>3</sup> .	3823	4075	4111	3849
Densidad del Suelo Húmedo	gr/cm <sup>3</sup> .	1.816	1.936	1.953	1.829

Capsula No	No	SUELO 1		SUELO 2		SUELO 3		SUELO 4	
		SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.
Suelo Húmedo + Capsula	gr.	420.76	409.58	438.12	418.98	430.25	409.28	406.95	385.76
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	402.24	391.95	413.65	398.35	398.79	377.35	356.49	356.80
Peso del Agua	gr.	18.52	17.61	24.47	30.63	31.47	31.93	50.47	29.16
Peso de la Capsula	gr.	64.85	64.74	63.35	64.45	66.25	65.65	65.74	66.52
Peso del Suelo Seco	gr.	337.39	327.21	350.30	323.90	332.54	311.70	290.75	290.08
% de Humedad	%	5.49%	5.38%	6.99%	9.46%	9.46%	10.24%	17.36%	10.06%
<b>Promedio de Humedad</b>	%	5.44%		8.22%		9.85%		13.71%	
<b>Densidad del Suelo Seco</b>	%	1.723		1.789		1.778		1.608	

<b>METODO:</b>	ASTM D - 1557	<b>MAXIMA DENSIDAD SECA</b>	: 1.758 gr/cm <sup>3</sup>
	MODIFICADO "C"	<b>HUMEDAD OPTIMA</b>	: 8.70%



UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ  
FICP - CAP. INGENIERÍA CIVIL

*[Firma manuscrita]*  
Mg. Daniel Vallejos Torres  
CIP: 303257

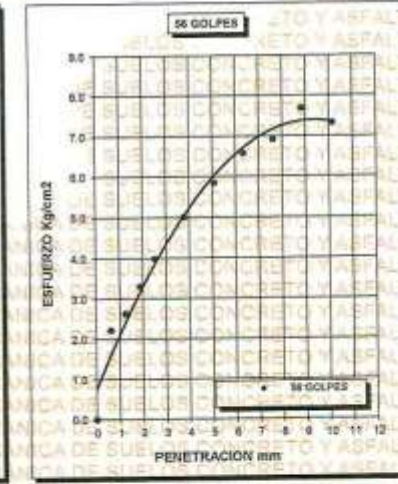
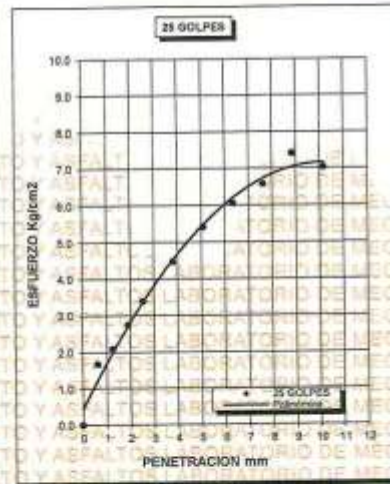
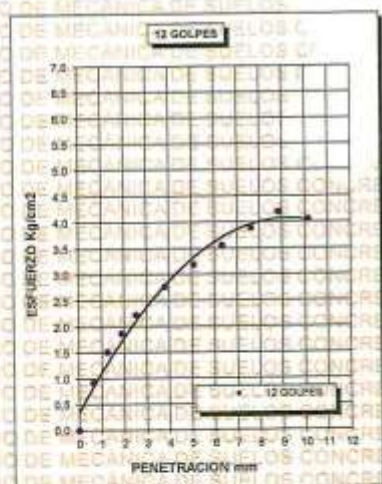
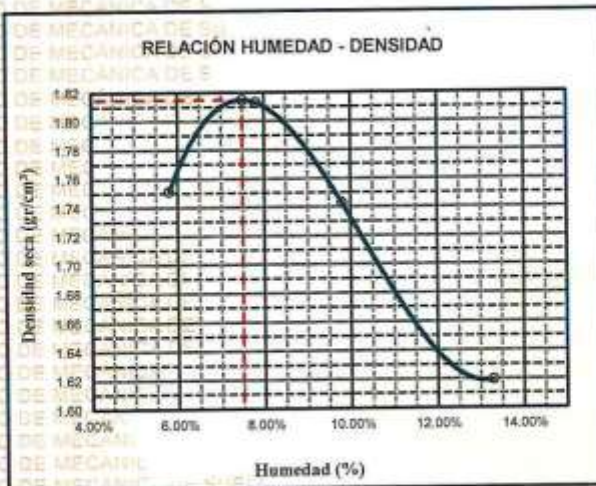
BIE - 0018 - 00101257



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



<b>PROYECTO :</b>	"EFECTO DE LA INCORPORACIÓN DE SULFATO DE CALCIO HEMIHDRATADO Y CEMENTO ENDURECIDO TRITURADO SOBRE LAS PROPIEDADES DEL SUELO DE SUBRASANTE EN VÍAS DEL DISTRITO SAN MIGUEL 2024"	<b>METODO DE COMPACTACIÓN ASTM D1557-91</b>
<b>SOLICITADO :</b>	Bach. DENNYS ALBERTO COLQUE RUELAS	<b>MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm<sup>3</sup>):</b> 1.758
<b>UBICACIÓN :</b>	SAN MIGUEL	<b>HUMEDAD OPTIMA (%):</b> 8.70%
<b>PROGRESIVA :</b>	KM 4+500	<b>CBR AL 100 DE M.D.S. (%):</b> 5.33
<b>MUESTRA :</b>	SUELO NATURAL - CALICATA - M4	<b>CBR AL 95% DE M.D.S. (%):</b> 4.45
<b>FECHA :</b>	29 DE ENERO DEL 2025	<b>CLASIFICACIÓN :</b> CL
		<b>AASHTO :</b> A-2
		<b>EMBEBIDO :</b> 4 DIAS



CBR 3.07

CBR 4.45

CBR 5.33

UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
FICP - C.A. INGENIERÍA CIVIL

M.S.C. JEFATURA

Mgtr. Arnaldo Yana Torres  
C.P. 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 :	EFEECTO DE LA INCORPORACION DE SULFATO DE CALCIO HEMIHIDRATADO Y CEMENTO ENDURECIDO TRITURADO SOBRE LAS PROPIEDADES DEL SUELO DE SUBRASANTE EN VÍAS DEL DISTRITO SAN MIGUEL 2024
SOLICITANTE :	Bach. DENNYS ALBERTO COLQUE RUELAS
UBICACIÓN :	SAN MIGUEL
MUESTRA :	CALICATA 1 - MUESTRA 1 + 4% DE SULFATO DE CALCIO HEMIHIDRATADO
FECHA :	29 DE ENERO DEL 2025

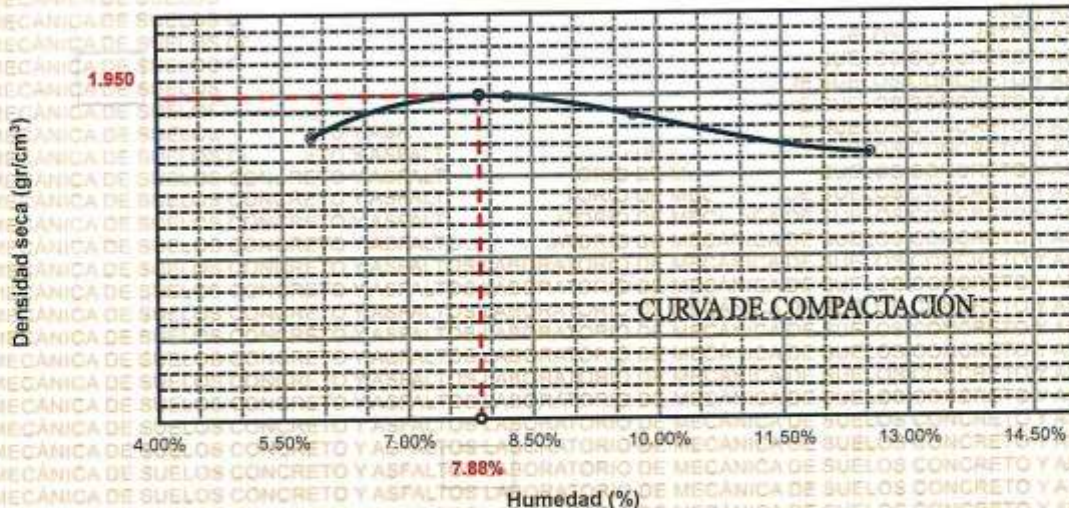
MOLDE No :	1	VOLUMEN DEL MOLDE :	2120 cm <sup>3</sup>
No DE CAPAS :	5	GOLPES POR CAPA :	56 golpes

Peso Suelo Húmedo + Molde	gr.	9898	10545	10341	9874
Peso del Molde	gr.	5980	5980	5980	5980
Peso del Suelo Húmedo	gr/cm <sup>3</sup> .	3918	4565	4361	3894
Densidad del Suelo Húmedo	gr/cm <sup>3</sup> .	1.848	2.153	2.057	1.837

Capsula No	No	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.
Suelo Húmedo + Capsula	gr.	423.75	415.76	442.22	422.85	432.45	415.75	412.67	389.85
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	403.02	397.16	412.12	386.88	400.21	364.52	367.25	360.15
Peso del Agua	gr.	20.73	18.60	30.10	25.97	32.24	31.23	45.42	29.71
Peso de la Capsula	gr.	62.98	64.78	63.10	64.20	65.36	68.25	64.87	65.85
Peso del Suelo Seco	gr.	340.04	332.38	349.02	332.68	334.85	318.27	302.38	294.30
% de Humedad	%	6.10%	5.80%	8.62%	7.81%	9.63%	9.81%	15.02%	10.10%
Promedio de Humedad	%	5.85%		8.22%		9.72%		12.56%	
Densidad del Suelo Seco	%	1.746		1.990		1.875		1.632	

METODO:	ASTM D - 1557	MAXIMA DENSIDAD SECA :	1.950 gr/cm <sup>3</sup>
	MODIFICADO "C"	HUMEDAD OPTIMA :	7.88%

### RELACION HUMEDAD - DENSIDAD



UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ  
 FICP - CAP. INGENIERÍA CIVIL  
 LABORATORIO M.S.C.A. JEFATURA  
 Mgr. Arnaldo Yana Torres  
 C.I.F. 103257

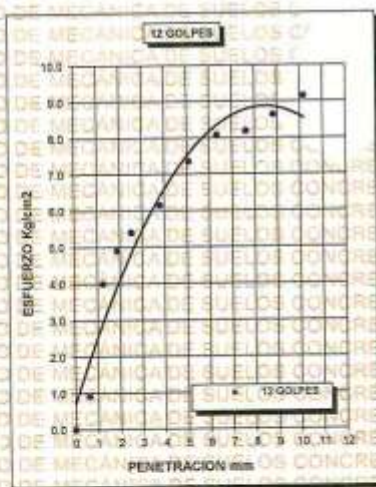
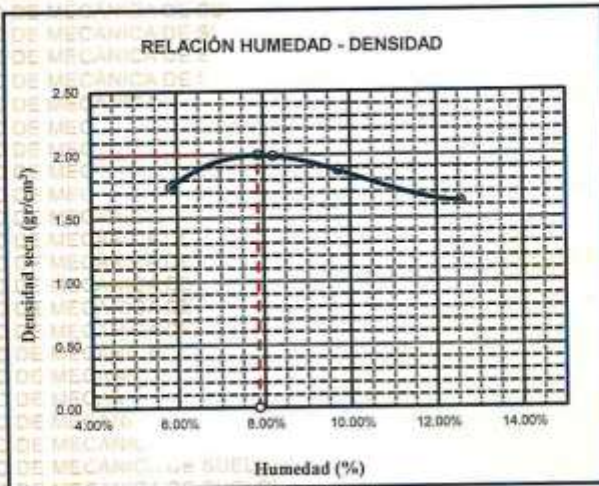
BIE: B018-00101357



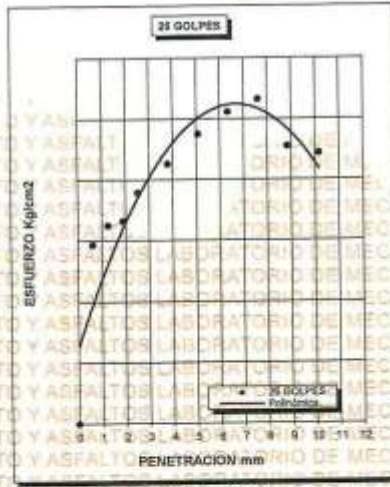
UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS



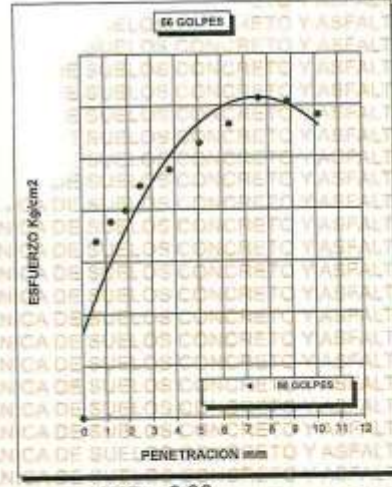
<b>PROYECTO :</b>	"EFECTO DE LA INCORPORACIÓN DE SULFATO DE CALCIO HEMIHIDRATADO Y CEMENTO ENDURECIDO TRITURADO SOBRE LAS PROPIEDADES DEL SUELO DE SUBRASANTE EN VÍAS DEL DISTRITO SAN MIGUEL 2024"	<b>METODO DE COMPACTACIÓN ASTM D1557-91</b>
<b>SOLICITADO :</b>	Bach. DENNYS ALBERTO COLQUE RUELAS	<b>MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm<sup>3</sup>)</b> 1.950
<b>UBICACIÓN :</b>	SAN MIGUEL	<b>HUMEDAD OPTIMA (%)</b> 7.88%
<b>MUESTRA :</b>	CALICATA - M1 + 4% DE SULFATO DE CALCIO HEMIHIDRATADO	<b>CBR AL 100 DE M.D.S. (%)</b> 8.20
<b>FECHA :</b>	29 DE ENERO DEL 2025	<b>CBR AL 95% DE M.D.S. (%)</b> 6.30
		<b>CLASIFICACIÓN :</b> CL
		<b>AASHTO :</b> A-2
		<b>EMBEBIDO :</b> 4 DIAS



CBR 3.27



CBR 6.30



CBR 8.20



UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ  
FICP - CAP INGENIERÍA CIVIL

Mgtr. Arnaldo Yana Torres  
CIP. 103257

010-8018-00101257



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

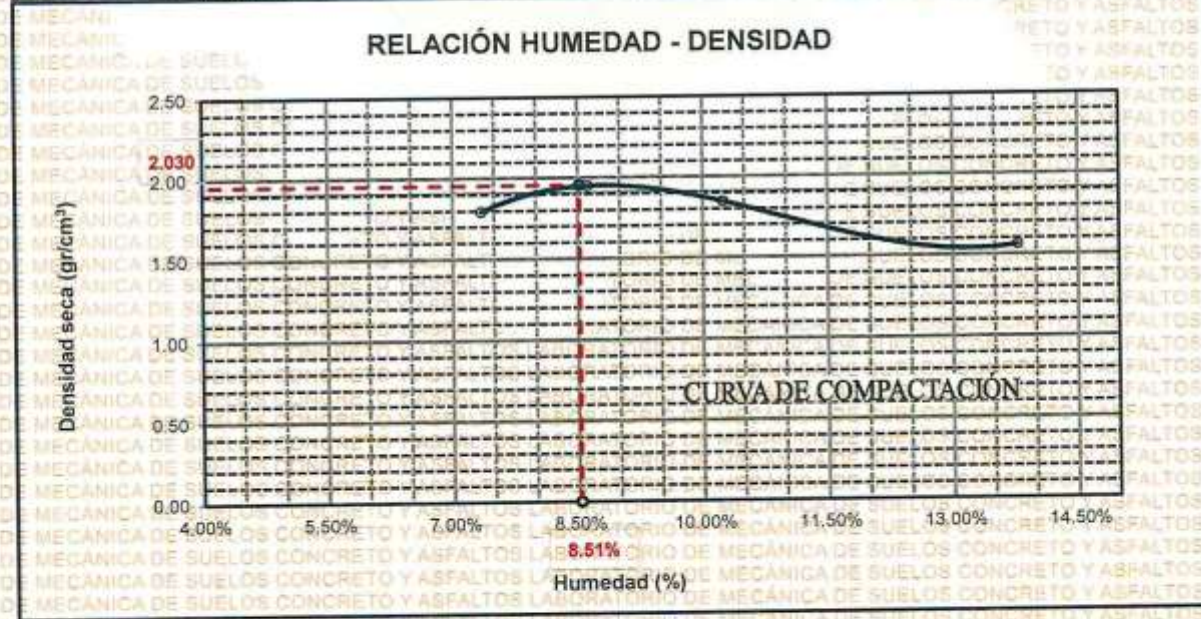
TESIS	EFECTO DE LA INCORPORACIÓN DE SULFATO DE CALCIO HEMIHDRATADO Y CEMENTO ENDURECIDO TRITURADO SOBRE LAS PROPIEDADES DEL SUELO DE SUBRASANTE EN VÍAS DEL DISTRITO SAN MIGUEL 2024		
SOLICITANTE	Bach. DENNYS ALBERTO COLQUE RUELAS		
UBICACIÓN	SAN MIGUEL		
PROGRESIVA	KM 2+500		
MUESTRA	CALICATA 2 - MUESTRA 2 + 8% DE SULFATO DE CALCIO HEMIDRATADO		
FECHA	2+ DE ENERO DEL 2025		

MOLDE No	1	VOLUMEN DEL MOLDE	2120 cm <sup>3</sup>
No DE CAPAS	5	GOLPES POR CAPA	56 golpes

Peso Suelo Humedo + Molde	gr.	10056	10465	10289	9741
Peso del Molde	gr.	5974	5974	5974	5974
Peso del Suelo Húmedo	gr/cm <sup>3</sup>	4082	4491	4315	3767
Densidad del Suelo Humedo	gr/cm <sup>3</sup>	1.925	2.118	2.035	1.777

Capsula No	No	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.
Suelo Humedo + Capsula	gr.	420.89	410.95	445.88	420.42	432.74	415.85	405.85	390.75
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	395.21	388.25	415.26	392.21	399.64	382.32	354.12	362.12
Peso del Agua	gr.	25.68	22.70	30.62	28.21	33.10	33.53	51.73	28.63
Peso de la Capsula	gr.	62.25	63.21	62.25	63.10	66.12	65.21	65.52	65.21
Peso del Suelo Seco	gr.	332.96	325.04	353.01	329.11	333.52	317.11	288.60	296.91
% de Humedad	%	7.71%	6.98%	8.67%	8.57%	9.82%	10.57%	17.92%	9.64%
<b>Promedio de Humedad</b>	%	7.35%		8.62%		10.25%		13.78%	
<b>Densidad del Suelo Seco</b>	%	1.794		1.950		1.846		1.562	

METODO:	ASTM D - 1557	MAXIMA DENSIDAD SECA	2.030 gr/cm <sup>3</sup>
	MODIFICADO "C"	HUMEDAD OPTIMA	8.51%



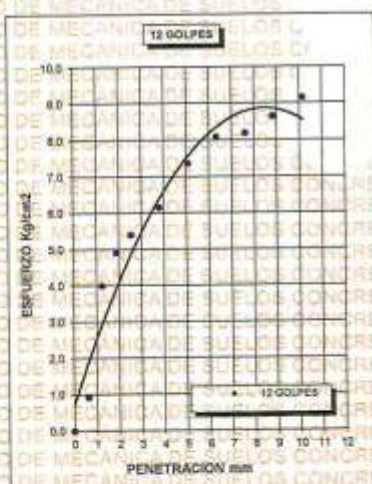
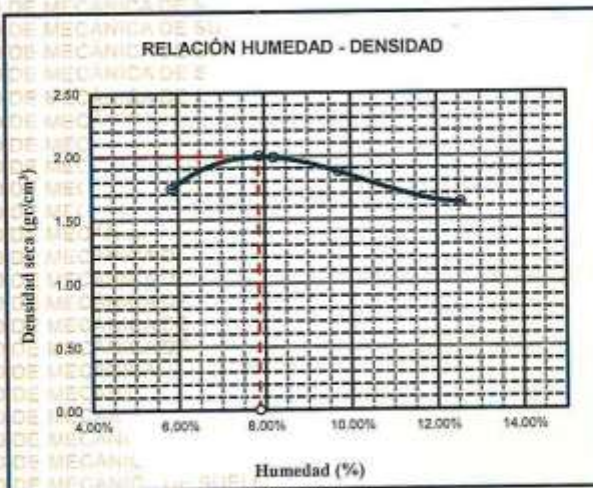
UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ  
FICP - CAP. INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIO M.S.C.A. JEFATURA  
Mgtr. Arnaldo Yana Torres  
CIP 193257



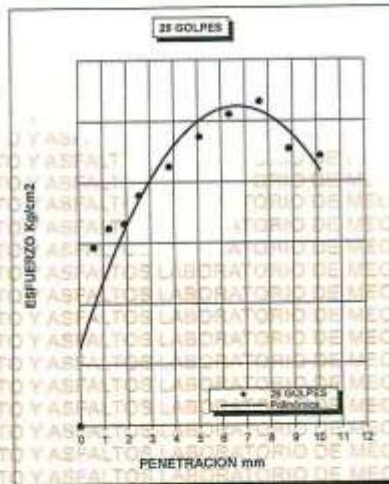
UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS



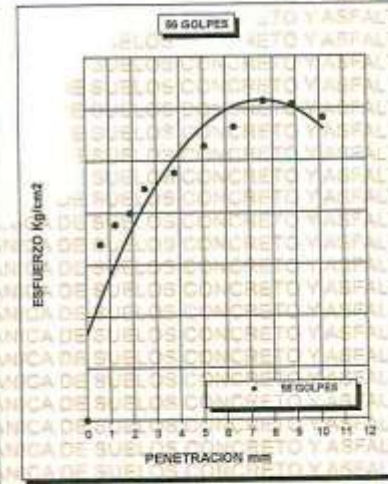
<b>PROYECTO :</b>	"EFECTO DE LA INCORPORACIÓN DE SULFATO DE CALCIO HEMIHIDRATADO Y CEMENTO ENDURECIDO TRITURADO SOBRE LAS PROPIEDADES DEL SUELO DE SUBRASANTE EN VÍAS DEL DISTRITO SAN MIGUEL 2024"	<b>METODO DE COMPACTACIÓN ASTM D1557-91</b>
<b>SOLICITADO :</b>	Bach. DENNYS ALBERTO COLQUE RUELAS	<b>MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm<sup>3</sup>)</b> 2.030
<b>UBICACIÓN :</b>	SAN MIGUEL	<b>HUMEDAD OPTIMA (%)</b> 8.51%
<b>PROGRESIVA :</b>	KM 2+500	<b>CBR AL 100 DE M.D.S. (%)</b> 13.75
<b>MUESTRA :</b>	CALICATA - M2 + 8% DE SULFATO DE CALCIO HEMIHIDRATADO	<b>CBR AL 95% DE M.D.S. (%)</b> 11.32
<b>FECHA :</b>	29 DE ENERO DEL 2025	<b>CLASIFICACIÓN :</b> CL
		<b>AASHTO :</b> A-2
		<b>EMBEBIDO :</b> 4 DIAS



CBR 5.42



CBR 11.32



CBR 13.75



UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ  
FICP - CAP INGENIERIA CIVIL  
Mgtr. Arnaldo Yano 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

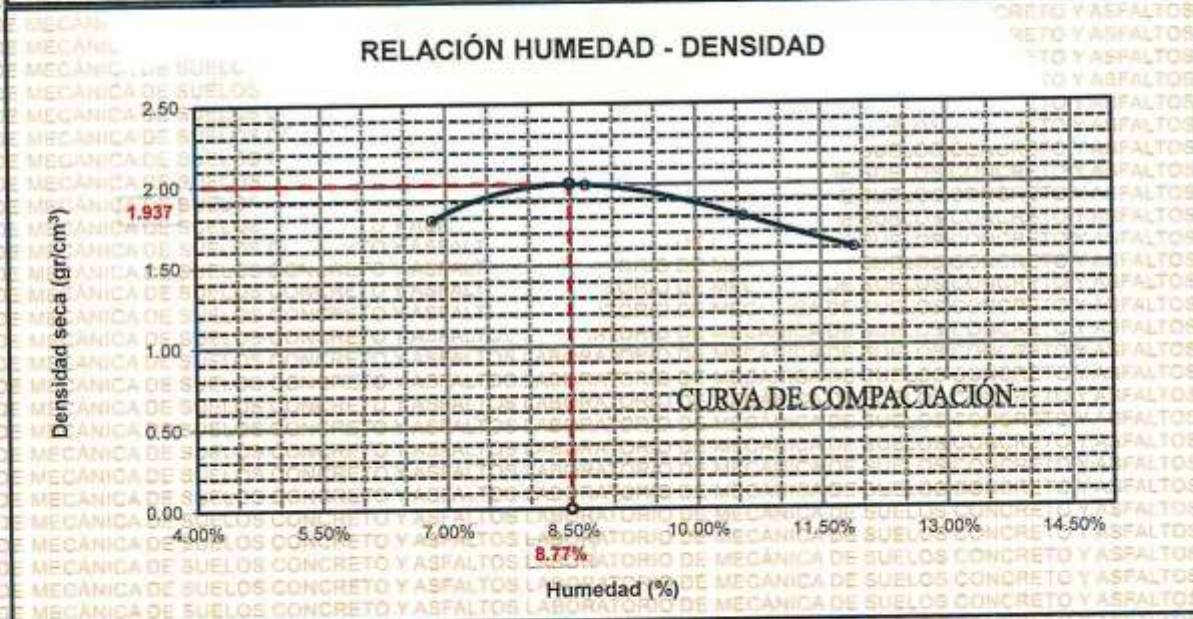
TESIS	: EFECTO DE LA INCORPORACIÓN DE SULFATO DE CALCIO HEMIHDRATADO Y CEMENTO ENDURECIDO TRITURADO SOBRE LAS PROPIEDADES DEL SUELO DE SUBRASANTE EN VÍAS DEL DISTRITO SAN MIGUEL 2024
SOLICITANTE	: Bach. DENNYS ALBERTO COLQUE RUELAS
UBICACIÓN	: SAN MIGUEL
PROGRESIVA	: KM 4+500
MUESTRA	: CALICATA 3 - MUESTRA 3 + 4% DE CEMENTO ENDURECIDO
FECHA	: 29 DE ENERO DEL 2025

MOLDE No	: 1	VOLUMEN DEL MOLDE	: 2120 cm <sup>3</sup>
No DE CAPAS	: 5	GOLPES POR CAPA	: 56 golpes

Peso Suelo Húmedo + Molde	gr.	10035	10598	10215	9802
Peso del Molde	gr.	5993	5993	5993	5993
Peso del Suelo Húmedo	gr/cm <sup>3</sup>	4042	4605	4222	3809
Densidad del Suelo Húmedo	gr/cm <sup>3</sup>	1.907	2.172	1.992	1.797

Capsula No	No	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.
Suelo Húmedo + Capsula	gr.	425.89	415.89	438.78	420.96	425.85	416.78	406.58	392.72
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	403.65	392.42	413.45	388.21	392.45	382.25	363.12	359.32
Peso del Agua	gr.	22.24	23.47	25.33	32.77	33.40	34.53	43.46	27.40
Peso de la Capsula	gr.	62.45	64.85	63.58	64.52	65.36	66.89	65.87	66.74
Peso del Suelo Seco	gr.	341.20	327.77	349.87	323.69	327.09	315.66	297.25	298.58
% de Humedad	%	6.62%	7.18%	7.24%	10.12%	10.21%	10.94%	14.62%	9.18%
Promedio de Humedad	%	6.84%		8.68%		10.68%		11.90%	
Densidad del Suelo Seco	%	1.785		1.999		1.801		1.606	

METODO:	ASTM D - 1557	MAXIMA DENSIDAD SECA	: 1.937 gr/cm <sup>3</sup>
	MODIFICADO "C"	HUMEDAD OPTIMA	: 8.77%



LABORATORIO M.S.C.A. JEFATURA

UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ  
FICP - CAP. INGENIERIA CIVIL

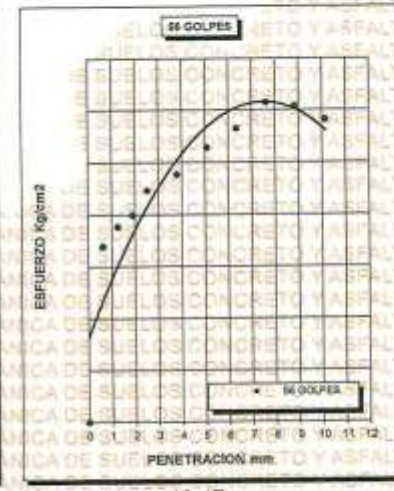
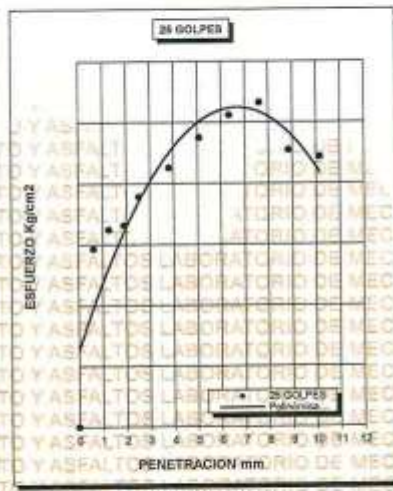
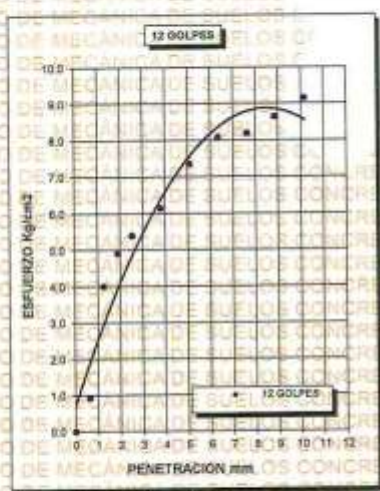
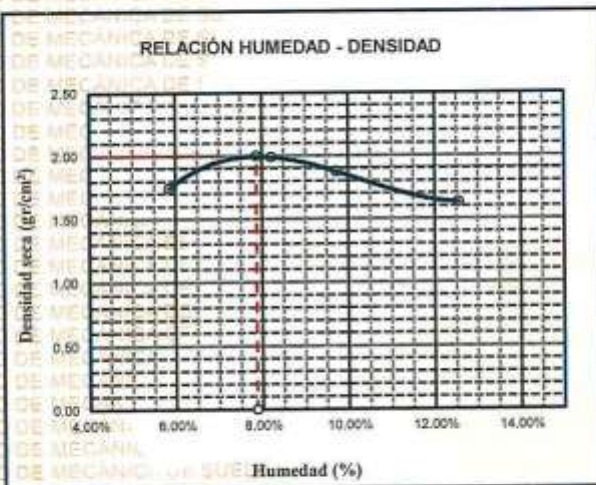
Mtro. Arnaldo Yana Torres  
CIP 103257



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



<b>PROYECTO :</b>	EFEECTO DE LA INCORPORACIÓN DE SULFATO DE CALCIO HEMIHIDRATADO Y CEMENTO ENDURECIDO TRITURADO SOBRE LAS PROPIEDADES DEL SUELO DE SUBRASANTE EN VÍAS DEL DISTRITO SAN MIGUEL 2024*	<b>METODO DE COMPACTACIÓN ASTM D1557-91</b>
<b>SOLICITADO :</b>	Bach. DENNYS ALBERTO COLQUE RUELAS	<b>MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm3.)</b> 1.937
<b>UBICACIÓN :</b>	SAN MIGUEL	<b>HUMEDAD OPTIMA (%)</b> 8.77%
<b>PROGRESIVA :</b>	KM 4+500	<b>CBR AL 100 DE M.D.S. (%)</b> 12.47
<b>MUESTRA :</b>	CALICATA - M3 + 4% DE CAL VIVA	<b>CBR AL 95% DE M.D.S. (%)</b> 9.89
<b>FECHA :</b>	29 DE ENERO DEL 2025	<b>CLASIFICACIÓN :</b> CL
		<b>AASHTO :</b> A-2
		<b>EMBEBIDO :</b> 4 DIAS



UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ  
 FICP - CAP. INGENIERÍA CIVIL

*Mgr. Arnoldo Yana Torres*  
 017 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

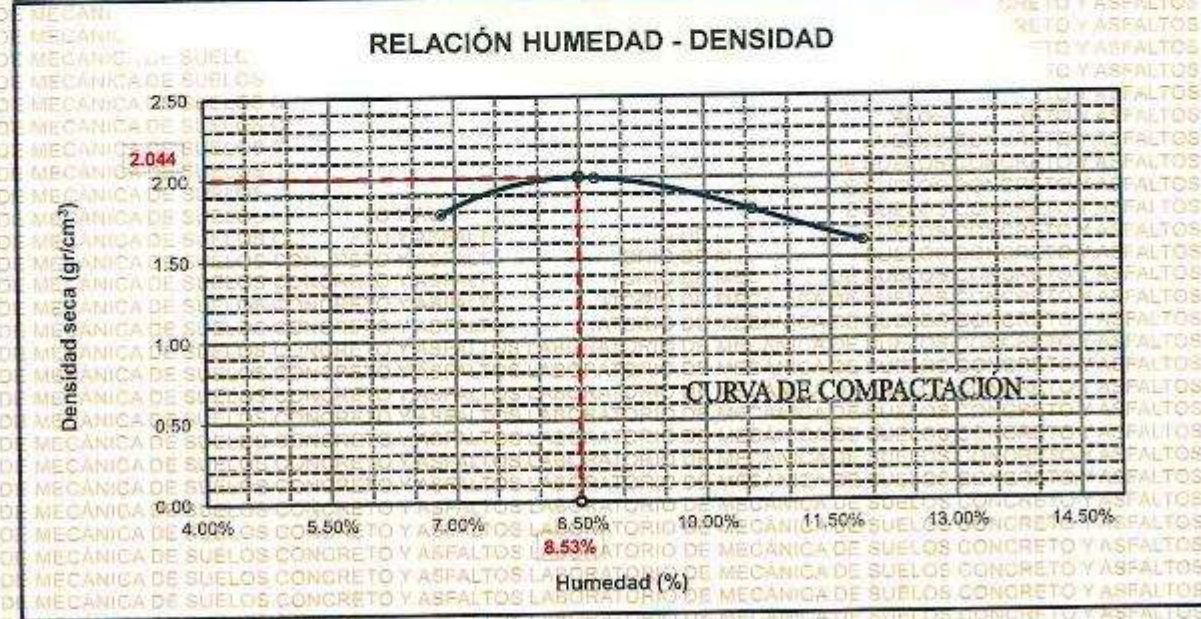
**TESIS** : EFECTO DE LA INCORPORACIÓN DE SULFATO DE CALCIO HEMHIDRATADO Y CEMENTO ENDURECIDO TRITURADO SOBRE LAS PROPIEDADES DEL SUELO DE SUBRASANTE EN VÍAS DEL DISTRITO SAN MIGUEL 2024  
**SOLICITANTE** : Bch. DENNYS ALBERTO COLQUE RUELAS  
**UBICACIÓN** : SAN MIGUEL  
**PROGRESIVA** : KM 4+500  
**MUESTRA** : CALICATA 4 - MUESTRA 4 + 8% DE CEMENTO ENDURECIDO  
**FECHA** : 29 DE ENERO DEL 2025

**MOLDE No** : 1 **VOLUMEN DEL MOLDE** : 2120 cm<sup>3</sup>  
**No DE CAPAS** : 5 **GOLPES POR CAPA** : 56 golpes

Peso Suelo Húmedo + Molde	gr.	10035	10598	10215	9902
Peso del Molde	gr.	5993	5993	5993	5993
Peso del Suelo Húmedo	gr/cm <sup>3</sup>	4042	4605	4222	3809
Densidad del Suelo Húmedo	gr/cm <sup>3</sup>	1.907	2.172	1.992	1.797

Capsula No	No.	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.
Suelo Húmedo + Capsula	gr.	425.89	415.95	436.78	420.99	425.65	418.78	406.58	382.72
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	403.65	392.42	413.45	388.21	382.45	382.25	383.12	365.37
Peso del Agua	gr.	22.24	23.47	23.33	32.77	33.40	34.53	43.46	27.40
Peso de la Capsula	gr.	62.48	64.65	63.58	64.52	65.36	66.09	65.67	66.74
Peso del Suelo Seco	gr.	341.20	327.77	349.87	323.69	327.09	315.55	297.25	298.58
% de Humedad	%	6.52%	7.16%	7.24%	10.12%	10.21%	10.94%	14.62%	9.18%
<b>Promedio de Humedad</b>	%	6.84%		8.68%		10.58%		11.90%	
<b>Densidad del Suelo Seco</b>	%	1.785		1.999		1.801		1.606	

**METODO:** ASTM D - 1557 **MAXIMA DENSIDAD SECA** : 2.044 gr/cm<sup>3</sup>  
MODIFICADO "C" **HUMEDAD OPTIMA** : 8.77%



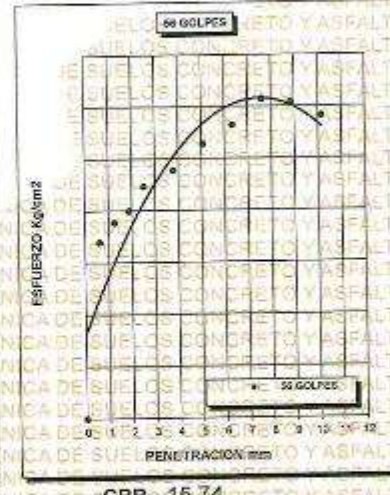
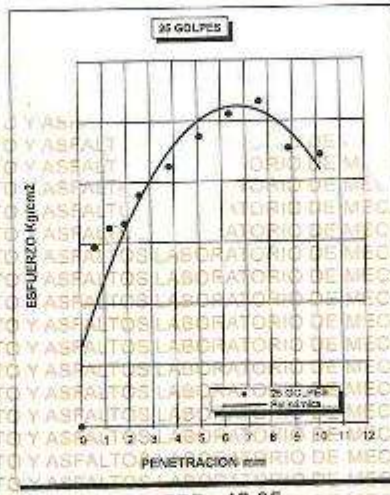
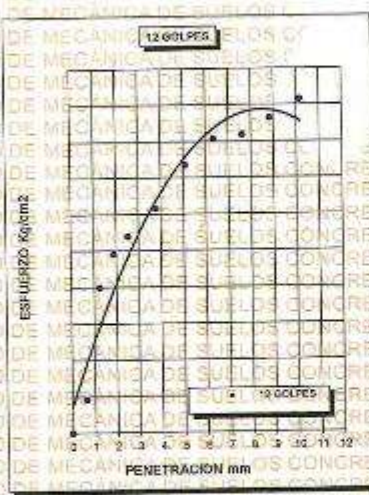
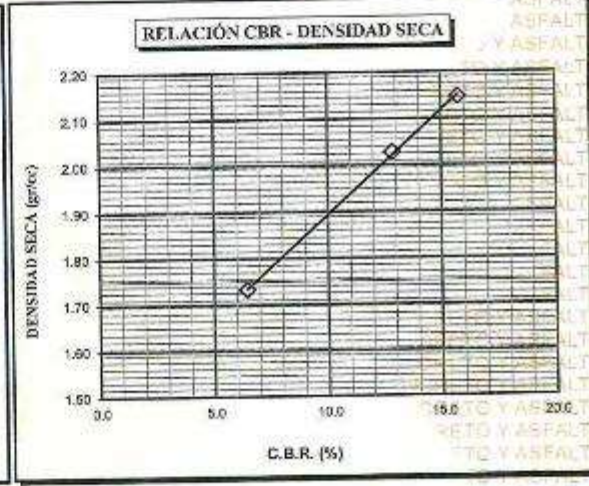
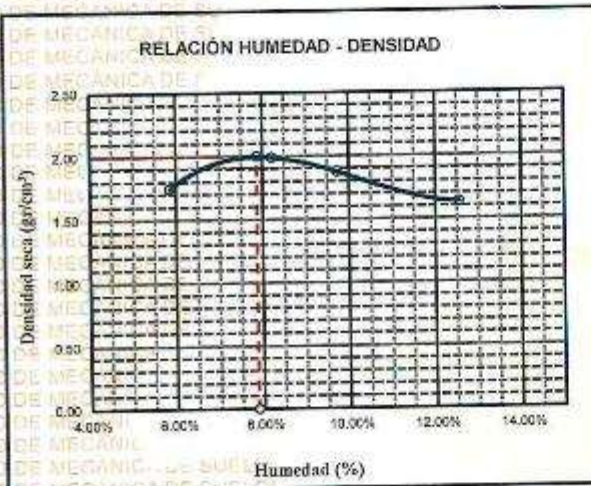
UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
FICP - CAP INGENIERÍA CIVIL  
M.S.C.A. JERARDA  
Mtr. Arnoldo Yana Torres  
CIP 103257



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



<b>PROYECTO :</b>	"EFECTO DE LA INCORPORACIÓN DE SULFATO DE CALCIO HEMIHIDRATADO Y CEMENTO ENDURECIDO TRITURADO SOBRE LAS PROPIEDADES DEL SUELO DE SUBRASANTE EN VÍAS DEL DISTRITO SAN MIGUEL 2024"	<b>METODO DE COMPACTACIÓN ASTM D1557-91</b>
<b>SOLICITADO :</b>	Bach. DENNYS ALBERTO COLQUE RUEDAS	<b>MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm<sup>3</sup>.)</b> 2.044
<b>UBICACIÓN :</b>	SAN MIGUEL	<b>HUMEDAD OPTIMA (%)</b> 8.77%
<b>PROGRESIVA :</b>	KM 4+500	<b>CBR AL 100 DE M.D.S. (%)</b> 15.74
<b>MUESTRA :</b>	CALICATA - M3 + 8% DE CEMENTO ENDURECIDO	<b>CBR AL 95% DE M.D.S. (%)</b> 12.85
<b>FECHA :</b>	29 DE ENERO DEL 2025	<b>CLASIFICACIÓN :</b> CL
		<b>AASHTO :</b> A-2
		<b>EMBEBIDO :</b> 4 DIAS



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.Sc. A. JEFFERSON  
M.Sc. A. JEFFERSON

Mtr. 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: 17-07-2025

1. Datos del autor (es):

Nombres y Apellidos: DENNYS ALBERTO COLQUE RÚELAS

Dirección: Jr. MOQUEGUA 403

DNI/Carné de Extranjería/Pasaporte N°: 73439096

Teléfono: 900 870 309 email: Dennyscolqueruelas@gmail.com

Nombres y Apellidos: \_\_\_\_\_

Dirección: \_\_\_\_\_

DNI/Carné de Extranjería/Pasaporte N°: \_\_\_\_\_

Teléfono: \_\_\_\_\_ email: \_\_\_\_\_

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

Escuela Profesional o Mención: INGENIERÍA CIVIL

Título o Grado Académico a optar: TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

Asesor: Dr. MILTHON QUISPE HUANCA

Esta obra se encuentra dentro de las siguientes denominaciones:

Trabajo de Investigación  Tesis  Trabajo de Suficiencia Profesional  Trabajo Académico

Título: EFFECTO DE LA INCORPORACIÓN DE SULFATO DE CALCIO HEMIDRATADO Y CEMENTO

ENDURECIDO TRITURADO SOBRE LAS PROPIEDADES DEL SUELO DE

SUBRASANTE EN VÍAS DEL DISTRITO DE SAN MIGUEL 2024

Palabras claves, (3 a 5 términos): SUBRASANTE, SULFATOS, CEMENTO ENDURECIDO, CBR

¿Esta obra se desarrolló en la UANCV <sup>1,2</sup>?

1

<sup>1</sup> 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.

<sup>2</sup> 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

  11-07-2025

Firma de Autor                      huella digital                      Fecha