



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA**



**INFORME N° 13-2025-UNACH/UI/MAST**

**A** : **Dr. Ing. Juan Esteban Gonzáles García**  
Presidente del jurado de tesis FCI-UNACH.

**ASUNTO** : Constancia de Originalidad de Turnitin de JOSÉ RONALDO ESTELA TAN y EVER IVAN SÁNCHEZ VÁZQUEZ.

**FECHA** : Colpa Matara, 05 de junio del 2025.

**REFERENCIA:** i) Envío de tesis en digital en su versión final  
ii) INFORME N° 007-2025-UNACH-FCI-EPIC-DAME/JEGG / Conformidad por parte del presidente del jurado de tesis.  
iii) INFORME N.º IV A- 2025 -I- VBLR/UNACH / Conformidad por parte del secretario del jurado de tesis.  
iv) CARTA N° 021- 2025- UNACH/CRCR / Conformidad por parte del vocal del jurado de tesis

De mi mayor consideración

Es grato dirigirme a Usted para expresar mi saludo, y a la vez alcanzar la constancia de originalidad de TURNITIN de la tesis denominada: “**COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL SUELO TRATADO CON CAL SOMETIDO A DIFERENTES TEMPERATURAS DURANTE EL CURADO, SUBRASANTE DE LA CARRETERA CAMPAMENTO TÚNEL CONCHANO – SIVINGAN BAJO, CHOTA**”, elaborado por los bachilleres en ingeniería civil **JOSÉ RONALDO ESTELA TAN y EVER IVAN SÁNCHEZ VÁZQUEZ**, para continuar con sus trámites ante la UNACH.

Sin otro particular, es propicia la ocasión para reiterarle las muestras de mi distinguida consideración y estima.

Atentamente,

Miguel Ángel SILVA TARRILLO  
INGENIERO CIVIL  
CIP 157792

Ing. Miguel Ángel Silva Tarrillo  
Jefe de la unidad de investigación  
FCI-UNACH

CC.

Archivo

Adjunto:

- 1) Constancia de originalidad N° 13.
- 2) Reporte TURNITIN



Colpa Matara, 05 de junio del 2025.

C.O. N° 13-2025-UI-EPIC

### CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD

El que suscribe, Jefe de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de Chota, hace constar que el Informe Final de Tesis titulado: **“COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL SUELO TRATADO CON CAL SOMETIDO A DIFERENTES TEMPERATURAS DURANTE EL CURADO, SUBRASANTE DE LA CARRETERA CAMPAMENTO TÚNEL CONCHANO – SIVINGAN BAJO, CHOTA”**, elaborado por los bachilleres en ingeniería civil: **JOSÉ RONALDO ESTELA TAN y EVER IVAN SÁNCHEZ VÁZQUEZ**, para optar el Título Profesional de ingeniero civil, presenta un índice de similitud de 9% excluyendo texto citado, bibliografía y fuentes que tengan coincidencias de menos de 10 palabras; por lo tanto, cumple con los criterios de evaluación de originalidad establecidos en el acápite g) del artículo 20 del Reglamento de Grados y Títulos UNACH, aprobado mediante la Resolución C.O. N° 120-2022-UNACH con fecha de 03 de marzo de 2022.




Se expide la presente, en conformidad a la directiva antes mencionada, para los fines que estime pertinentes.

Miguel Ángel SILVA TARRILLO  
INGENIERO CIVIL

Ing. Miguel Ángel Silva Tarrillo  
Jefe de la unidad de investigación  
FCI-UNACH

# JOSÉ RONALDO ESTELA TAN EVER IVAN SÁNCHEZ...

## Comportamiento mecánico del suelo tratado con cal sometido a diferentes temperaturas durante el curado, subrasante de la...

-  Informe Final de Tesis
-  UNIDAD DE INVESTIGACION FIC 2025-1
-  Universidad Nacional Autónoma de Chota

### Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::1:3267756820

Fecha de entrega

3 jun 2025, 9:36 a.m. GMT-5

Fecha de descarga

3 jun 2025, 10:09 a.m. GMT-5

Nombre de archivo

1\_INFORME\_FINAL\_DE\_TESIS\_Ronaldo\_Estela\_Ever\_Sánchez\_04.02.25.docx

Tamaño de archivo

13.2 MB

184 Páginas

40.771 Palabras

212.325 Caracteres




# 9% Overall Similarity

The combined total of all matches, including overlapping sources, for each database.

## Filtered from the Report

- ▶ Bibliography
- ▶ Cited Text
- ▶ Small Matches (less than 10 words)

## Top Sources

- 8%  Internet sources
- 1%  Publications
- 4%  Submitted works (Student Papers)

## Integrity Flags

### 0 Integrity Flags for Review

No suspicious text manipulations found.

Our system's algorithms look deeply at a document for any inconsistencies that would set it apart from a normal submission. If we notice something strange, we flag it for you to review.

A Flag is not necessarily an indicator of a problem. However, we'd recommend you focus your attention there for further review.

## Top Sources

- 8% Internet sources
- 1% Publications
- 4% Submitted works (Student Papers)

## Top Sources

The sources with the highest number of matches within the submission. Overlapping sources will not be displayed.

1	Internet	repositorio.unach.edu.pe	1%
2	Internet	hdl.handle.net	1%
3	Internet	www.repositorio.unach.edu.pe	<1%
4	Internet	portal.mtc.gob.pe	<1%
5	Internet	repositorio.ucv.edu.pe	<1%
6	Internet	www.coursehero.com	<1%
7	Student papers	Universidad Nacional Autonoma de Chota	<1%
8	Internet	repositorio.ucp.edu.pe	<1%
9	Student papers	Universidad Andina del Cusco	<1%
10	Internet	tesis.pucp.edu.pe	<1%
11	Student papers	Universidad Cesar Vallejo	<1%

12	Internet	repositorio.unfv.edu.pe	<1%
13	Internet	structroad.com	<1%
14	Internet	repositorio.urp.edu.pe	<1%
15	Student papers	Universidad Andina Nestor Caceres Velasquez	<1%
16	Student papers	Universidad Tecnologica de los Andes	<1%
17	Internet	repositorio.unc.edu.pe	<1%
18	Internet	Mauro Mitsuuchi Tashima. "Producción y caracterización de materiales cementan...	<1%
19	Student papers	Universidad Privada del Norte	<1%
20	Student papers	Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga	<1%
21	Internet	repositorio.uncp.edu.pe	<1%
22	Student papers	uncedu	<1%
23	Student papers	Universidad San Ignacio de Loyola	<1%
24	Internet	core.ac.uk	<1%
25	Student papers	Universidad Continental	<1%

26	Internet	repositorio.unj.edu.pe	<1%
27	Student papers	Universidad Politécnica del Perú	<1%
28	Internet	id.scribd.com	<1%
29	Internet	rdu.unc.edu.ar	<1%
30	Internet	ri-ng.uaq.mx	<1%
31	Internet	repositorio.unsaac.edu.pe	<1%
32	Internet	repositorio.upse.edu.ec	<1%
33	Student papers	Universidad Católica de Santa María	<1%
34	Internet	repositorio.unheval.edu.pe	<1%
35	Internet	pdfcookie.com	<1%
36	Student papers	Universidad del Valle de Guatemala	<1%
37	Student papers	Universidad Tecnológica Centroamericana UNITEC	<1%
38	Internet	dokumen.pub	<1%
39	Internet	repositorioacademico.upc.edu.pe	<1%

40	Internet	www.aia.com.py	<1%
41	Internet	www.nyc.gov	<1%
42	Internet	repositorio.upla.edu.pe	<1%
43	Internet	repositorio.uss.edu.pe	<1%
44	Internet	www.acofi.edu.co	<1%
45	Student papers	Universidad Católica San Pablo	<1%
46	Student papers	Universidad Nacional del Centro del Peru	<1%
47	Student papers	Universidad Pontificia Bolivariana	<1%
48	Student papers	Universidad Politecnica Salesiana del Ecuador	<1%
49	Student papers	Universidad TecMilenio	<1%
50	Internet	repositorio.continental.edu.pe	<1%
51	Publication	Antonio Gonzalez Fiol, Allison A. Mootz, Zili He, Carlos Delgado, Vilma Ortiz, Sharo...	<1%
52	Internet	biblioteca2.ucab.edu.ve	<1%
53	Internet	repositorio.uta.edu.ec	<1%

54	Internet	www.researchgate.net	<1%
55	Student papers	Pontificia Universidad Catolica del Ecuador - PUCE	<1%
56	Student papers	Universidad Católica Boliviana "San Pablo"	<1%
57	Student papers	Webster University	<1%
58	Internet	es.scribd.com	<1%
59	Internet	repositorio.unicauca.edu.co:8080	<1%
60	Internet	www.slideshare.net	<1%
61	Publication	"Proceedings of the 4th Biotechnology World Symposium", Mexican Journal of Bi...	<1%
62	Internet	repositorio.uladech.edu.pe	<1%
63	Internet	repositorio.undac.edu.pe	<1%
64	Internet	repositorio.upao.edu.pe	<1%
65	Internet	tesis.udea.edu.co	<1%
66	Student papers	ucb	<1%
67	Internet	www.idu.gov.co	<1%

68	Publication	Alqaisi, Reem Omar. "Using Eggshell Powder as a Supplementary Additive to Lim...	<1%
69	Publication	Huaquisto Cáceres, Samuel. "Efecto del aceite residual de la maquinaria pesada e...	<1%
70	Internet	es.alison.com	<1%
71	Internet	issuu.com	<1%
72	Internet	repositorio.unap.edu.pe	<1%
73	Internet	repositorio.upn.edu.pe	<1%
74	Student papers	upeu	<1%
75	Internet	worldwidescience.org	<1%
76	Internet	www.scielo.cl	<1%
77	Internet	www.scribd.com	<1%

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE  
CHOTA**

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



Comportamiento mecánico del suelo tratado con cal sometido a diferentes  
temperaturas durante el curado, subrasante de la carretera Campamento

Túnel Conchano – Sivingan Bajo, Chota

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL**

**Presentado por:**

JOSÉ RONALDO ESTELA TAN

EVER IVAN SÁNCHEZ VÁZQUEZ

**Asesor:**

Dr. Ing. EDWAR CIEZA SÁNCHEZ

**Chota – Perú**

**2025**



## FORMATO DE AUTORIZACIÓN PARA PUBLICACIÓN DE TESIS Y TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN, PARA OPTAR GRADOS ACADÉMICOS Y TÍTULOS PROFESIONALES EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL DIGITAL – UNACH

### 1. DATOS DEL AUTOR:

Apellidos y nombres: Estela Tan José Ronaldo.

Código del alumno: 2016052015

Correo electrónico: [2016052015@unach.edu.pe](mailto:2016052015@unach.edu.pe)

Teléfono: 901803354

DNI: 73599138

Apellidos y nombres: Sánchez Vásquez Ever Ivan.

Código del alumno: 2017051034

Correo electrónico: [2017051034@unach.edu.pe](mailto:2017051034@unach.edu.pe)

Teléfono: 976399580

DNI: 70744369

### 2. MODALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN:

Trabajo de investigación

Trabajo de suficiencia profesional

Trabajo académico

Tesis

### 3. TÍTULO PROFESIONAL O GRADO ACADÉMICO:

Bachiller

Licenciado

Título

Magister

Segunda especialidad

Doctor

### 4. TÍTULO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN:

**COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL SUELO TRATADO CON CAL SOMETIDO A DIFERENTES TEMPERATURAS DURANTE EL CURADO, SUBRASANTE DE LA CARRETERA CAMPAMENTO TÚNEL CONCHANO – SIVINGAN BAJO, CHOTA**

### 5. FACULTAD DE: CIENCIAS DE LA INGENIERIA.

### 6. ESCUELA PROFESIONAL DE: INGENIERIA CIVIL.

### 7. ASESOR:

Apellidos y Nombres: Dr. Ing. Edwar Cieza Sánchez

Correo electrónico: [eciezas@unach.edu.pe](mailto:eciezas@unach.edu.pe)

Teléfono: 972698285

D.N.I: 45795431

A través de este medio autorizo a la Universidad Nacional Autónoma de, Chota publicar el trabajo de investigación en formato digital en el Repositorio Institucional Digital, Repositorio Nacional Digital de Acceso Libre (ALICIA) y el Registro Nacional de Trabajos de Investigación (RENATI).

Asimismo, por la presente dejo constancia que los documentos entregados a la UNACH, versión digital, son las versiones finales del trabajo sustentado y aprobado por el jurado y son de autoría del suscrito en estricto respeto de la legislación en materia de propiedad intelectual.

Estela Tan, José Ronaldo  
DNI. 73599138

Sánchez Vásquez, Ever Ivan  
DNI. 73599138

**COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL SUELO  
TRATADO CON CAL SOMETIDO A DIFERENTES  
TEMPERATURAS DURANTE EL CURADO,  
SUBRASANTE DE LA CARRETERA CAMPAMENTO  
TÚNEL CONCHANO – SIVINGAN BAJO, CHOTA**

**POR:**

**JOSÉ RONALDO ESTELA TAN**

**EVER IVAN SÁNCHEZ VÁZQUEZ**

**Presentada a la Facultad de Ciencias de la Ingeniería de la  
Universidad Nacional Autónoma de Chota para optar el título**

**de**

**INGENIERO CIVIL**

**APROBADA POR EL JURADO INTEGRADO POR**



---

**Dr. Ing. Juan Esteban Gonzáles García**

**PRESIDENTE**



---

**Mg. Ing. Lilian Rocio Villanueva Bazán**

**SECRETARIO**



---

**Dra. Ing. Carmen Rosa Cárdenas Rosales**

**VOCAL**



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA

Ley de Creación N° 29531

LICENCIADA CON RESOLUCIÓN DE CONSEJO DIRECTIVO N° 160-2018-SUNEDU/CD

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL



## ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Siendo las 09:00 a.m. del día 20 de junio de 2025, reunidos en la sala de docentes de la EPIC, los miembros del jurado de tesis que suscriben, para escuchar y evaluar la sustentación de tesis presentado por los Bachilleres: **José Ronaldo Estela Tan y Ever Ivan Sánchez Vásquez**, denominada: **“COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL SUELO TRATADO CON CAL SOMETIDO A DIFERENTES TEMPERATURAS DURANTE EL CURADO, SUBRASANTE DE LA CARRETERA CAMPAMENTO TÚNEL CONCHANO- SIVINGAN BAJO, CHOTA”**; escuchada la sustentación, y absueltas las preguntas a las observaciones formuladas, la declaramos:

APROBADO

CON EL CALIFICATIVO (\*)

DOCE (12)

En consecuencia, se le declara **EXPEDITOS** para conferirle el Título de Ingeniero civil, elevando la presente acta al coordinador de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería a fin de que se emita el acto resolutivo, en conformidad con la ley universitaria y el estatuto de la Universidad.

Chota, 20 de junio de 2025.

  
-----  
Dr. Juan Esteban Gonzales García  
**PRESIDENTE**

  
-----  
Mg. Lilian Rocio Villanueva Bazán  
**SECRETARIO**

  
-----  
Dra. Carmen Rosa Cárdenas Rosales  
**VOCAL**

  
-----  
Dr. Edwar Cieza Sánchez  
**ASESOR**

(\*) De acuerdo al reglamento específico del proyecto y tesis de investigación de la EPIC, aprobada con Resolución de coordinación N° 141-2020, Artículo 21, cuya calificación es: ( 20 Summa Cum Laude); (18-19: Aprobado con excelencia); (15-17: Aprobado con mención honrosa); (12-14: Aprobado); (0-11: Desaprobado).



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA

Ley de Creación N° 29531

LICENCIADA CON RESOLUCIÓN DE CONSEJO DIRECTIVO N° 160-2018-SUNEDU/CD

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL



## ACTA DE CONFORMIDAD DE TESIS

Los miembros del jurado, luego de evaluar la Tesis denominada: **“COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL SUELO TRATADO CON CAL SOMETIDO A DIFERENTES TEMPERATURAS DURANTE EL CURADO, SUBRASANTE DE LA CARRETERA CAMPAMENTO TÚNEL CONCHANO- SIVINGAN BAJO, CHOTA”**; presentado por los Bachilleres: **José Ronaldo Estela Tan y Ever Ivan Sánchez Vásquez**, sustentada el día 20 de junio de 2025, según Resolución N°138-2025-FCI/UNACH, la declaramos **CONFORME**.

Chota, 08 de agosto de 2025.



Dr. Juan Esteban Gonzales Garcia  
**PRESIDENTE**



Mg. Lilian Rocío Villanueva Bazán  
**SECRETARIO**



Dra. Carmen Rosa Cárdenas Rosales  
**VOCAL**



Dr. Edwar Cieza Sánchez  
**ASESOR**

## **DEDICATORIA**

A mis padres, hermanos, familiares y amigos; quienes, con su amor incondicional, apoyo y sacrificio han sido la fuerza que me ha impulsado a alcanzar mis metas y sueños. Gracias por creer en mí, por animarme a seguir adelante y por estar siempre allí para mí. A dios por no abandonarme en los momentos difíciles y siempre estar conmigo.

Ever Ivan Sánchez Vázquez

A Dios, por guiarme en cada paso de este camino, darme la paciencia y la perseverancia necesarias para culminar esta etapa. A mi familia, pilar fundamental en este proceso. A mis padres, por su amor incondicional, su apoyo inquebrantable y sus enseñanzas, que han sido mi mayor inspiración para alcanzar mis metas. A mis amigos, por su amistad sincera, por las palabras de ánimo y por compartir conmigo tantas experiencias que hicieron más llevadero este camino.

José Ronaldo Estela Tan

## AGRADECIMIENTOS

A Dios, por ser nuestra guía y fortaleza en todo momento, por concedernos salud, sabiduría y la oportunidad de culminar este trabajo de investigación con éxito.

A nuestro asesor, el Dr. Ing. Edwar Cieza Sánchez, por su invaluable orientación, paciencia y compromiso en cada etapa de este estudio. Sus conocimientos y consejos fueron fundamentales para la realización de esta investigación, y su dedicación ha sido una fuente de inspiración para nuestro crecimiento académico y profesional.

A los transportistas y habitantes aledaños a la carretera Campamento Túnel Conchano – Sivingan Bajo, por su colaboración y disposición al permitirnos realizar la excavación de las calicatas en la vía de estudio. Su apoyo facilitó la recolección de muestras y contribuyó significativamente al desarrollo de esta investigación.

Al gerente de la calera El Progreso, por proporcionarnos su certificado de calidad y permitirnos adquirir el producto necesario para la estabilización del suelo, lo que garantizó la confiabilidad de los ensayos realizados.

Al laboratorio CIEXLIAN, por brindarnos las facilidades para acondicionar un ambiente de temperatura controlada, permitiendo mantener constantes las condiciones del entorno durante el curado de las probetas de suelo-cal. Su apoyo fue esencial para garantizar la validez y precisión de los resultados obtenidos.

Finalmente, nuestro sincero reconocimiento a todas aquellas personas que, de una u otra manera, contribuyeron al desarrollo de este estudio. Su ayuda, directa o indirecta, ha sido fundamental para la culminación de este proyecto.

Con gratitud,

Los Autores

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>SIGLAS Y ABREVIATURAS.....</b>	<b>xvi</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>xvii</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>xviii</b>
<b>CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>19</b>
<b>1.1. Planteamiento del problema.....</b>	<b>19</b>
<b>1.2. Formulación del problema .....</b>	<b>22</b>
1.2.1. Problema general .....	22
1.2.2. Problemas específicos.....	23
<b>1.3. Justificación .....</b>	<b>23</b>
<b>1.4. Objetivos .....</b>	<b>25</b>
1.4.1. Objetivo general.....	25
1.4.2. Objetivos específicos .....	25
<b>CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>27</b>
<b>2.1. Antecedentes .....</b>	<b>27</b>
2.1.1. Antecedentes internacionales.....	27
2.1.2. Antecedentes nacionales .....	33
2.1.3. Antecedentes regionales .....	36
<b>2.2. Bases teórico – científicas .....</b>	<b>39</b>
2.2.1. Principio de Le Chatelier .....	39
2.2.2. Cal como agente estabilizador de suelos en carreteras .....	40
2.2.3. Temperatura ambiente durante el curado del suelo cal y su efecto en la estabilización de subrasantes .....	46
<b>2.3. Marco conceptual .....</b>	<b>47</b>
2.3.1. Subrasante.....	47
2.3.2. Suelo .....	50
2.3.3. Propiedades físico mecánicas del suelo .....	53
2.3.4. Estabilización de suelos de subrasante .....	55
2.3.5. Cal para el tratamiento de suelos .....	57

2.3.6. Curado del suelo - cal .....	63
2.3.7. Temperatura ambiental de curado del suelo-cal .....	65
2.3.8. Comportamiento mecánico del suelo tratado con cal .....	67
<b>2.4. Hipótesis .....</b>	<b>71</b>
2.4.1. Hipótesis general .....	71
2.4.2. Hipótesis específicas.....	72
<b>2.5. Operacionalización de variables .....</b>	<b>72</b>
2.5.1. Variable independiente: Temperaturas durante el curado .....	72
2.5.2. Variable dependiente: Comportamiento mecánico del suelo tratado con cal .....	73
2.5.3. Variable mediadora: Tratamiento del suelo con cal .....	73
<b>CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO .....</b>	<b>75</b>
<b>3.1. Tipo y nivel de investigación .....</b>	<b>75</b>
<b>3.2. Diseño de investigación .....</b>	<b>76</b>
<b>3.3. Métodos de investigación.....</b>	<b>77</b>
<b>3.4. Población, muestra y muestreo .....</b>	<b>79</b>
3.4.1. Población .....	79
3.4.2. Muestreo de suelo .....	80
3.4.3. Muestreo experimental .....	80
3.4.4. Muestra .....	82
<b>3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....</b>	<b>84</b>
3.5.1. Técnicas de recolección de los datos .....	84
3.5.2. Instrumentos para la recolección de los datos .....	84
<b>3.6. Técnicas de procesamiento y análisis de datos .....</b>	<b>85</b>
3.6.1. Proceso de obtención de los datos .....	85
3.6.2. Procesamiento de datos.....	119
3.6.3. Análisis de datos .....	119
<b>3.7. Aspectos éticos .....</b>	<b>120</b>
<b>CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>121</b>
<b>4.1. Descripción de resultados.....</b>	<b>121</b>

4.1.1. Propiedades del suelo natural de la subrasante de la carretera Campamento Túnel Conchano – Sivingan Bajo .....	121
4.1.2. Selección del porcentaje de cal para el tratamiento del suelo de la subrasante de la carretera Campamento Túnel Conchano – Sivingan Bajo y efecto en sus propiedades físico mecánicas.....	128
4.1.3. Capacidad de soporte (CBR) del suelo tratado con cal sometido a temperaturas de 4° C, 16 °C, 24 °C y 30 °C durante el curado con agua potable sin clorar .....	142
4.1.4. Resistencia a Compresión no Confinada del suelo tratado con cal sometido a temperaturas de 4° C, 16 °C, 24 °C y 30 °C durante el curado con agua potable sin clorar .....	147
4.1.5. Comparación de las propiedades mecánicas del suelo natural y el suelo tratado con cal sometido a diferentes temperaturas .....	152
<b>4.2. Contrastación de hipótesis.....</b>	<b>160</b>
4.2.1. Datos del comportamiento mecánico.....	160
4.2.2. Hipótesis general planteada .....	162
4.2.3. Criterio de aceptación de la hipótesis .....	162
4.2.4. Normalidad de los datos .....	163
4.2.5. Análisis descriptivo .....	165
4.2.6. Análisis inferencial del CBR .....	167
4.2.7. Análisis inferencial de la resistencia a compresión no confinada .....	170
4.2.8. Inferencia general .....	173
<b>4.3. Discusión de resultados.....</b>	<b>174</b>
<b>CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>189</b>
<b>5.1. Conclusiones .....</b>	<b>189</b>
<b>5.2. Recomendaciones y/o sugerencias .....</b>	<b>191</b>
<b>CAPÍTULO VI. REFERENCIAS .....</b>	<b>192</b>
<b>CAPÍTULO VII. ANEXOS .....</b>	<b>201</b>
Anexo A. Matriz de consistencia.....	201
Anexo B. Panel fotográfico .....	202
Anexo C. Revisión documental .....	215
Anexo D. Documentación .....	218
Anexo E. Estudio de tráfico.....	238

Anexo F. Guion de observación .....	254
Anexo G. Resultado de ensayos de laboratorio .....	260

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b>	Categoría de la Subrasante según CBR .....	48
<b>Tabla 2</b>	Clasificación del Suelo de Acuerdo a la Capacidad a Compresión.....	49
<b>Tabla 3</b>	Categoría del Suelo de Acuerdo al IP.....	49
<b>Tabla 4</b>	Estabilizadores para Suelos Finos .....	56
<b>Tabla 5</b>	Contraste entre Cal Viva y Cal Hidratada .....	58
<b>Tabla 6</b>	Propiedades de la Cal .....	59
<b>Tabla 7</b>	Requerimientos Técnicos de la Cal .....	59
<b>Tabla 8</b>	Porcentaje de Cal, según Clasificación.....	61
<b>Tabla 9</b>	Matriz de Operacionalización de Variables en Estudio.....	74
<b>Tabla 10</b>	Tipo de Investigación .....	76
<b>Tabla 11</b>	Ubicación de la Carretera Campamento Túnel Conchano – Sivingan Bajo, Chota.....	80
<b>Tabla 12</b>	Ubicación de Calicatas en la Carretera Campamento Túnel Conchano – Sivingan Bajo, Chota.....	80
<b>Tabla 13</b>	Número de Especímenes para Ensayo a CBR de Laboratorio .....	83
<b>Tabla 14</b>	Número de Especímenes para Ensayo a Resistencia a Compresión no Confinada .....	83
<b>Tabla 15</b>	Ubicación de la Planta Procesadora de Cal .....	88
<b>Tabla 16</b>	Propiedades Químicas de la Cal de Bambamarca .....	93
<b>Tabla 17</b>	Propiedades Físicas de la Cal de Bambamarca .....	93
<b>Tabla 18</b>	Ubicación de Calicatas en la Carretera Campamento Túnel Conchano – Sivingan Bajo, Chota.....	94
<b>Tabla 19</b>	Porcentaje de Cal, según Clasificación .....	101
<b>Tabla 20</b>	Ábaco de Porcentaje de cal Recomendado para Estabilización de Bases ...	101
<b>Tabla 21</b>	Registro de la Temperatura Ambiental Durante el Periodo de Curado de las Probetas de Suelo .....	102
<b>Tabla 22</b>	Propiedades Físico Mecánicas del Suelo Natural de la Subrasante de la Carretera Campamento Túnel Conchano – Sivingan Bajo.....	121
<b>Tabla 23</b>	Porcentaje de Cal, según Clasificación del Suelo de la Carretera Campamento Túnel Conchano – Sivingan Bajo.....	129

<b>Tabla 24</b> IP y Porcentaje que Pasa Tamiz N° 40 para Definir el Porcentaje de Cal para la Estabilización del Suelo de la Carretera Campamento Túnel Conchano – Sivingan Bajo .....	130
<b>Tabla 25</b> Ábaco para Definir la Cantidad de Cal para la Estabilización de la Subrasante de la Carretera Campamento Túnel Conchano – Sivingan Bajo .....	131
<b>Tabla 26</b> Propiedades Físico Mecánicas del Suelo de la Subrasante de la Carretera Campamento Túnel Conchano – Sivingan Bajo Estabilizada con 5% de Cal.....	132
<b>Tabla 27</b> Capacidad de Soporte (CBR) al 100% MDS del Suelo Tratado con Cal al 5%, Sometido a Diferentes Temperaturas .....	142
<b>Tabla 28</b> Capacidad de Soporte (CBR) del Suelo Tratado con Cal al 5%, Sometido a Diferentes Temperaturas, C1 de la Carretera Campamento Túnel Conchano – Sivingan Bajo.....	144
<b>Tabla 29</b> Capacidad de Soporte (CBR) del Suelo Tratado con Cal al 5%, Sometido a Diferentes Temperaturas, C2 de la Carretera Campamento Túnel Conchano – Sivingan Bajo.....	146
<b>Tabla 30</b> Resistencia a Compresión no Confinada del Suelo Tratado con Cal al 5%, Sometido a Diferentes Temperaturas, C1 .....	148
<b>Tabla 31</b> Resistencia a Compresión no Confinada del Suelo Tratado con Cal al 5%, Sometido a Diferentes Temperaturas, C2.....	150
<b>Tabla 32</b> Resistencia a Compresión no Confinada al 100% MDS del Suelo Tratado con Cal al 5%, Sometido a Diferentes Temperaturas.....	151
<b>Tabla 33</b> Propiedades Mecánicas del Suelo Natural y el Suelo Tratado con Cal Sometido a Diferentes Temperaturas del Entorno Durante el Curado, C1 de la Carretera Campamento Túnel Conchano – Sivingan Bajo.....	155
<b>Tabla 34</b> Propiedades Mecánicas del Suelo Natural y el Suelo Tratado con Cal Sometido a Diferentes Temperaturas del Entorno Durante el Curado, C2 de la Carretera Campamento Túnel Conchano – Sivingan Bajo.....	158
<b>Tabla 35</b> Datos para el Análisis Estadístico .....	161
<b>Tabla 36</b> Análisis de Normalidad del CBR y Resistencia a Compresión no Confinada del Suelo Estabilizado con Cal a Diferentes Temperaturas.....	163
<b>Tabla 37</b> Estadísticas Descriptivas del CBR del Suelo de la Subrasante de la Carretera Campamento Túnel Conchano – Sivingan Bajo.....	165

<b>Tabla 38</b> Estadísticas Descriptivas de las Resistencia a Compresión No Confinada del Suelo de la Subrasante de la Carretera Campamento Túnel Conchano – Sivingan Bajo .....	166
<b>Tabla 39</b> Factores que se han Verificado en el Análisis ANOVA del CBR del Suelo	167
<b>Tabla 40</b> Análisis ANOVA del CBR del Suelo.....	167
<b>Tabla 41</b> Factores que se han Verificado en el Análisis ANOVA de Resistencia a Compresión no Confinada del Suelo .....	171
<b>Tabla 42</b> Análisis ANOVA de la Resistencia a Compresión no Confinada del Suelo	171
<b>Tabla 43</b> Análisis t-student de la Resistencia a Compresión no Confinada del Suelo	173

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Formación de Doble Capa Difusa en la Interacción de la Arcilla con el Agua .....	41
<b>Figura 2</b> Esquema Demostrativo del Proceso de Transformación del Suelo con Cal..	42
<b>Figura 3</b> Intercambio Iónico .....	43
<b>Figura 4</b> Secuencia Ilustrativa del Proceso de Modificación de Textura .....	44
<b>Figura 5</b> Síntesis Esquemática de las Reacciones Puzolánicas .....	45
<b>Figura 6</b> Capas del Pavimento Asentado sobre la Subrasante.....	47
<b>Figura 7</b> Origen y Formación de Suelos.....	50
<b>Figura 8</b> Fases del Suelo.....	50
<b>Figura 9</b> Clasificación de Suelos SUCS, Grupos y Subgrupos .....	51
<b>Figura 10</b> Clasificación AASHTO .....	52
<b>Figura 11</b> Tipos de Estabilización de Suelos.....	55
<b>Figura 12</b> Ábaco Representativo de Cantidades Recomendadas de cal para la Estabilización de Sub Rasantes y Bases de Acuerdo al MTC (2016) y la NTP 339.167 (2015) .....	62
<b>Figura 13</b> Efecto de la Cal en la Granulometría del Suelo .....	67
<b>Figura 14</b> Efecto de la Cal en los Límites de Consistencia del Suelo .....	68
<b>Figura 15</b> Efecto de la Cal en la Compactación del Suelo .....	69
<b>Figura 16</b> Efecto de la Cal en el Hinchamiento Volumétrico del Suelo .....	70
<b>Figura 17</b> Efecto de la Cal en el CBR del Suelo .....	70
<b>Figura 18</b> Efecto de la Cal en la Resistencia a Compresión no Confinada del Suelo ..	71
<b>Figura 19</b> Diseño de Investigación .....	78
<b>Figura 20</b> Ubicación de la Carretera Campamento Túnel Conchano – Sivingan Bajo, Chota.....	79
<b>Figura 21</b> Tipos de Muestras de Suelo en Estado Natural (A) y Tratadas con Cal (B)	81
<b>Figura 22</b> Diseño Muestral: Número de Unidades Muestrales para Capacidad de Soporte (CBR) y Resistencia a Compresión no Confinada por Cada Temperatura del Entorno Durante el Curado.....	82
<b>Figura 23</b> Flujograma del Procedimiento de la Investigación.....	87
<b>Figura 24</b> Ubicación de la Planta Procesadora de Cal.....	88
<b>Figura 25</b> Vista de la Planta Procesadora de Cal El Progreso.....	89

<b>Figura 26</b>	Vista del Producto (Cal) en la Planta Procesadora El Progreso.....	89
<b>Figura 27</b>	Ensayo de Granulometría a la Cal.....	91
<b>Figura 28</b>	Ubicación de Calicatas en la Carretera Campamento Túnel Conchano – Sivingan Bajo, Chota.....	94
<b>Figura 29</b>	Toma de Muestras de Suelo en la Calicata C1 de la Carretera Campamento Túnel Conchano – Sivingan Bajo, Chota .....	96
<b>Figura 30</b>	Toma de Muestras de Suelo en la Calicata C1 de la Carretera Campamento Túnel Conchano – Sivingan Bajo, Chota .....	96
<b>Figura 31</b>	Ensayo de Granulometría en el Suelo Natural .....	100
<b>Figura 32</b>	Ensayo de Proctor Modificado en el Suelo Natural.....	100
<b>Figura 33</b>	Ensayos de Límites de Consistencia al Suelo con Cal.....	107
<b>Figura 34</b>	Ensayo de CBR al Suelo con Cal.....	107
<b>Figura 35</b>	Proceso de Curado a Temperatura de 4, 16, 24 y 30 °C para la Realización de Ensayos Mecánicos en el Suelo con Cal .....	110
<b>Figura 36</b>	Ensayo CBR en el Suelo Tratado con Cal a Diferentes Temperaturas.....	112
<b>Figura 37</b>	Preparación de Muestras de Suelo Cal para Ensayo a Compresión no Confinada .....	115
<b>Figura 38</b>	Vista de Muestras de Suelo Cal para Ensayo a Compresión no Confinada.....	115
<b>Figura 39</b>	Ensayo de Resistencia a Compresión no Confinada en Muestras de Suelo – Cal Sometidas a Diferentes Temperaturas Durante el Curado.....	119
<b>Figura 40</b>	Granulometría del Suelo Natural de la Subrasante de la Carretera Campamento Túnel Conchano – Sivingan Bajo.....	122
<b>Figura 41</b>	Curva de Fluidez del Suelo Natural de la Subrasante de la Carretera Campamento Túnel Conchano – Sivingan Bajo.....	123
<b>Figura 42</b>	Clasificación SUCS del Suelo Natural de la Subrasante de la Carretera Campamento Túnel Conchano – Sivingan Bajo.....	124
<b>Figura 43</b>	Clasificación AASHTO del Suelo Natural de la Subrasante de la Carretera Campamento Túnel Conchano – Sivingan Bajo.....	124
<b>Figura 44</b>	Curva de Compactación del Suelo Natural de la Subrasante de la Carretera Campamento Túnel Conchano – Sivingan Bajo.....	125
<b>Figura 45</b>	Curva CBR del Suelo Natural de la Subrasante de la Carretera Campamento Túnel Conchano – Sivingan Bajo.....	126
<b>Figura 46</b>	Verificación de la Categoría de la Subrasante del Suelo Natural de la Carretera Campamento Túnel Conchano – Sivingan Bajo.....	127

<b>Figura 47</b> Verificación de la Capacidad de Soporte (CBR) del Suelo de la Subrasante Estabilizada de la Carretera Campamento Túnel Conchano – Sivingan Bajo, con 5% de Cal, C1 .....	133
<b>Figura 48</b> Verificación de la Resistencia a la Compresión no Confinada del Suelo de la Subrasante Estabilizada de la Carretera Campamento Túnel Conchano – Sivingan Bajo, con 5% de Cal, C1 .....	134
<b>Figura 49</b> Verificación de la Capacidad de Soporte (CBR) del Suelo de la Subrasante Estabilizada de la Carretera Campamento Túnel Conchano – Sivingan Bajo, con 5% de Cal, C2.....	134
<b>Figura 50</b> Verificación de la Resistencia a la Compresión no Confinada del Suelo de la Subrasante Estabilizada de la Carretera Campamento Túnel Conchano – Sivingan Bajo, con 5% de Cal, C2 .....	135
<b>Figura 51</b> Granulometría del Suelo Estabilizado con 5% de Cal de la Subrasante de la Carretera Campamento Túnel Conchano – Sivingan Bajo, C1 .....	136
<b>Figura 52</b> Curva de Fluidez del Suelo Estabilizado con 5% de Cal de la Subrasante de la Carretera Campamento Túnel Conchano – Sivingan Bajo, C1 .....	136
<b>Figura 53</b> Curva de Compactación del Suelo Estabilizado con 5% de Cal de la Subrasante de la Carretera Campamento Túnel Conchano – Sivingan Bajo, C1.....	137
<b>Figura 54</b> Curva CBR del Suelo Estabilizado con 5% de Cal de la Subrasante de la Carretera Campamento Túnel Conchano – Sivingan Bajo, C1 .....	138
<b>Figura 55</b> Granulometría del Suelo Estabilizado con 5% de Cal de la Subrasante de la Carretera Campamento Túnel Conchano – Sivingan Bajo, C1 .....	139
<b>Figura 56</b> Curva de Fluidez del Suelo Estabilizado con 5% de Cal, C1 .....	140
<b>Figura 57</b> Curva de Compactación del Suelo Estabilizado con 5% de Cal, C1 .....	140
<b>Figura 58</b> Curva CBR del Suelo Estabilizado con 5% de Cal de la Subrasante de la Carretera Campamento Túnel Conchano – Sivingan Bajo, C1 .....	141
<b>Figura 59</b> Capacidad de Soporte (CBR) del Suelo Tratado con Cal al 5%, Sometido a Diferentes Temperaturas, C1 de la Carretera Campamento Túnel Conchano – Sivingan Bajo.....	144
<b>Figura 60</b> Capacidad de Soporte (CBR) del Suelo Tratado con Cal al 5%, Sometido a Diferentes Temperaturas, C2 de la Carretera Campamento Túnel Conchano – Sivingan Bajo.....	146
<b>Figura 61</b> Resistencia a Compresión no Confinada del Suelo Tratado con Cal al 5%, Sometido a Diferentes Temperaturas, C1 .....	148

<b>Figura 62</b> Resistencia a Compresión no Confinada del Suelo Tratado con Cal al 5%, Sometido a Diferentes Temperaturas, C2.....	150
<b>Figura 63</b> Efecto de la Temperatura de Curado en las Propiedades Mecánicas de C1 de la Carretera Campamento Túnel Conchano – Sivingan Bajo.....	153
<b>Figura 64</b> Efecto de la Temperatura de Curado en las Propiedades Mecánicas de C1 de la Carretera Campamento Túnel Conchano – Sivingan Bajo.....	153
<b>Figura 65</b> CBR del suelo Estabilizado con 5% de Cal, C1 de la Carretera Campamento Túnel Conchano – Sivingan Bajo.....	156
<b>Figura 66</b> Resistencia a Compresión no Confinada del Suelo con 5% de Cal, C1 de la Carretera Campamento Túnel Conchano – Sivingan Bajo.....	156
<b>Figura 67</b> CBR del suelo Estabilizado con 5% de Cal, C2 de la Carretera Campamento Túnel Conchano – Sivingan Bajo.....	159
<b>Figura 68</b> Resistencia a Compresión no Confinada del Suelo con 5% de Cal, C2 de la Carretera Campamento Túnel Conchano – Sivingan Bajo.....	159
<b>Figura 69</b> Prueba de Normalidad de CBR C1 .....	163
<b>Figura 70</b> Prueba de Normalidad de CBR C2 .....	164
<b>Figura 71</b> Prueba de Normalidad de Resistencia a Compresión no Confinada.....	164

## SIGLAS Y ABREVIATURAS

AASHTO	American Association Standards Highway Transportation Officials
CBR	California Bearing Ratio - relación de soporte
CH	Arcilla de alta plasticidad
IG	Índice de grupo
IP	Índice de plasticidad
LL	Límite líquido
LP	Límite plástico
MDS	Máxima densidad seca
MTC	Ministerio de Transportes y Comunicaciones
MVCS	Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento
NLA	National Lime Association
NTP	Norma Técnica Peruana
OCH	óptimo contenido de humedad
SUCS	Sistema de clasificación unificada de suelos
THMC	Termo-hidro-mecánico-químico
UCS	Resistencia a compresión no confinada

## RESUMEN

Para mejorar la estabilidad del suelo de la carretera Campamento Túnel Conchano – Sivingan Bajo, en Chota se plantea su tratamiento con cal, pero considerando que la temperatura puede influir en la eficiencia de este método, se tuvo como objetivo evaluar el comportamiento mecánico del suelo tratado con cal sometido a diferentes temperaturas durante el curado, subrasante de la carretera Campamento Túnel Conchano – Sivingan Bajo, Chota. La metodología empleada tuvo enfoque cuantitativo de nivel explicativo, se excavaron dos calicatas en la subrasante y se realizaron ensayos de CBR y resistencia a compresión no confinada en muestras de suelo tratado con 5% de cal, curadas a temperatura ambiental (18 °C) y temperaturas constantes de 4°C, 16°C, 24°C y 30°C. Los resultados indicaron que la subrasante requiere estabilización, especialmente en la zona de C2, donde el CBR inicial fue de 3.17%. El tratamiento con 5% de cal mejoró las propiedades del suelo, aumentando el CBR y reduciendo el índice de plasticidad. En C1, el CBR alcanzó 56.60% y la resistencia a compresión superó los 3.51 kg/cm<sup>2</sup> a partir de 18°C, permitiendo su clasificación como base tratada. En C2, aunque el CBR mejoró a 10.67% (30 °C), la resistencia a compresión fue tan solo de 2.1 kg/cm<sup>2</sup>, además para temperaturas de 4 °C y 16 °C, el CBR fue de tan solo 5.20% y 5.90%, respectivamente. Se concluye que la estabilización con cal es efectiva, pero su eficiencia depende del tipo de suelo y la temperatura de curado, a temperaturas frías, el tratamiento es menos eficiente, especialmente en suelos de alta plasticidad, siendo efectivo aplicar la estabilización a temperaturas superiores a 18°C.

**Palabras clave:** Estabilización del suelo, subrasante, cal, CBR, resistencia a compresión no confinada, temperatura.

## ABSTRACT

To improve the stability of the soil of the road Campamento Túnel Conchano - Sivingan Bajo, in Chota, its treatment with lime is proposed, but considering that temperature can influence the efficiency of this method, the objective was to evaluate the mechanical behavior of the lime-treated soil subgrade of the road Campamento Túnel Conchano - Sivingan Bajo, Chota, subgrade at different temperatures during curing. The methodology used had a quantitative approach of explanatory level, two pits were excavated in the subgrade and CBR and unconfined compressive strength tests were performed on soil samples treated with 5% lime, cured at ambient temperature (18 °C) and constant temperatures of 4°C, 16°C, 24°C and 30°C. The results indicated that the subgrade requires stabilization, especially in the C2 zone, where the initial CBR was 3.17%. Treatment with 5% lime improved soil properties, increasing the CBR and reducing the plasticity index. In C1, the CBR reached 56.60% and the compressive strength exceeded 3.51 kg/cm<sup>2</sup> at 18°C, allowing its classification as a treated base. In C2, although the CBR improved to 10.67% (30 °C), the compressive strength was only 2.1 kg/cm<sup>2</sup>, and for temperatures of 4 °C and 16 °C, the CBR was only 5.20% and 5.90%, respectively. It is concluded that lime stabilization is effective, but its efficiency depends on the type of soil and the curing temperature; at cold temperatures, the treatment is less efficient, especially in soils with high plasticity, being effective to apply the stabilization at temperatures above 18°C.

**Key words:** Soil stabilization, subgrade, lime, CBR, unconfined compressive strength, temperature.

# CAPÍTULO I.

## INTRODUCCIÓN

### 1.1. Planteamiento del problema

La estabilización del suelo es una técnica de ingeniería común que se utiliza para mejorar las propiedades físicas del suelo débil con el fin de lograr los requisitos de ingeniería deseados (Anburuvel, 2023). Entre las diversas técnicas de estabilización química adoptadas para suelos expansivos, la estabilización con cal es la más ampliamente adoptada para controlar las propiedades de dilatación y contracción de los suelos expansivos (Johny et al., 2023); la cal se utiliza para mejorar sus propiedades mecánicas y reducir su plasticidad (Muhmed et al., 2022), pero diversos parámetros influyen en la eficacia de la estabilización con cal; los parámetros más relevantes incluyen: tipo de suelo, tipo, cantidad y calidad de cal, período de curado, tipo de curado, temperatura de curado, y contenido de agua de moldeo/colocación (James & Sivakumar, 2022).

En el Perú, el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC, 2014) alude a la cal como uno de los métodos más eficaces para mejorar o estabilizar el suelo fino de una subrasante, debido a que, reduce la plasticidad, eleva la humedad óptima de compactación, e incrementa la capacidad portante del suelo; no obstante, la resistencia del suelo puede verse afectada por la temperatura ambiente durante el tiempo de curado (James & Sivakumar, 2022), sobre todo en el país, el cual tiene más de 80 microclimas en sus diferentes regiones (RPP, 2017). En Chota, Cajamarca la temperatura generalmente varía de 4 °C a 24 °C, no obstante, rara vez pueden existir excepciones donde la temperatura llegue hasta los 30 °C, siendo los meses más calurosos de abril hasta mediados de octubre, mientras que, el resto de meses son fríos y con fuertes precipitaciones pluviales (Weather Spark,

2023). Donde, ambas condiciones temporales pueden tener efectos en la eficiencia del tratamiento con cal de la subrasante de una carretera.

La reacción del suelo con cal a diversas temperaturas puede variar según las características del suelo y la cantidad de cal adicionada (Ávila et al., 2022). Sin embargo, en general, a temperaturas altas, la cal puede ayudar a mejorar la resistencia del suelo mediante la reacción de hidratación del óxido de calcio (CaO) presente en la cal, formando hidróxido de calcio (Ca(OH)<sub>2</sub>) y liberando calor en el proceso (Tunono & Fall, 2023). Esta reacción puede ayudar a estabilizar el suelo y mejorar su capacidad de soporte (CBR), especialmente en regiones con altas temperaturas (Merlos et al., 2023).

Bell (1996) observó que la temperatura de curado influía en la mayor resistencia del suelo con cal, con cualquier temperatura por encima de 30 °C produciendo ganancias de resistencia dramáticas. Nasrizar et al. (2010) adoptaron tres temperaturas de curado (5 °C, 30 °C y 50 °C) y encontraron que la mayor ganancia de resistencia se da a temperaturas de curado elevadas, pero también afirmaron que las temperaturas muy bajas no son propicias para la estabilización con cal cuando el suelo tiene un alto contenido de humedad. Cherian et al. (2016) condujeron experimentos a temperaturas de 25°C y 40°C y encontraron que altas temperaturas de curado influenciaron positivamente la resistencia de los especímenes de suelo estabilizado con cal, confirmando también que la temperatura de curado también influencia el óptimo contenido de cal requerido para la estabilización. Así, se puede observar que un aumento de la temperatura de curado resulta en un desarrollo acelerado de la resistencia y/o capacidad de soporte del suelo – cal en una subrasante vial.

No obstante, dependiendo del tipo de suelo y la cantidad de cal adicionada, a temperaturas bajas, la cal también, puede actuar como un agente químico que reacciona con el suelo y ayuda a mejorar su cohesión, incrementando así su resistencia al frío y la helada (Nguyen et al., 2019). Los ciclos de congelación y descongelación rompen las partículas gruesas y agregan partículas más finas, aumentando el diámetro de los macroporos y disminuyendo la resistencia del suelo; sin embargo, el efecto en muestras con más del 9% de cal es insignificante e incluso en algunos casos comienza a acrecentarse la capacidad de soporte del suelo (Liu et al., 2019), siendo especialmente beneficioso en regiones que experimentan climas fríos con ciclos de congelación y deshielo.

Según Liang et al. (2023) a largo tiempo de curado, el tratamiento con cal indujo un cambio en la microestructura del suelo en términos de distribución de poros con el consiguiente aumento de la succión matricial y la capacidad de retención de agua, es decir absorbe la humedad ambiente, para generar una mayor cohesión, siendo favorable en climas lluviosos o fríos. Así mismo, de acuerdo Das et al. (2023) las bajas temperaturas y precipitaciones pluviales en el suelo – cal incrementan la humedad de la mezcla, pero después al secar el contenido de humedad se reduce, llevando a un mayor contacto entre partículas del suelo, aumentando así la succión, y, por ende, acrecentando el potencial de soporte del suelo mojado y secado a 70 °C.

La cal puede reaccionar de manera beneficiosa tanto a bajas como a altas temperaturas, mejorando las propiedades mecánicas de la subrasante de una carretera y permitiendo una mayor capacidad portante y durabilidad. Sin embargo, es importante tener en cuenta que los efectos de la cal pueden variar dependiendo de las condiciones específicas de cada suelo y del clima en la región, por ello es

importante plantear un análisis local en el que se compare el comportamiento del suelo con cal, al menos en los primeros días de curado (7 días) que es donde la mezcla reacciona químicamente fortaleciéndose.

La carretera Campamento Túnel Conchano – Sivingan Bajo, en Chota, tiene una longitud de 2.15 km y permite la conexión entre estos centros poblados. Sin embargo, presenta un deterioro considerable debido a que la subrasante está compuesta principalmente por un suelo blando, posiblemente limos y/o arcillas. Las malas condiciones de la subrasante, como deformaciones, lodazales y baches, han hecho que la vía sea usualmente intransitable. Por lo tanto, es necesario estabilizar el suelo utilizando un aditivo, como la cal, que aumente la capacidad de soporte de la subrasante. Sin embargo, hay que tener en cuenta que las variaciones de temperatura pueden afectar la capacidad mecánica del suelo – cal. Por esta razón, resulta apropiado llevar a cabo un análisis experimental en laboratorio para estudiar cómo varía la capacidad de soporte del suelo – cal durante los primeros días de curado (7 días) a diferentes temperaturas, con el fin de tomar medidas de control adecuadas.

Por tanto, el objetivo es evaluar el comportamiento mecánico del suelo tratado con cal sometido a diferentes temperaturas de curado, subrasante de la carretera Chota – Campamento.

## **1.2. Formulación del problema**

### ***1.2.1. Problema general***

¿Cuál es el comportamiento mecánico del suelo tratado con cal sometido a diferentes temperaturas durante el curado, subrasante de la carretera Campamento Túnel Conchano – Sivingan Bajo?

### **1.2.2. Problemas específicos**

- 1) ¿Cuán necesario es que la subrasante de la carretera Campamento Túnel Conchano – Sivingan Bajo sea estabilizada en base a las propiedades físico – mecánicas del suelo natural?
- 2) ¿Cuál es el porcentaje de cal adecuado para el tratamiento del suelo de la subrasante de la carretera Campamento Túnel Conchano – Sivingan Bajo, en base a los manuales de carreteras?
- 3) ¿Cuál es el efecto en la capacidad de soporte (CBR) del suelo tratado con cal sometido a temperaturas de 4° C, 16 °C, 24 °C y 30 °C durante el curado con agua potable sin clorar?
- 4) ¿Cuál es la resistencia a compresión no confinada del suelo tratado con cal sometido a temperaturas de 4° C, 16 °C, 24 °C y 30 °C durante el curado con agua potable sin clorar?
- 5) ¿Cómo varían las propiedades mecánicas del suelo natural y el suelo tratado con cal sometido a diferentes temperaturas durante el curado?

### **1.3. Justificación**

Las carreteras están expuestas a diferentes condiciones climáticas a lo largo de su vida útil, como variaciones de temperatura. Comprender cómo el suelo tratado con cal responde a diferentes temperaturas de curado puede proporcionar información relevante para el diseño y mantenimiento de carreteras en diferentes regiones y climas. Además, el suelo tratado con cal es comúnmente usado en la construcción de carreteras para mejorar sus propiedades mecánicas, como la resistencia y la estabilidad. Estudiar el comportamiento mecánico de este suelo sometido a diferentes temperaturas de curado podría ayudar a desarrollar métodos más eficientes para lograr estos objetivos.

La investigación permite comprender el comportamiento mecánico del suelo tratado con cal, lo que incluye su resistencia y capacidad de soporte; esta caracterización es fundamental para conocer las propiedades del suelo antes y después del tratamiento con cal, lo que puede facilitar el diseño y la construcción de carreteras. El estudio analiza los efectos de diferentes temperaturas ambientales durante el curado en el comportamiento mecánico del suelo tratado con cal; esto permite comprender el desempeño mecánico del suelo en función de la temperatura ambiental dada durante el proceso de curado. Esta información es valiosa para optimizar el proceso de tratamiento con cal y encontrar la temperatura óptima que mejore el suelo tratado.

Por tanto, la investigación del comportamiento mecánico del suelo tratado con cal sometido a diferentes temperaturas de curado en la subrasante de la carretera Campamento Túnel Conchano – Sivingan Bajo determina información relacionada con el comportamiento específico de este tipo de suelo, los efectos de la temperatura durante el curado y la aplicación en un contexto geotécnico específico. Esta información contribuirá a mejorar la comprensión y la práctica del tratamiento con cal en la construcción de infraestructuras viales.

El estudio sobre el comportamiento mecánico del suelo tratado con cal bajo diferentes temperaturas durante el curado en la subrasante de una carretera puede proponer modificaciones en las prácticas de ingeniería sobre el tratamiento del suelo con cal y la selección de temperaturas de curado en la construcción de subrasantes de carreteras, contribuyendo así a incrementar, reformular o modificar el conocimiento científico en este campo, considerando que, actualmente este tema no ha sido estudiado a nivel local, regional y nacional, pero a nivel internacional la mayoría de estudios concuerdan en que, a mayores temperaturas

mayor capacidad de soporte, no obstante, existen excepciones por las que, se ha planteado la investigación científica, para poder verificar ello a nivel local.

En general, la investigación sobre el comportamiento mecánico del suelo tratado con cal sometido a diferentes temperaturas de curado en la subrasante de una carretera contribuye indirectamente a mejorar la calidad, durabilidad, seguridad y eficiencia de las carreteras, lo que beneficia a los usuarios de las vías y a la sociedad en general. Además, como beneficio directo contribuirá al avance del conocimiento en el campo de la ingeniería vial y geotécnica; los resultados obtenidos podrán ser utilizados por otros investigadores, diseñadores de carreteras, empresas constructoras y organismos reguladores para mejorar las técnicas de construcción de subrasantes y promover prácticas más eficientes y efectivas.

#### **1.4. Objetivos**

##### ***1.4.1. Objetivo general***

Evaluar el comportamiento mecánico del suelo tratado con cal sometido a diferentes temperaturas durante el curado, subrasante de la carretera Campamento Túnel Conchano – Sivingan Bajo, Chota.

##### ***1.4.2. Objetivos específicos***

- 1) Verificar si la subrasante de la carretera Chota – Campamento requiere estabilización en base a las propiedades del suelo natural, subrasante de la carretera Campamento Túnel Conchano – Sivingan Bajo, Chota.
- 2) Seleccionar el porcentaje de cal adecuado para el tratamiento del suelo de la subrasante de la carretera Chota – Campamento, en base a los manuales de carreteras.

- 3) Analizar el efecto en la capacidad de soporte (CBR) del suelo tratado con cal sometido a temperaturas de 4° C, 16 °C, 24 °C y 30 °C durante el curado con agua potable sin clorar.
- 4) Determinar la resistencia a compresión no confinada del suelo tratado con cal sometido a temperaturas de 4° C, 16 °C, 24 °C y 30 °C durante el curado con agua potable sin clorar.
- 5) Comparar las propiedades mecánicas del suelo natural y el suelo tratado con cal sometido a diferentes temperaturas durante el curado.

## CAPÍTULO II.

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Antecedentes

##### 2.1.1. Antecedentes internacionales

Li et al. (2024) en su artículo científico “Propiedades mecánicas y microestructurales de suelos excavados tratados con cal mejoradas con diferentes subproductos industriales” tuvieron como objetivo mejorar el suelo fino excavado en la ciudad de Foshan en China, tratado con cal utilizando cenizas volantes, residuos de soda y yeso. Con el enfoque metodológico realizaron pruebas de CBR, resistencia a compresión no confinada (UCS) y contracción por secado. Determinaron que, con la adición de 3% de cal el suelo tenía MDS de 1.72 g/cm<sup>2</sup>, y OCH de 16.88%, así mismo, el CBR inicial fue 10.3%, con una tasa de expansión de 2.57%, pero después de la aplicación de la cal mejoró más de 10 veces el CBR inicial, y la expansión del suelo se redujo en 80%, así mismo, el UCS aumentó de 3 a 5 veces, acompañado de una mejora notable en la estabilidad del agua, el suelo con 3% de cal y 5% de yeso alcanzó UCS de 2.73 MPa. Concluyeron que, el uso de 3% de cal permite estabilizar el suelo limo arcilloso de la subrasante mejorando sus propiedades mecánicas sobre todo si se incorporan otros subproductos industriales. Este estudio es relevante, ya que demuestra la eficiencia del uso de 3% de cal y sugiere la posibilidad de incorporar aditivos complementarios para optimizar la estabilización del suelo de la subrasante.

Tunono & Fall (2024) en su investigación “Experimentos en columna para estudiar el comportamiento termo-hidro-mecánico-químico de subrasantes marinos sensibles tratados con cal” tuvo como objetivo determinar las propiedades térmicas, hidráulicas, mecánicas y químicas de las arcillas marinas

tratadas con cal expuestas a ciclos térmicos diarios. En su estudio de enfoque cuantitativo prepararon ocho columnas con arcilla tratada compactada, cuatro como parte del control y otras cuatro a las que se aplicaron ciclos térmicos, de las que se obtuvieron muestras para pruebas de la parte superior e inferior para entender cómo evolucionaron las propiedades a diferentes profundidades después de diferentes tiempos de curado. Los resultados indicaron que los ciclos térmicos diarios afectan significativamente las propiedades mecánicas de la arcilla marina sensible tratada con cal. Debido a la hidratación de la cal, observaron que las propiedades mecánicas de la arcilla habían mejorado enormemente; sin embargo, la aplicación de los ciclos térmicos diarios mejoró aún más estas propiedades. Por lo que, concluyeron que, a mayor temperatura del entorno mayor capacidad de soporte y resistencia a compresión no confinada del suelo arcilloso. Este antecedente refuerza la importancia de analizar cómo las temperaturas de curado afectan el desempeño mecánico del suelo tratado con cal, alineándose directamente con el objetivo de la presente investigación.

Ahouet et al. (2023) en su investigación “Efecto de la adición de cal sobre las fracciones de tamaño de partícula y la microestructura de un limo arcilloso” tuvieron como objetivo evaluar el efecto de estabilizar el suelo limo arcilloso con adición de cal. Para ello, utilizaron el enfoque cuantitativo y realizaron pruebas de CBR y resistencia a la compresión no confinada en el suelo natural y tratado. Determinaron que, contenidos de 3% a 6% de cal mejoran las propiedades mecánicas del suelo de resistencia (3.89 a 5.95 MPa) y el CBR (33% a 54%), lo que significa un incremento de 52.95% y 63.63%, respectivamente; en cambio al utilizar de 6% a 9% de cal la resistencia y CBR disminuyen respectivamente de 5.95 a 4.58 MPa y de 54% a 41%, por lo que, definieron como porcentaje

adecuado de adición de cal al 5%. Concluyeron que, no se puede definir una relación entre la adición de cal y su efecto en las fracciones de tamaño de partícula, pero que si se puede relacionar este componente con la mejora de las propiedades mecánicas del suelo limo arcilloso. Este estudio permite validar el porcentaje de cal seleccionado en la presente investigación y evaluar si se obtienen resultados similares en la subrasante de la carretera en estudio.

Razali et al. (2023) en su artículo científico “Resistencia al corte y durabilidad frente a ciclos de humectación y secado de suelo laterítico estabilizado con cal como subrasante” tuvieron como objetivo mejorar las propiedades mecánicas del suelo de relleno (suelo laterítico) de subrasantes con cal en el campus de Johor de la Universidad de Tecnología de Malasia, además de verificar su comportamiento cuando se somete a diferentes temperaturas dadas por estaciones cíclicas de lluvia y calor. En el estudio de enfoque cuantitativo realizaron pruebas de resistencia a compresión no confinada (UCS) en diferentes períodos de curado 0, 3, 7, 14 y 28 días, para porcentajes de cal de 3%, 5%, 7% y 9%. Determinaron el índice de plasticidad se reduce ligeramente al utilizar cal en el suelo, además la MDS disminuyó mientras que, el OCH aumentó con el aumento del contenido de cal para el suelo laterítico. Además de, un aumento en la resistencia del suelo debido a la incorporación de cal, y que se relaciona directamente con el aumento de la temperatura durante los diferentes periodos de curado. Concluyeron que, el uso de 5% de cal es adecuado para estabilizar el suelo laterítico. Este estudio respalda la importancia de evaluar diferentes temperaturas de curado en la estabilización del suelo de la subrasante, confirmando que la temperatura es un factor determinante en la reacción de la cal con el suelo.

Muhmed et al. (2022) en su artículo científico “El impacto de la humedad y el contenido de arcilla en la resistencia a la compresión no confinada de arcillas altamente reactivas tratadas con cal” tuvieron como objetivo determinar el impacto de la humedad y el contenido de bentonita (arcilla) en la resistencia a la compresión del suelo tratado con 7% de cal. Utilizaron el enfoque cuantitativo y realizaron tres series de pruebas en probetas preparadas con 75%, 85% y 100% de bentonita a humedad de 10, 20, 30 y 40% por encima del OCH correspondiente. Las muestras de 100% de bentonita se trataron con 7% de cal, y se curaron a temperaturas de 20 °C y 40 °C, mientras que las muestras con 85% y 75% de contenido de bentonita se curaron a 20 °C por 7 días. Los resultados revelaron que la resistencia de la bentonita tratada aumentó con el aumento de humedad de 30% por encima del OCH y con el aumento de la temperatura; pero, la sustitución de bentonita por arena resultó en una reducción significativa de la resistencia obtenida; además, el CBR aumentó con el tratamiento con cal de 4.9% a 25.4%. Concluyeron que, en arcillas expansivas una mayor humedad, mayor temperatura y tiempo de curado, mejora su resistencia. El estudio proporciona información sobre el impacto de la humedad en la resistencia a la compresión no confinada de suelos arcillosos tratados con cal, lo cual puede ser útil para comprender cómo estos factores afectan el suelo tratado en la investigación.

Tunono (2022) en su tesis “Pruebas del comportamiento termo-hidro-mecánico-químico (THMC) de arcillas marinas de subrasante tratadas con cal y sometidas a tensiones ambientales” tuvo como objetivo analizar el comportamiento termo-hidro-mecánico-químico de arcillas marinas de subrasante tratadas con cal sometidas a tensiones ambientales. En su estudio de enfoque cuantitativo, durante 28 días sometió a las columnas de arcilla – cal a ciclos

térmicos diarios, para verificar su efecto en las reacciones puzolánicas, comparándolo con la temperatura ambiente de 22 °C. El suelo se clasificó como arcilla de alta plasticidad (CH) con contenido de humedad de 71.4%, LL de 80% e IP de 53.5%, OCH de 25.4% y MDS de 1.5 g/cm<sup>3</sup>, luego utilizó 5% de cal para mejorar sus características mecánicas elevando su resistencia UCS de 2.23 MPa a 3.70 MPa, mientras que, el CBR aumento de 9.3% a 18%. Determinó que, frente al cambio de las condiciones ambientales cuando se experimentan temperaturas de curado más altas, se puede esperar tener resultados más eficaces del tratamiento del suelo en tales condiciones; asimismo, observó que la conductividad hidráulica disminuye cuando el suelo se somete a ciclos térmicos, esto se debió a que los geles cementantes modificaron el tamaño de los poros del suelo a un ritmo más rápido. Concluyó que, a mayor temperatura de curado mayor capacidad de soporte del suelo. Se enfoca en el comportamiento THMC de suelos arcillosos marinos tratados con cal bajo diferentes condiciones de estrés ambiental, lo cual sirve como referencia para analizar cómo las variaciones de temperatura durante el curado pueden influir en la estabilización del suelo con cal.

Garcia (2022) en su tesis “Estabilización de suelos con cal como una alternativa viable para la construcción y rehabilitación de caminos rurales en Colombia” tuvo como objetivo determinar si el uso de cal permitía optimizar la capacidad portante del suelo de la subrasante de las vías terciarias del Huila. En el estudio de enfoque cuantitativo analizó diferentes referentes bibliográficos, entre ellos, encontró que en la calicata 1, el suelo natural alcanza CBR de 5%, y con 2%, 4% y 6% de cal viva alcanza hasta 22%, 40% y 88%, respectivamente; mientras que, la resistencia a compresión del suelo con 4%, 6%, 8% y 10% de cal alcanza valores de 2.48, 4.28, 7.29 y 10.04 kg/cm<sup>2</sup>, respectivamente. Determinó

que, el uso de cal tiene un efecto notable en la mejora de las características físicas y químicas del suelo, especialmente en aquellos suelos expansivos que no son adecuados como bases de soporte para la construcción de carreteras. Concluyó que, a mayor porcentaje de cal mayor capacidad de soporte, pero también mayores costos de estabilización. Aborda la estabilización de suelos con cal en el contexto de la construcción de caminos rurales en Colombia, lo cual puede proporcionar información relevante sobre la viabilidad y eficacia de este tipo de tratamiento en condiciones similares a las de la carretera de estudio.

Hernández (2021) en su tesis de maestría “Comportamiento mecánico de un suelo arcilloso estabilizado con puzolanas y cal como material para capa sub base” tuvo como objetivo mejorar las características mecánicas del suelo arcilloso de Jurica Campestre. En el estudio de enfoque cuantitativo utilizaron, la cal de nombre comercial Estabilical OX presenta 92% de CaO, 0.3% de MgO, 1.3% de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, entre otros, con 12.3 de pH, como aditivo en el suelo arcilloso de 21.21% de humedad, LL de 63.16%, LP de 31.52%, que en su estado natural alcanzaba CBR de 6.1%, pero con la adición de zeolita al 0%, 6% y 12% en combinación con 10% de cal, alcanzaba valores CBR de 59%, 72% y 61% respectivamente. Concluyó que, el CBR del suelo arcilloso mejora hasta 40% con una deformación permanente de 0.1 cm, para una sección de 36 cm de capa subbase. Finalmente, este antecedente sobre el comportamiento mecánico de un suelo arcilloso estabilizado con puzolanas y cal como material para capa subbase aporta conocimientos sobre otros aditivos que pueden combinarse con la cal para mejorar las propiedades mecánicas del suelo en el contexto de la investigación.

### **2.1.2. Antecedentes nacionales**

Goicochea & Lugones (2023) en su tesis “Uso de sedimentos de Chavimochic y Cal para la estabilización de suelos arenosos en el tramo desvió de Virú – puerto Morín – la libertad 2022” tuvieron como objetivo usar 10%, 20%, 30% y 40% de sedimentos de Chavimochic para estabilizar el suelo arenoso de la ruta Virú – La Libertad, para luego mejorarla agregando 2%, 4%, 6% de cal. Utilizaron el enfoque cuantitativo y realizaron pruebas de compactación y capacidad de soporte en el suelo natural y tratado con cal. Determinaron que, con 30% de sedimentos se alcanzaba el CBR más alto siendo 26.5% y 28% para 95% y 100% de MDS (1.82 g/cm<sup>3</sup>) a 10% de OCH. El suelo natural con 0%, 2%, 4% y 6% de cal al 100% MDS alcanzaba CBR al 100% MDS de 5, 18.4, 27.3 y 33.3%, correspondientemente. Así mismo, al agregar cal a esta combinación suelo – sedimento, con 6% de cal obtuvieron los CBR más altos de 42% y 45% al 95% y 100% de MDS (1.85 gr/cm<sup>3</sup>) a 7.9% OCH. Concluyeron que, con 30% de sedimentos y 6% de cal, se logra una combinación que, cumple con los criterios del MTC (2014) para su uso en la carretera Virú – La Libertad. Proporciona información relevante sobre la efectividad de la cal como estabilizante en suelos con características similares a los del proyecto de la tesis.

Pérez & Rubio (2022) en su tesis “Mejoramiento de afirmado con adición de cal estructural en el camino vecinal SM 107 Alfonso Ugarte, Nuevo Alianza – Nuevo Piura – Sector Contamana – Picota – San Martín” tuvieron como objetivo mejorar las propiedades del suelo adicionando cal al 2.5%, 5.5% y 7.5% en el camino vecinal SM 107. Aplicaron el método cuantitativo y determinaron que el suelo presentaba humedad de 2.82%, LL 32% e IP 8%. Determinaron que, el suelo con 2.5% de cal alcanzaba 3.1% y 4.2% al 95% y 100% MDS, pero al incorporar

5.5% de cal el CBR se incrementa a 9% y 13.3% para el 95% y 100% MDS, al adicionar 7.5% obtuvo 12.1% y 18.2% de CBR al 95% y 100% MDS, al adicionar 9.5% de cal obtuvo 7.9% y 18.9% de CBR al 95% y 100% MDS. Concluyeron que, la cal redujo la plasticidad y expansión del suelo, además que acrecentó el CBR, cumpliendo con el MTC (2014). Este antecedente brinda datos sobre el comportamiento mecánico de los suelos tratados con cal.

Arevalo & Tananta (2022) en su tesis “Mejoramiento de afirmado con adición de cal estructural en el camino vecinal SM 804 Alto Ponaza, Miraflores, distrito de Shamboyacu, Picota – San Martín” tuvieron como objetivo mejorar las propiedades del suelo adicionando cal al 2.5%, 4.5% y 7.5% en el camino vecinal SM 804. Aplicaron el enfoque cuantitativo, realizando ensayos de laboratorio al suelo, determinando que, el suelo presentaba humedad de 2.82%, LL de 32% e IP de 8%, con CBR al 95% y 100% MDS de 3.10% y 8.3%, respectivamente, pero al adicionar 5.5% de cal el CBR se acrecienta a 9% y 13.3% para 95% y 100% MDS; con 7.5% de cal se obtuvo 12.10% y 18.2% de CBR al 95% y 100% MDS; mientras que, con 9.5% el CBR al 95% y 100% MDS se eleva a 7.9% y 18.9%, correspondientemente. Concluyeron que, hay un aumento del CBR del suelo al adicionar cal, en 9% con respecto a la subrasante al 95% de compresión. Esta referencia sirve para la comparación de los resultados obtenidos en la tesis.

Ccansaya & Tello (2022) en su tesis “Análisis comparativo entre los métodos de estabilización por sustitución y por adición de cal de obra, para el mejoramiento de una subrasante arcillosa en la carretera Canta - Huayllay KM 57-59” tuvieron como objetivo evaluar la mezcla de suelo cal para mejorar la subrasante arcillosa de la carretera Canta – Huallay km 57-59. En la investigación cuantitativa utilizaron el suelo arcilloso de baja plasticidad A-6(18), e IP de 17%,

con 0, 5, 10, 20, 30 y 40% de cal hidráulica, obteniendo respectivamente IP de suelo 17.69, 20.45, 23.63, 24.09, 25.51 y 29.85%. Así mismo, el CBR del suelo natural era 3.5% pero al mejorarlo con cal alcanzaba 17.5% de CBR. Concluyeron que para estabilizar el suelo A-6 (18), localizado en el tramo entre los km 57 y 59 de la carretera Canta – Huayllay, se requiere 80% de cal en base al peso del suelo seco, este porcentaje excede ampliamente el rango recomendado de 2% a 8% por la normativa CE.020, debido al uso de cales de baja pureza, con contenidos de cal hidratada que oscilan entre el 3% y el 15%, en lugar de cales de alta pureza. Este antecedente es útil para evaluar la eficacia del uso de cal en la estabilización.

Angulo & Zavaleta (2021) en su tesis “Estabilización de suelos arcillosos con cal para el mejoramiento de las propiedades físico – mecánicas como capa de rodadura en la prolongación Navarro Cauper, Distrito San Juan – Maynas – Iquitos, 2019” tuvieron como objetivo mejorar las propiedades del suelo arcilloso de la subrasante de la prolongación Navarro Cauper. En la investigación cuantitativa usaron 2%, 4% y 6% de cal hidratada y viva en suelo arcilloso. La calicata 01 de alta plasticidad (LL de 51.93% e IP de 33.09%), CBR al 100% MDS de 3.35%, expansión de 9.15%, y la calicata 02 de baja plasticidad (LL de 33.31% e IP de 20.88%) y CBR al 100% MDS de 8.07%, expansión de 3.3%, obteniendo como resultado que con la cal viva aumenta el CBR al 100% MDS para la calicata 1 al 2%, 4% y 6% de cal viva hasta 21.78%, 40.31% y 88.91%, respectivamente, además que, controla el efecto expansivo y plasticidad (2%, 4% y 6% de cal viva se obtiene IP de 30.30, 26.97 y 24.05% para la calicata 1). Mientras que la cal hidratada no ofrece grandes mejoras (CBR al 100% MDS para la calicata 1 al 2%, 4% y 6% de cal hidratada 3.39, 4.23 y 3.15%), y mantiene en similares condiciones la densidad, plasticidad (2%, 4% y 6% de cal hidratada se obtiene IP

de 33.44, 32.42 y 31.25% para la calicata 1) y expansión. Concluyeron que, se puede usar 5% de cal viva para estabilizar suelos. Este antecedente es relevante para comprender mejor los efectos de la cal en la capacidad de soporte del suelo.

Rios & Solano (2021) en su tesis “Estudio exploratorio de estabilización de una subrasante de suelo arcilloso con cal viva como material estabilizante en el A.A.H.H Las Colinas, calle Lagunas - San Juan Bautista - 2021” tuvieron como objetivo analizar el efecto de 1%, 3% y 5% de cal viva en suelo arcilloso de la calle Lagunas. Utilizaron el enfoque cuantitativo, teniendo como muestra al suelo del asentamiento humano Las Colinas, al que realizaron pruebas físicas y mecánicas, como límites de consistencia y capacidad de soporte. Determinaron que, el suelo (A-6 (10)) con LL de 39% e IP de 22%, cuya MDS es 1.853 g/cm<sup>3</sup> y OCH es 13.06%, al ser mezclado con 0, 1, 3 y 5% de cal viva alcanza CBR de 4.82%, 11.20%, 17.60% y 19.30%, respectivamente. Por tanto, concluyeron que, la cal incrementa el CBR del suelo de una subrasante arcillosa, siendo el porcentaje más adecuado de uso 5% de cal. Este antecedente sirve para identificar posibles desafíos y recomendaciones prácticas para la aplicación de la cal en suelos de características similares a los del proyecto de la tesis mencionada.

### **2.1.3. Antecedentes regionales**

Sánchez (2023) en su tesis “Influencia de los residuos del proceso de producción de cal en el mejoramiento del CBR de suelos arcillosos Chota” tuvo como objetivo analizar la estabilización del km 8+000 al Km 9+000 de la carretera La Palma – Conchán con cal al 0, 3, 6, 9 y 12% respecto al peso del suelo. En su estudio cuantitativo realizó excavaciones de tres calicatas a lo largo de 1 km, identificando dos tipos de suelo: las calicatas 1 y 3, situadas en los extremos, se clasificaron como arcillas de alta plasticidad (grupo A-7-5) con CBR al 95% de

MDS de 1.25% y 1.20% respectivamente, mientras que la calicata 2, ubicada en el centro, se clasificó como arena limosa (grupo A-2-7 (4)) con CBR de 4.32%. Al incrementar el porcentaje de residuos de cal, observó un aumento en el LP y una disminución en el LL e IP, afectando también a la DMS y al OCH. Además, el CBR al 100% de MDS mejoró continuamente con mayores porcentajes de residuos de cal, mientras que el CBR al 95% de MDS solo aumentó hasta un 9% de residuos de cal antes de comenzar a disminuir. Concluyó que el 9% de residuos de cal es el porcentaje más efectivo para la estabilización del suelo en la carretera La Palma - Conchán. Es relevante para comprender los efectos de la adición de cal en el comportamiento mecánico del suelo.

Fonseca (2023) en su tesis “Estabilización de suelos con cal y cemento para tratamiento de subrasante de la carretera en el Distrito la Ramada Provincia de Cutervo – Cajamarca - Perú” tuvo como objetivo estabilizar el suelo de la subrasante en la Ramada con cal y cemento. En la investigación transversal experimental, realizó seis calicatas determinando que, eran limos arenosos de alta plasticidad, para las calicatas C1-C3 con CBR de 3.6%, pero que, al incorporar 3.2% y 4.5% de cal alcanzan valores de 22.2% y 33.1%, y con 3.2% y 4.5% de cemento alcanzan 32.4% y 58.1% de CBR, respectivamente. Mientras que, para las calicatas C4-C6 con CBR de 5.7%, al incorporar 3.2% y 4.5% de cal alcanzan 16.4% y 23%, y con 3.2% y 4.5% de cemento alcanzan 23.8% y 58.8% de CBR, respectivamente. Concluyeron que, el suelo natural no es adecuado para subrasante, pero que, tras su estabilización cumple, con los estándares requeridos para infraestructura vial, con 3.2% de cal para las calicatas C1-C3, y con 3.2% de cemento para las calicatas C4-C6. Aporta evidencia sobre la efectividad de la estabilización con cal y cemento en suelos de alta plasticidad

Fernández & Manosalva (2022) en su tesis “Mejoramiento del suelo de fundación con adición de cal en la infraestructura vial Puerto Ciruelo, distrito de Huarango, Cajamarca, 2021” tuvieron como objetivo mejorar el suelo con cal en Puerto Ciruelo. Utilizaron el enfoque cuantitativo descriptivo y determinaron que, el suelo arcilloso de alta plasticidad clasificado según AASHTO como A-7-6 (17), con 0, 2, 4, 8 y 16% de cal alcanzaba CBR de 3.54, 3.76, 5.24, 10.70, y 15.35%, IP de 27.75, 27.06, 22.83, 9.5, 5.8%, humedad de 21.33, 21.95, 22.62, 25.4, 27.14%, MDS de 1.72, 1.71, 1.68, 1.69, 1.70 g/cm<sup>3</sup>, OCH de 21.33, 21.95, 22.62, 24.4, 25.1% correspondientemente. Concluyendo que, el suelo natural presentaba humedad de 21.33%, IP de 27.75% y CBR de 3.54% pero con 16 de cal el CBR asciende a 15.35%, el IP se reduce a 5.80% y la humedad aumenta a 27.14%. Aportan datos sobre el suelo con cal en infraestructuras viales en Cajamarca, lo cual sirve como referencia para los resultados obtenidos en la tesis en cuestión.

Herrera & Miranda (2022) en su tesis “Mejoramiento de suelos arcillosos, utilizando cal en la sub rasante de pavimentos, pasaje El Porvenir, sector el Parral, Jaén, Cajamarca 2022” tuvieron como objetivo analizar las propiedades del suelo mejorado con 0, 7, 10 y 12% de cal. En el estudio de enfoque cuantitativo, el suelo de la calicata 1, 2 y 3 se clasifica como grava limosa con MDS de 1.89, 1.65 y 1.73 gr/cm<sup>3</sup>, OCH de 9.9, 10.5 y 10.5%, CBR al 100% MDS de 4.0, 5.7 y 4.9%, mientras que, al adicionar 7% de cal el CBR al 100% MDS era 10, 9, 7.9% al 10% de cal era 11.2, 13.6, 13.7%, y al 12% era 13.5, 15.5 y 14.7% para la calicata 1, 2 y 3 correspondientemente. Concluyeron que, con 12% de cal al suelo, el CBR al 100% de la MDS se incrementa hasta 15.50%. Aportan datos sobre el suelo con cal en infraestructuras viales, lo cual sirve como referencia para los resultados obtenidos en la tesis en cuestión.

## 2.2. Bases teórico – científicas

### 2.2.1. Principio de Le Chatelier

El Principio de Le Chatelier establece que, cuando un sistema en equilibrio experimenta una alteración en sus condiciones (como cambios en concentración, temperatura, etc.), el sistema reacciona de manera que contrarresta parcialmente dicha perturbación, buscando un nuevo estado de equilibrio (Rodríguez, 2021).

El efecto de los cambios de temperatura en un sistema en equilibrio se rige por este principio, que establece que, al aumentar la temperatura, el equilibrio se desplazará hacia la reacción endotérmica para absorber el exceso de energía. En una reacción química reversible, una dirección puede ser exotérmica y la otra endotérmica, por lo que el aumento o disminución de temperatura afecta la constante de equilibrio ( $K_e$ ). Cuando la reacción es endotérmica, el aumento de temperatura provoca la expansión de  $K_e$ , mientras que, en una reacción exotérmica, la elevación de la temperatura causa su disminución. De manera inversa, al reducir la temperatura, el sistema favorece la reacción exotérmica, desplazando el equilibrio hacia la dirección que libera calor (Rodríguez, 2021).

Este principio es relevante para comprender cómo las reacciones químicas entre la cal y los componentes del suelo se ven afectadas por variaciones en la temperatura. Al modificar la temperatura, el equilibrio de las reacciones químicas puede desplazarse, influyendo en la formación de compuestos que mejoran las propiedades mecánicas del suelo. Un aumento en la temperatura puede acelerar las reacciones de hidratación y puzolánicas, favoreciendo la formación de productos cementantes que incrementan la resistencia del suelo tratado. Así, el Principio de Le Chatelier ayuda a predecir y explicar los efectos de las variaciones térmicas en la eficacia de la estabilización del suelo con cal.

### **2.2.2. Cal como agente estabilizador de suelos en carreteras**

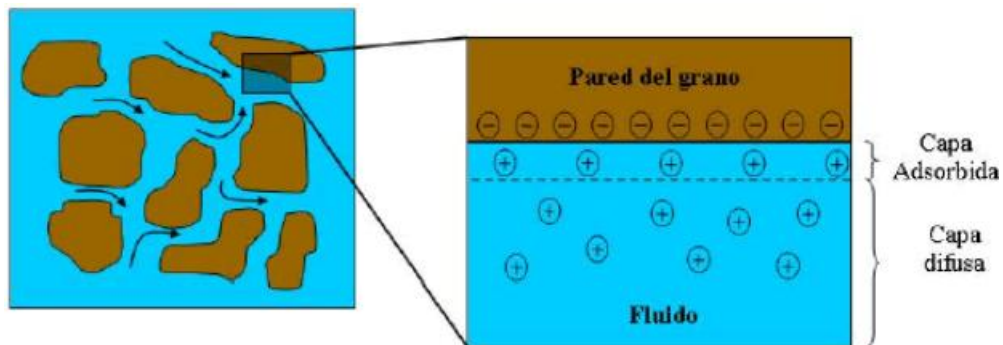
La adición de cal al suelo es un método ampliamente utilizado para mejorar sus propiedades mecánicas y garantizar la estabilidad de las carreteras. Su principal función es incrementar la capacidad de carga y la resistencia a compresión, lo que se logra a través de una serie de reacciones químicas entre la cal y los minerales arcillosos del suelo. Estas interacciones mejoran la estructura del suelo, aumentan su cohesión y reducen su susceptibilidad a los cambios de humedad, minimizando problemas como la expansión y contracción que pueden afectar la durabilidad de la infraestructura vial, sobre todo en suelos finos como, los suelos arcillosos y/o limosos (Tunono & Fall, 2024).

#### **2.2.2.1. Reacción química de arcilla – agua**

Las arcillas experimentan variaciones en su volumen cuando cambia su contenido de humedad, debido a la interacción electroquímica entre sus partículas y el agua. Este fenómeno ocurre porque las partículas de arcilla poseen cargas negativas en su estructura, resultado de sustituciones isomorfas dentro de su composición. Para neutralizar estas cargas, los cationes presentes en el suelo son atraídos hacia la superficie de las partículas de arcilla, generando una atracción de moléculas polares de agua que se organizan en lo que se conoce como doble capa difusa. Esta acumulación de agua en la superficie de las partículas arcillosas provoca un incremento en el espaciamiento entre ellas, lo que a su vez genera una expansión del suelo. Así, la capacidad de la arcilla para absorber agua y expandirse depende de la cantidad de cationes disponibles y de la polaridad del agua, lo que influye directamente en sus propiedades mecánicas y estabilidad. (Moale & Rivera, 2019).

**Figura 1**

*Formación de Doble Capa Difusa en la Interacción de la Arcilla con el Agua*



Nota: Patricia et al. (2010) citado por (Moale & Rivera, 2019).

### **2.2.2.2. Reacción química entre suelo y cal**

La incorporación de cal en suelos genera una serie de reacciones químicas que mejoran sus propiedades. En una primera fase, ocurre un intercambio catiónico, en el cual los iones de calcio y magnesio liberados por la cal sustituyen a los cationes monovalentes, como el sodio y potasio, que se encuentran en las placas minerales de la arcilla. Este proceso provoca una reducción del espesor de la doble capa difusa de agua que rodea las partículas del suelo, lo que disminuye su plasticidad y su capacidad de expansión (Moale & Rivera, 2019).

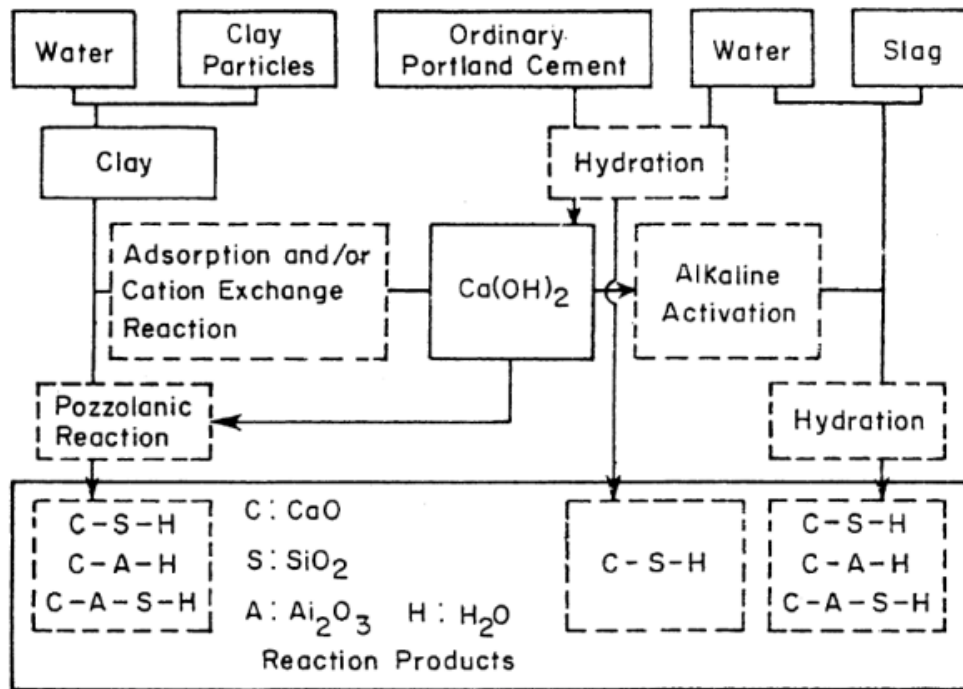
Posteriormente, la reacción química entre la cal y el suelo genera un cambio en la textura del material, ya que las partículas de arcilla se aglomeran y forman estructuras de mayor tamaño, dando lugar a un proceso denominado floculación. Esta transformación es clave, ya que permite que las propiedades del suelo arcilloso se asemejen a las de los suelos granulares, reduciendo su susceptibilidad a la expansión (Moale & Rivera, 2019).

A largo plazo, cuando el suelo tratado con cal es compactado, se activa una reacción puzolánica, en la cual los minerales sílico-aluminosos del suelo reaccionan con la cal en presencia de agua, formando compuestos cementantes

como los silicatos y aluminatos de calcio hidratados ( $\text{CaSiO}_3$ ), los cuales generan una mejora progresiva en la resistencia mecánica, este proceso puede extenderse por varios meses o incluso años, dependiendo del entorno (Duré et al., 2018).

**Figura 2**

*Esquema Demostrativo del Proceso de Transformación del Suelo con Cal*



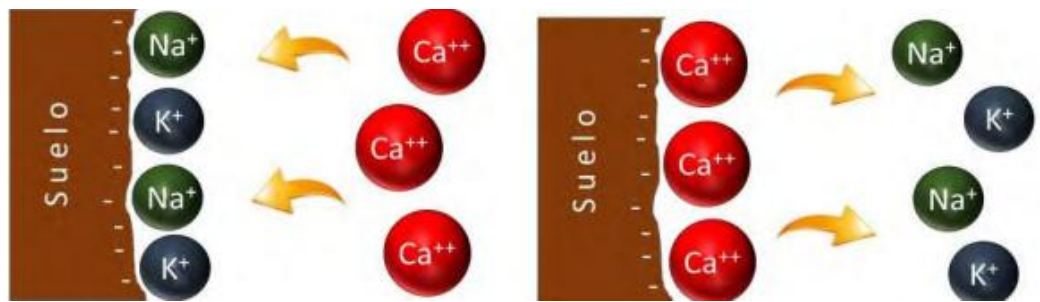
Nota: (Saitoh et al., 1985) citado por (Bauzá, 2015).

### 2.2.2.3. Intercambio iónico entre el suelo y la cal

Cuando la cal reacciona con el suelo, los cationes de calcio suelen reemplazar a los cationes de sodio, potasio o magnesio que se encuentran adsorbidos en la superficie de las partículas de arcilla, esta sustitución se produce en función de la eficiencia determinada por la valencia y tamaño de los cationes. Cuando cationes con mayor valencia o tamaño se encuentran tienden a sustituir a los cationes adsorbidos anteriormente, esto ayuda a equilibrar la carga eléctrica, lo que a su vez disminuye el espesor de la capa doble. Además, a mayor concentración de cationes de mayor valencia en el medio, habrá una mayor sustitución de los cationes de menor valencia (Castañeda, 2019).

**Figura 3**

*Intercambio Iónico*



Nota: (Castañeda, 2019).

#### **2.2.2.4. Floculación y aglomeración de partículas de suelo**

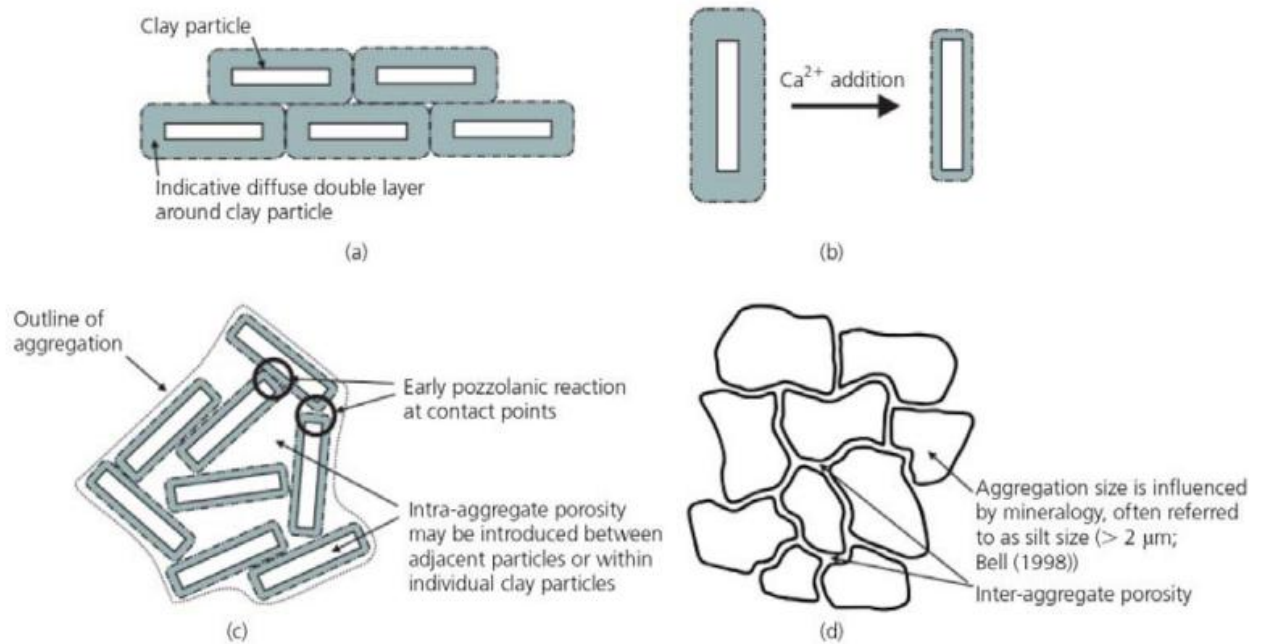
Cuando se reduce el espesor de la capa doble que separa a las partículas de arcilla, estas se acercan debido a la repulsión eléctrica. Esta cercanía permite que los extremos cargados eléctricamente de las partículas se pongan en contacto, formando grupos o flóculos que modifican la estructura del suelo y la distribución de los poros. Este proceso se ve favorecido por una mayor concentración de electrólitos o cationes en el medio, así como por valores altos de pH, como los aportados por la cal (Bauzá, 2015).

#### **2.2.2.5. Modificación de la textura y consistencia**

La floculación provoca un cambio en la estructura de los suelos arcillosos al desordenar la disposición laminar estable de las partículas de arcilla. Esto se debe a que, al aglomerarse de forma desordenada, se generan contactos oblicuos entre bordes y caras, aumentando la proporción de huecos y modificando el comportamiento del suelo de uno plástico a uno más friable, similar al de los suelos granulares (Bauzá, 2015).

## Figura 4

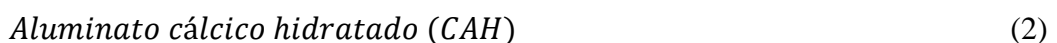
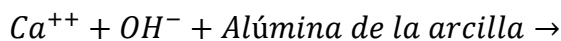
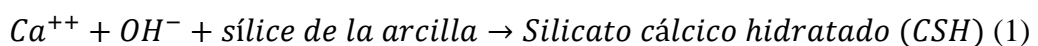
### Secuencia Ilustrativa del Proceso de Modificación de Textura



Nota: Se inicia con una estructura laminar con una capa doble gruesa (a), lo que lleva a un intercambio iónico con una disminución de la capa doble (b), lo que resulta en una alteración de la estructura y la formación de floculación (c), esquema intergranular formado a partir de los flóculos (Beetham et al., 2015).

#### 2.2.2.6. Reacción puzolánica

Las arcillas se pueden considerar productos naturales con propiedades puzolánicas, ya que pueden reaccionar con la cal en un ambiente de pH alto para generar productos cementantes. Cuando la arcilla se mezcla con cal, la sílice y alúmina de las partículas de arcilla reaccionan formando silicatos y aluminatos de calcio hidratados, similares a los que se producen durante el fraguado del cemento. Este proceso está regido por determinadas reacciones químicas: (Llano, 2021)

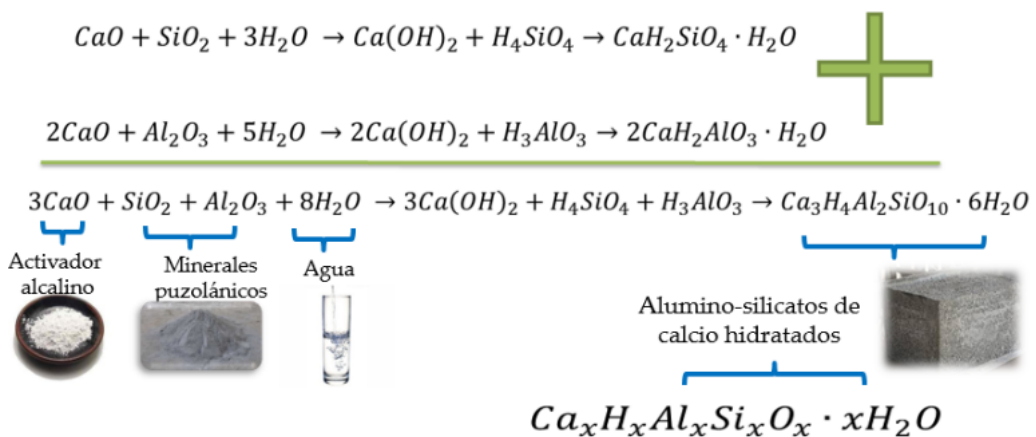


Para que la reacción se lleve a cabo y se mantenga, es esencial que dos condiciones se cumplan: que haya suficiente cal libre disponible y que la sílice y la alúmina de la arcilla se liberen, siempre y cuando la proporción de cal sea adecuada. Es importante que, una vez que se haya producido la sustitución catiónica, permanezca suficiente principio activo en el medio para que la reacción tenga lugar. La presencia de esta reacción está determinada por la cantidad de cal utilizada en relación con el suelo, y podría no ocurrir si no se alcanza el nivel mínimo requerido. Si la cantidad de cal es insuficiente para alcanzar la alcalinidad necesaria en el medio, es posible que los elementos puzolánicos no se disuelvan y la reacción no se produzca (Llano, 2021).

La disponibilidad de sílice y alúmina varía según la mineralogía del suelo, lo que significa que no todas las arcillas son propensas a mostrar estas reacciones. Además, estas reacciones puzolánicas se desarrollan a lo largo del tiempo, a diferencia de los procesos inmediatos descritos anteriormente, requiriendo varias semanas para alcanzar un efecto significativo y, estando influenciado por las condiciones de curado, como la temperatura en los primeros días (Llano, 2021).

**Figura 5**

*Síntesis Esquemática de las Reacciones Puzolánicas*



Nota: (Llano, 2021).

### ***2.2.3. Temperatura ambiente durante el curado del suelo cal y su efecto en la estabilización de subrasantes***

Uno de los factores que influyen en el proceso de estabilización es la temperatura ambiente durante el curado del suelo cal en las carreteras. Según Tunono & Fall (2024) temperaturas altas durante el curado pueden acelerar el proceso de reacción química entre la cal y el suelo, lo que resulta en una mayor estabilidad del suelo; por otro lado, temperaturas bajas pueden retardar este proceso y limitar la capacidad de estabilización de la cal.

Muhmed et al. (2022) llevaron a cabo un estudio en el que analizaron el efecto de diferentes temperaturas (20°C y 40°C) durante el curado del suelo cal en la estabilización de subrasantes. Los resultados mostraron que la temperatura ambiental tuvo un impacto significativo en la resistencia del suelo estabilizado; en particular, observaron que la muestra curada a 40 °C presentó la mayor resistencia, mientras que la muestra curada a 5°C mostró la menor resistencia.

Tunono (2022) investigó el efecto de la temperatura ambiente en la durabilidad de los suelos estabilizados con cal; los resultados indicaron que temperaturas altas durante el curado pueden resultar en una mayor resistencia a la descomposición y erosión, lo que mejora la durabilidad del suelo estabilizado.

Por tanto, la temperatura ambiente durante el curado del suelo cal impacta la estabilización de subrasantes. Temperaturas altas pueden acelerar el proceso de reacción química entre la cal y el suelo, lo que aumenta la resistencia y estabilidad del suelo. Por otro lado, temperaturas bajas pueden retardar este proceso y limitar la capacidad de estabilización de la cal. Por lo tanto, es importante considerar la temperatura ambiental durante el curado del suelo cal para lograr una estabilización eficiente de las subrasantes.

## 2.3. Marco conceptual

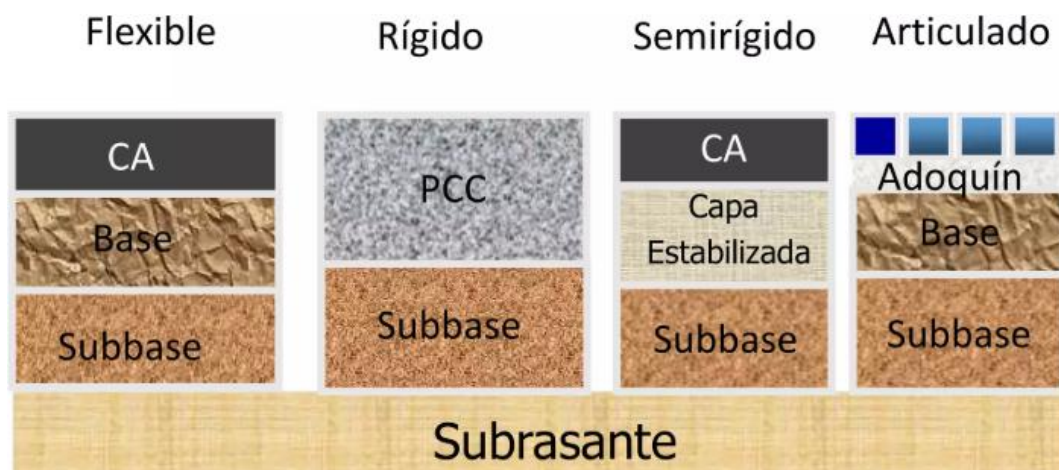
### 2.3.1. Subrasante

La capa de subrasante corresponde a la superficie del suelo natural en la construcción de caminos y se evalúa hasta una profundidad de 0.45 m, siendo elementos fundamentales para el diseño de pavimentos, la capacidad de esta capa para sostener carga en condiciones operativas, combinada con el volumen de tráfico y los materiales de la capa superficial por donde transitan los vehículos (Pérez & Rubio, 2022).

La subrasante constituye la base natural que, tras ser adecuadamente preparada y compactada, sirve de cimiento para la construcción de un pavimento. Su propósito es ofrecer un soporte consistente y uniforme, evitando fluctuaciones significativas en su capacidad portante, con especial atención en la prevención de la expansión del suelo (Marin, 2023).

#### Figura 6

*Capas del Pavimento Asentado sobre la Subrasante*



Nota: (Mercado, 2021).

### 2.3.1.1. Factores que influyen en la reacción de la subrasante

Los factores clave que influyen en la reacción de la subrasante. El desempeño de la subrasante suele estar condicionado por tres atributos fundamentales, los cuales están estrechamente vinculados entre sí, y son los siguientes: (Marin, 2023)

#### a) La capacidad soporte

La subrasante debe tener la capacidad de soporte necesaria para sostener las cargas transferidas desde la estructura del pavimento. Por lo tanto, la subrasante debe resistir múltiples cargas sin sufrir deformaciones. Se considerarán adecuados para la capa superior de la subrasante los suelos con CBR igual o superior al 6%. En caso de que el CBR sea menor, se debe reemplazar por suelo con CBR mayor al 6% o se debe estabilizar el suelo (Pérez & Rubio, 2022).

**Tabla 1**

*Categoría de la Subrasante según CBR*

	0	1	2	3	4	5
Categoría	Inadecuada	Insuficiente	Regular	Buena	Muy buena	Excelente
CBR	0-3	3-6	6-10	10-20	20-29	Mayor a 30

Nota: (MTC, 2014).

#### b) Resistencia a la compresión no confinada

En la construcción de carreteras es fundamental tener en cuenta la resistencia de los materiales que se utilizarán en las capas finales y subbases. Una resistencia no confinada de 7.03 kg/cm<sup>2</sup> es adecuada para la capa final en bases, asegurando la durabilidad y estabilidad de la estructura (MTC, 2016).

Para las subbases, donde se pueden tratar diferentes tipos de suelos, se recomienda una resistencia a compresión no confinada de 3.51 kg/cm<sup>2</sup>. Al cumplir con estos estándares de resistencia, se garantiza la durabilidad evitando problemas como hundimientos o deformaciones prematuras (MTC, 2016).

**Tabla 2***Clasificación del Suelo de Acuerdo a la Capacidad a Compresión*

Resistencia a compresión no confinada			Tipo de capa en carreteras
690 KPa	100 psi	7.03 kg/cm <sup>2</sup>	Suelo para base
345 KPa	50 psi	3.51 kg/cm <sup>2</sup>	Suelo para subrasante tratada

Nota: (MTC, 2016).

**c) Contracción y/o expansión**

Algunos suelos tienen la capacidad de contraerse o expandirse, dependiendo de su plasticidad y nivel de humedad. Cuando se construye un pavimento sobre estos suelos sin tomar las precauciones necesarias, es probable que se deformen o deterioren prematuramente. Para evitar que las deflexiones en la subrasante excedan los límites permitidos, es crucial garantizar que la presión ejercida por la carga no supere la carga máxima tolerada por el suelo. Esto requiere considerar el tráfico esperado, las deflexiones máximas previstas y el CBR del material utilizado para la mejora (Marin, 2023).

**d) Deformación y plasticidad**

La deformación y plasticidad del suelo se refiere a la capacidad del suelo para resistir las deformaciones y cambios de forma bajo la aplicación de cargas. Estas propiedades son importantes en la construcción de carreteras y pavimentos, ya que afectan la capacidad del suelo para soportar el tráfico y mantener la estabilidad estructural (Marin, 2023).

**Tabla 3***Categoría del Suelo de Acuerdo al IP*

Plasticidad	Alta	Media	Baja	No plástico (NP)
IP		>7	1	
	>20	20	7	0

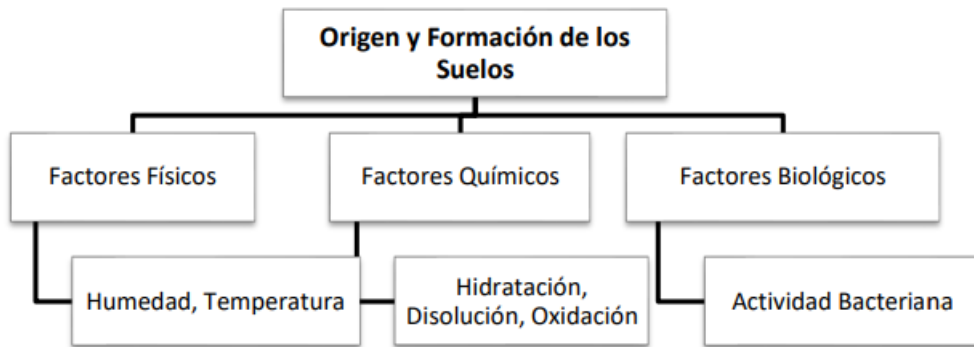
Nota: (MTC, 2014).

2.3.2. *Suelo*

Capa superficial de la corteza terrestre que se compone de partículas minerales, material orgánico y agua, en tres fases distintas: sólida, líquida y gaseosa. Es un material compuesto por partículas sólidas, líquidas y gaseosas que interactúan entre sí. Las características mecánicas de resistencia de los suelos están determinadas por los minerales que los componen. Además, es un material heterogéneo en términos de propiedades físico mecánicas (Hernández, 2021).

**Figura 7**

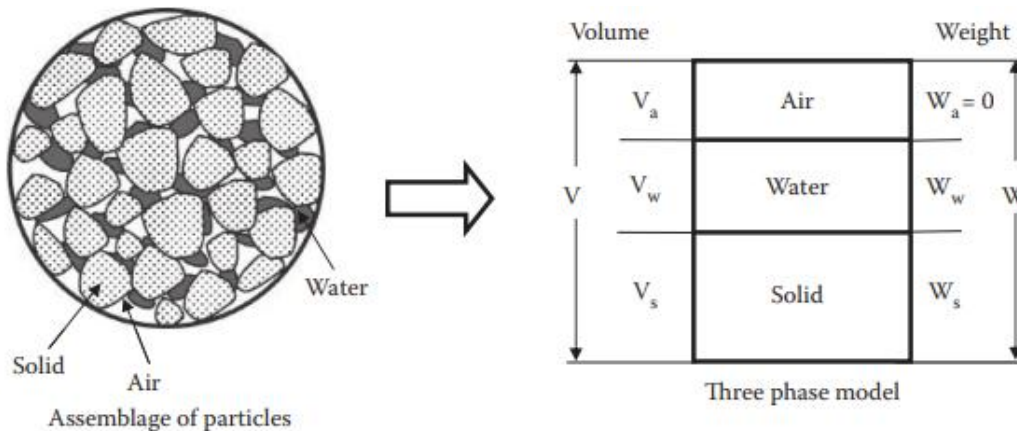
*Origen y Formación de Suelos*



Nota: (Goicochea & Lugones, 2023).

**Figura 8**

*Fases del Suelo*



**Ensamblaje de partículas**  
Solid (sólido), air (aire), water (agua)

**Modelo de tres fases**  
volume (volumen), weight (peso)

Nota: (Ishibashi & Hazarika, 2015).

### 2.3.2.1. Clasificación SUCS del suelo

Proporciona criterios para clasificar varios tipos de suelos con fines de cimentación, sin embargo, en el contexto de las vías terrestres, hay otras propiedades que no están consideradas en esta clasificación (Hernández, 2021).

**Arcilla:** Es un suelo compuesto por partículas finas y plásticas, tiende a retener agua y exhibe propiedades pegajosas cuando está húmedo, es propenso a la contracción y expansión, lo que puede afectar su estabilidad (Das B. M., 2015).

**Limo:** Es un suelo compuesto por partículas más grandes que las arcillas, pero más pequeñas que las arenas. Tiene una textura suave y se adhiere fácilmente a la piel. Tiene una capacidad moderada de retener agua (Das B. M., 2015).

**Arena:** Es un suelo compuesto por partículas granulares más grandes que las arcillas y los limos, tiene textura rugosa y baja de retener agua (Das B. M., 2015).

**Grava:** Suelo compuesto por partículas de gran tamaño, en general mayor a 2 mm y proporciona buena capacidad de drenaje (Das B. M., 2015).

**Suelo orgánico:** Suelo compuesto por material orgánico, beneficioso para la agricultura, pero con baja capacidad de soporte (Das B. M., 2015).

#### Figura 9

*Clasificación de Suelos SUCS, Grupos y Subgrupos*

GRANO	TIPO DE SUELO	GRUPO	SUBGRUPO	DESCRIPCION
Suelo de grano fino (Más del 50% del material pasa a través del tamiz #200)	Limos	M	L	Baja plasticidad (Limite Liquido <50)
			H	Alta plasticidad (Limite Liquido >50)
	Arcillas	C	L	Baja plasticidad (Limite Liquido <50)
			H	Alta plasticidad (Limite Liquido >50)
	Suelos orgánicos	O	Sin subgrupo	Materia orgánica principalmente, color oscuro altamente plástica.

Nota: (Das B. M., 2015).

### 2.3.2.2. Clasificación AASHTO del suelo

La clasificación AASHTO divide los suelos en siete grupos principales, designados del 1 al 7 y precedidos por la letra A. Además, cada grupo tiene subdivisiones indicadas por una letra minúscula seguida del número (a, b) o un guion con un número posterior. Para usar este sistema de clasificación, se requieren los límites de consistencia y el análisis granulométrico del suelo. Además, se puede determinar la resistencia relativa de un suelo en comparación con otro utilizando el Índice de Grupo (IG) (Hernández, 2021).

$$IG = (F_{200} - 35) \times [0.2 + 0.005 \times (LL - 40)] + 0.01 \times (F_{200} - 15) \times (IP - 10) \quad (3)$$

Donde, IG es el índice de grupo, LL es el límite líquido, IP el índice de plasticidad,  $F_{200}$  el material que pasa el tamiz n° 200.

**Figura 10**

*Clasificación AASHTO*

DIVISION POR GRANO		Materiales Granulares (pasa menos del 35% por el tamiz ASTM #200)						Materiales Limo-arcillosos (más del 35% por el tamiz ASTM #200)				
GRUPO	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7	
Subgrupo	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5	A-7-6
<b>ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO</b> (% que pasa por cada tamiz)												
Tamiz	# 10	< o = 50										
	# 40	< o = 30	< o = 50	< o = 51								
	#200	< o = 15	< o = 25	< o = 10	< o = 35	< o = 35	< o = 35	< o = 35	> o = 36	> o = 36	> o = 36	> o = 36
<b>ESTADO DE CONSISTENCIA</b> (de la fracción de suelo que pasa por el tamiz ASTM #40)												
Límite líquido			N/A	< o = 40	> o = 41	< o = 40	> o = 41	< o = 40	> o = 41	< o = 40	> 41 (IP < LL-30)	> 41 (IP > LL-30)
Índice de plasticidad	< o = 6			< o = 10	< o = 10	> o = 11	> o = 11	< o = 10	< o = 10	> o = 11	> o = 11	> o = 11
<b>ÍNDICE DE GRUPO</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>		<b>&lt; o = 4</b>		<b>&lt; o = 8</b>	<b>&lt; o = 12</b>	<b>&lt; o = 20</b>	<b>&lt; o = 20</b>	
<b>TIPOLOGÍA</b>	Fragmentos de piedra, grava y arena		Arena fina	Gravas y arenas limosas o arcillosas				Suelos limosos		Suelos arcillosos		
<b>CALIDAD</b>	EXCELENTE A BUENA						ACEPTABLE A MALA					

Nota: (Das B. M., 2015).

### 2.3.3. *Propiedades físico mecánicas del suelo*

**Granulometría:** Es el análisis y clasificación de las diferentes partículas presentes en un suelo. Se determina la proporción de los diferentes tamaños de partículas del suelo, que van desde las gravas y arenas más gruesas hasta los limos y arcillas más finos (Das B. M., 2015).

$$\% \text{ que pasa} = 100 - \%RA \quad (4)$$

Donde, porcentaje retenido acumulado (%RA).

**Contenido de humedad:** Cantidad de agua presente en relación al peso total del suelo, afecta la compactación, plasticidad y resistencia (Das B. M., 2015).

$$W(\%) = \frac{M_w}{M_s} \times 100 \quad (5)$$

Donde, W% humedad, masa del agua (Mw), masa seca (Ms).

**Límite líquido (LL):** Contenido de humedad en el que el suelo comienza a comportarse como líquido. Se determina mediante el ensayo conocido como el límite de Atterberg, en el cual se mide el punto en el que el suelo pasa de un estado semisólido a uno líquido (Das B. M., 2015).

$$LL = Wn \left( \frac{N}{25} \right)^{\tan\beta} \quad (6)$$

Donde, LL límite líquido, W humedad, N número de golpes,  $\tan\beta$  igual a 0.121.

**Límite plástico (LP):** Contenido de humedad en el cual el suelo adquiere la propiedad de ser deformable y maleable. Al igual que el límite líquido, se determina mediante el ensayo de límites de Atterberg. El límite plástico se utiliza para evaluar la plasticidad y cohesión de un suelo. Un suelo con un límite plástico alto es menos deformable y más resistente, mientras que un suelo con un límite plástico bajo es más deformable y menos resistente (Das B. M., 2015).

$$\text{Índice de Plasticidad (IP)} = LL - LP \quad (7)$$

**Compactación volumétrica:** Proceso de aumentar la densidad y reducir los vacíos del suelo mediante la aplicación de fuerzas externas, como compactación. Un suelo debidamente compactado tiene una mayor capacidad de soporte y resistencia. La compactación volumétrica se expresa como la relación entre el volumen compactado del suelo y su volumen inicial (Das B. M., 2015).

$$D_s = \frac{D_h}{\frac{1+w\%}{100}} \quad (8)$$

Donde,  $D_s$  densidad seca ( $D_s$ ),  $D_h$  densidad húmeda,  $W\%$  humedad.

- **Máxima densidad seca (MDS):** Es la densidad más alta que se puede alcanzar en un suelo después de someterlo a compactación. Se obtiene cuando el suelo alcanza su contenido de humedad óptimo (Das B. M., 2015).
- **Óptimo contenido de humedad (OCH):** Es el nivel de humedad en el que un suelo está en su máxima capacidad de compactación y, por lo tanto, tiene la máxima capacidad de soporte (Das B. M., 2015).

**Capacidad de soporte del suelo (CBR):** Es una medida de su capacidad para soportar cargas aplicadas. Se expresa como la relación porcentual entre la resistencia que proporciona un suelo compactado y la resistencia que proporciona una muestra de roca triturada estándar (Das B. M., 2015).

$$CBR = \frac{P'}{P_s} \times 100 \quad (9)$$

Donde, carga unitaria ( $P'$ ), carga unitaria patrón ( $P_s$ ).

**Resistencia a la compresión no confinada:** Es la capacidad del suelo para resistir la compresión bajo carga aplicada, sin restricciones laterales, se utiliza para evaluar la estabilidad de un suelo frente a cargas verticales (MTC, 2016).

$$P' = \frac{P}{A} \quad (10)$$

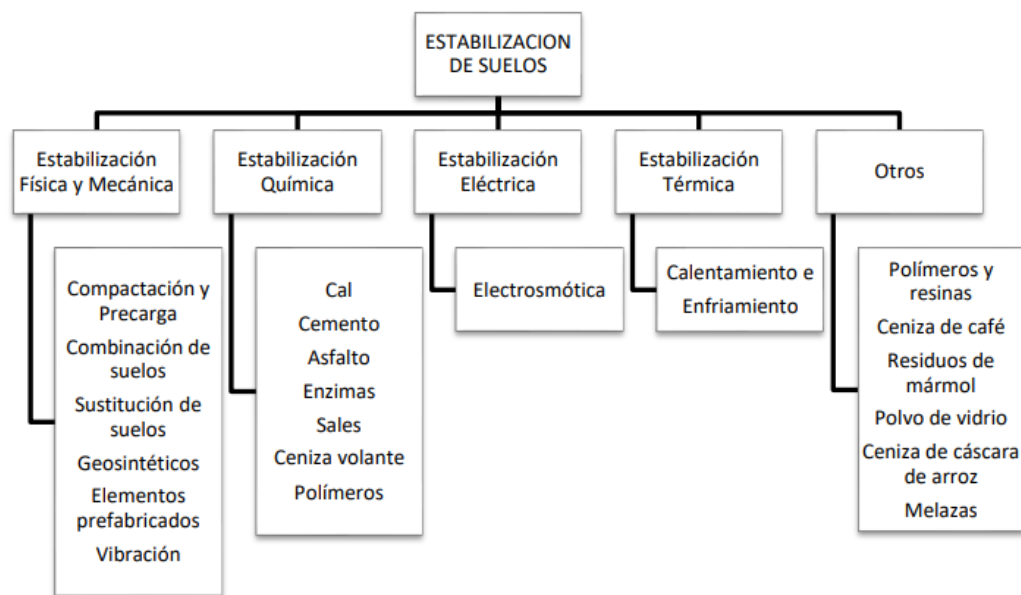
Donde, esfuerzo aplicado ( $P'$ ), carga aplicada entre el área del pisón ( $A$ ).

### 2.3.4. Estabilización de suelos de subrasante

Proceso que busca mejorar las propiedades físicas y mecánicas de un suelo natural para que cumpla con los requisitos específicos de un proyecto de ingeniería. Este proceso implica la modificación de las características del suelo mediante la adición de materiales estabilizantes, como cal, cemento o aditivos químicos, o a través de métodos mecánicos que alteran su estructura interna. El objetivo principal es aumentar la capacidad de soporte, reducir la plasticidad, controlar la expansión y contracción debido a cambios de humedad, y mejorar la durabilidad del suelo (Montejo et al., 2018).

**Figura 11**

*Tipos de Estabilización de Suelos*



Nota: (Goicochea & Lugones, 2023).

#### 2.3.4.1. Estabilización mecánica: Compactación

Mejora el material del suelo sin alterar su estructura o composición fundamental. Este método se basa únicamente en la compactación, que reduce el volumen de vacíos en el suelo, fortalece su resistencia a compresión, incrementa

su densidad para una distribución más uniforme de las fuerzas aplicadas, reduce la contracción y minimiza los asentamientos del suelo (Angulo & Zavaleta, 2021).

#### 2.3.4.2. Estabilización física

Técnica que consiste en mezclar diferentes tipos de suelos para mejorar las propiedades del material resultante, sin la adición de agentes químicos. Este método busca combinar suelos con características complementarias para obtener una mezcla que cumpla con los requisitos específicos de un proyecto de ingeniería. Por ejemplo, al mezclar un suelo arcilloso, que posee alta cohesión, pero baja permeabilidad, con un suelo arenoso, que tiene alta permeabilidad, pero baja cohesión, se puede obtener una mezcla equilibrada que optimice las propiedades deseadas (Montejo et al., 2018).

#### 2.3.4.3. Estabilización química

Se hace referencia a la incorporación de ciertos agentes químicos, tanto en forma líquida como sólida, como el cemento Portland, la cal, las cenizas, entre otros. Mediante esta tecnología se busca inducir una reacción química entre el suelo y los estabilizantes para modificar sus características. De esta manera, se pretende mejorar su capacidad para resistir las cargas dinámicas a las que estará expuesto a lo largo de su vida útil (Angulo & Zavaleta, 2021).

**Tabla 4**

*Estabilizadores para Suelos Finos*

Clase de suelo	Tipos de estabilizador	Restricción en LL e IP suelo
CH, CL, MH, ML, OH,	Cemento portland	LL <40
OL, ML-CL	Cal	IP <20
		IP ≥12

Nota: CH, CL arcilla de alta y baja plasticidad, MH y ML limo de alta y baja plasticidad, OH y OL suelo orgánico de baja y alta plasticidad, ML-CL limo arcilloso, LL se refiere al límite líquido, y LP representa el límite plástico. (USACE, 1984) citado por (Angulo & Zavaleta, 2021).

### **2.3.5. Cal para el tratamiento de suelos**

La cal es un material integrado por óxido de calcio (CaO) o hidróxido de calcio (Ca(OH)<sub>2</sub>), que se usa para mejorar el suelo en aplicaciones de ingeniería. La cal, un producto químico natural de origen mineral, deriva de la roca caliza, la cual es un material sedimentario compuesto principalmente por lodos cargados de carbonato de calcio (CaCO<sub>3</sub>). Conocida por ser uno de los agregados prevalentes en la naturaleza, la cal despierta interés por su origen geológico y su amplia gama de aplicaciones industriales y domésticas (Ccansaya & Tello, 2022).

#### **2.3.5.1. Procedencia de la cal**

La cal se alcanza a través de la calcinación de rocas calizas o dolomitas. Estas rocas son ricas en carbonato de calcio (CaCO<sub>3</sub>) o carbonato de magnesio (MgCO<sub>3</sub>), que son los principales componentes de la cal (Ayre, 2020).

Para la obtención de la cal comienza con la extracción de las rocas calizas o dolomitas de canteras o minas, luego, se trituran y muelen para reducir el tamaño de las rocas a partículas más pequeñas. Posteriormente, las partículas de rocas se someten a un proceso de calcinación en hornos especiales. Durante la calcinación, las rocas calizas o dolomitas se calientan a altas temperaturas (aproximadamente 900-1000 °C) en presencia de aire o gases, lo que provoca la descomposición del carbonato de calcio o magnesio en óxido de calcio (CaO) o óxido de magnesio (MgO). Esto se conoce como reacción de calcinación. Finalmente, el producto resultante de la calcinación se enfría y se pulveriza para obtener la cal en forma de polvo o gránulos (Culqui, 2017).

#### **2.3.5.2. Tipos de cal**

Según la NTP 334.125 (2021) los únicos tipos de cal para estabilización de suelos son la cal viva e hidratada.

**Cal viva (óxido de calcio)** También conocida como cal rápida o cal activa, se obtiene a través del proceso de calcinación de rocas calizas o dolomitas. Después de que el carbonato de calcio (en la piedra caliza como  $\text{CaCO}_3$ ) experimenta una transformación química por calcinación, se convierte en óxido de calcio ( $\text{CaO}$ ) y magnesio ( $\text{MgO}$ ). Estas formas de cal generan una reacción exotérmica al entrar en contacto con el agua, lo que se conoce como hidratación (Rios & Solano, 2021).



**Cal hidratada (cal apagada – hidróxido de calcio):** También conocida como cal apagada, se produce mediante la reacción de la cal viva con agua. Esta reacción química produce un polvo fino que es menos reactivo que la cal viva, pero aún tiene propiedades beneficiosas en aplicaciones de construcción (Fonseca, 2023).



## Tabla 5

### *Contraste entre Cal Viva y Cal Hidratada*

CaO – Cal viva	Ca(OH) <sub>2</sub> – Cal hidratada
Apariencia	Polvo (generalmente pasa la malla 100)
Trozo (3/4” – 2 1/2”)	
Polvo (material pulverizado)	
Características generales	Características generales
Reacción violenta cuando se combina con agua (reacción exotérmica).	No reacciona con el agua
Absorbe agua del ambiente (se hidrata)	Absorbe CO <sub>2</sub> del ambiente (Carbonatación)
Soluciones alcalinas	Soluciones alcalinas
Densidad 900 – 1200 kg/m <sup>3</sup>	Densidad 450 – 640 kg/m <sup>3</sup>
Almacenamiento	Almacenamiento
Recipiente hermético con tiempo limitado corto (semanas/días)	Recipiente hermético con tiempo limitado corto
Saco de plástico	Saco de papel kraff
Lejos de fuentes de calor agua/papel o tela (por la generación de calor)	

Nota: (Ccansaya & Tello, 2022).

### 2.3.5.3. Propiedades de la cal

El comportamiento de la cal depende de su densidad, granulometría y reactividad, siendo sus principales propiedades: (Bauzá, 2015)

**Tabla 6**

#### *Propiedades de la Cal*

Propiedad	Valores / Características	
	Cal viva	Cal apagada
Densidad aparente	700 - 1.200 kg/dm <sup>3</sup>	300 - 1.000 kg/dm <sup>3</sup>
Peso específico del óxido de calcio puro	> 3 kg/dm <sup>3</sup> (porosidad nula)	
Granulometría de cales comerciales	75 - 95% < 200 μm	
Solubilidad del Ca(OH) <sub>2</sub> en agua destilada	0.7 - 1.8 g/l (disminuye con la temperatura)	
pH de las soluciones de cal	11 - 12.45	
Carbonatación de la cal	Reacciona con CO <sub>2</sub> , afectando su eficacia	
Reacción con sílice y alúmina	Puede formar silicatos y aluminatos no deseados	

Nota: Adaptado de (Bauzá, 2015).

### 2.3.5.4. Requisitos que, debe cumplir la cal para su uso en el mejoramiento de suelos

Según Hernández (2021) señala que la cal viva utilizada debe ser tamizada con una malla de 1", reteniendo solo el 25% en una malla de ¼" y no más del 15% en una malla No. 50. Respecto a la cal hidratada, no debe contener más del 3% de partículas retenidas en la malla No. 100 y no más del 10% en una malla No. 200

**Tabla 7**

#### *Requerimientos Técnicos de la Cal*

	Requisitos técnicos	Mínimo/Máximo	Cal
<b>Químicos</b>	Óxidos de calcio y magnesio	≥90%	Cal viva
	Dióxido de carbono (punto de manufactura)	≤ 5%	e
	Humedad libre (punto de manufactura)	≤ 2%	hidratada
<b>Físicos</b>	% retenido en el tamiz N° 30 (590 um)	≤ 3%	Cal
	% de retenido en el tamiz N.º 200 (75um)	≤ 25%	hidratada
	Pasar completamente el tamiz de 1"	Finura	
	Aumento de temperatura de 30 °C en 20 min	Temperatura	Cal viva
	No más de 10 % de residuo	Residuos	

Nota: NTP 334.125 (2021).

### **2.3.5.5. Tratamiento de suelos con cal**

Al añadir cal a materiales de baja calidad con el fin de mejorarlos para su uso en pavimentación, se produce un aumento en el límite líquido y disminución en el índice plástico, dependiendo de la cantidad utilizada. Esta técnica también aumenta la estabilidad volumétrica de los materiales cohesivos, así como su resistencia a compresión y capacidad de soporte (CBR). Es importante tener en cuenta que no todos los tipos de cal son adecuados para la estabilización de suelos, al igual que no todos los suelos arcillosos o blandos pueden ser estabilizados con cal, por ello, primero se debe verificar su mejoramiento mediante pruebas de laboratorio con los porcentajes óptimos (Hernández, 2021).

### **2.3.5.6. Metodologías para determinar la dosificación de cal para estabilizar el suelo**

#### **a) Metodología propuesta por la National Lime Association (NLA, 2006)**

La estabilización del suelo con cal se desarrolla en siete pasos según la publicación “Mixture Design and Testing Procedures for Lime Stabilized Soil” (NLA, 2006). Primero, se analiza la granulometría e índice de plasticidad del suelo para determinar su idoneidad para la estabilización (Paso 1). Luego, se establece el porcentaje óptimo de cal necesario, conforme a la norma ASTM D 6276 (Paso 2). Posteriormente, se determinan la humedad óptima y la densidad seca máxima mediante el ensayo Proctor (Paso 3). En el Paso 4, se preparan muestras para ensayos de resistencia a compresión no confinada. Estas muestras se someten a curado y acondicionamiento para simular condiciones de campo (Paso 5). Finalmente, se evalúa la resistencia a la compresión no confinada asegurando su durabilidad ante ciclos de hielo-deshielo y exposición prolongada al agua o variaciones de temperatura (Paso 6). Estos pasos garantizan la correcta aplicación de la cal en la estabilización del suelo, optimizando su resistencia.

**b) Metodología propuesta por en la norma CE.020 (MVCS, 2012)**

La normativa establece que la cantidad de cal a utilizar en la dosificación depende del tipo de suelo, recomendando entre 2% y 8% en peso. Así mismo, se sugiere determinar el porcentaje óptimo de cal en laboratorio, calculando inicialmente en función del pH, posteriormente, se debe realizar ensayos de compresión simple no confinada y registrar los valores obtenidos para asegurar su resistencia y capacidad de soporte para que el tratamiento del suelo sea aceptado (MVCS, 2012).

**c) Metodología propuesta en el manual de carreteras: Suelos, geología, geotecnia y pavimentos**

El MTC (2014) no incluye un procedimiento específico para calcular la cantidad ideal de cal a mezclar con un suelo arcilloso. Sin embargo, propone determinadas proporciones de cal a añadir según el tipo de suelo.

**Tabla 8**

*Porcentaje de Cal, según Clasificación*

<b>Tipo</b>	<b>Cal (%)</b>	
Mezclas de grava y arcilla	2	4
Suelos altamente arcillosos	5	10

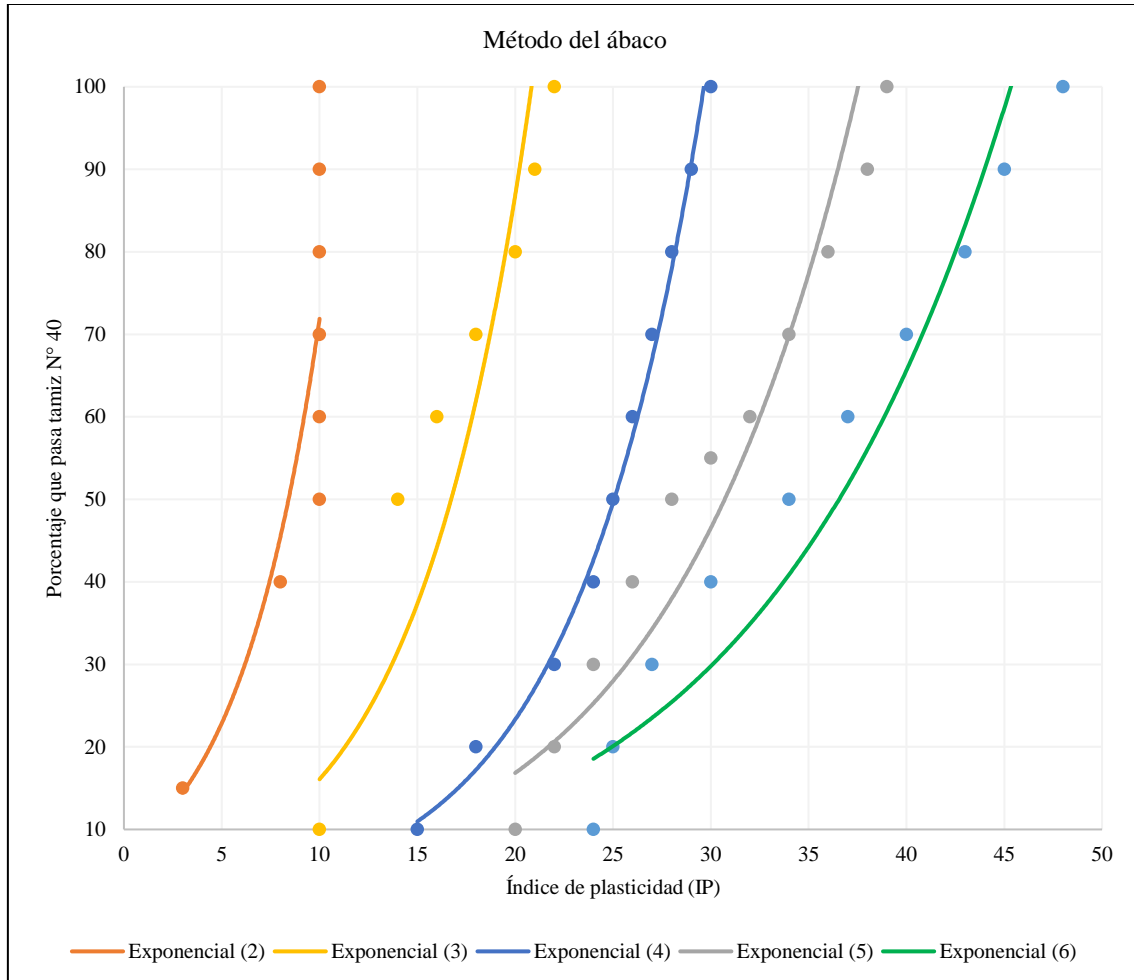
Nota: (MTC, 2014).

**d) Metodología propuesta en el manual de ensayo de materiales**

En el manual de ensayos de materiales del MTC (2016) se presenta el método del MTC E 1108 “Resistencia de mezclas de suelo cal”, donde la dosificación adecuada se determina por medio de un ábaco que, relaciona el índice de plasticidad con el porcentaje que pasa por el tamiz de 425 µm (Nº 40), mismo proceso que, se describe en la NTP 339.167 (2015).

**Figura 12**

*Ábaco Representativo de Cantidades Recomendadas de cal para la Estabilización de Sub Rasantes y Bases de Acuerdo al MTC (2016) y la NTP 339.167 (2015)*



(\*) No se debe emplear esta gráfica para materiales que tengan menos del 10% que pasa el tamiz N° 40 y para materiales no cohesivos con IP menor que 3.

(\*\*) En cal relativamente pura, el 90% o más generalmente es hidróxido de Ca o de Mg y el 85% o más pasa tamiz N° 200. Los porcentajes mostrados son para estabilizar subrasantes y bases para las cuales son deseables efectos duraderos. A veces se obtienen resultados temporalmente satisfactorios con el empleo de la mitad de los porcentajes mencionados. Referencia a la resistencia por efecto cementante está implícita cuando se emplean términos como efectos a "largo plazo" y resultados temporales.

Nota: La imagen se ha tomado del MTC (2016), no obstante, la misma se encuentra en la NTP 339.167 (2015).

### **2.3.6. Curado del suelo - cal**

El curado del suelo-cal en subrasantes es un proceso fundamental para garantizar que la reacción química entre la cal y el suelo ocurra de manera adecuada, permitiendo la carbonatación y el endurecimiento de la mezcla. Este procedimiento consiste en mantener el suelo húmedo durante un período determinado, generalmente mediante riego o humectación periódica, evitando la pérdida de humedad que podría inhibir la reacción química y afectar la calidad del material estabilizado. Un curado adecuado es esencial para que el suelo adquiera resistencia, estabilidad y capacidad portante, reduciendo el riesgo de fracturas, agrietamientos y debilitamiento estructural a largo plazo (Duré et al., 2018).

#### **2.3.6.1. Tiempo de curado**

El tiempo de curado necesario puede variar dependiendo de varios factores, como el tipo de suelo, la cantidad de cal utilizada y las condiciones ambientales. En general, el curado puede durar desde unos pocos días hasta varias semanas. El MTC (2015) recomienda como mínimo 3 días de curado. En general, se recomienda un tiempo de curado mínimo de al menos 7 a 14 días para permitir que la reacción química entre la cal y el suelo se complete adecuadamente.

#### **2.3.6.2. Agua para curado**

El agua debe ser limpia y libre de sustancias alcalinas y otras impurezas perjudiciales. Su pH, debe estar entre 5.5 a 8.0, y el contenido de sulfatos (SO<sub>4</sub>) no debe exceder los 3 ppm. Se considera apropiada el agua potable sin clorar y puede emplearse sin realizar pruebas de calificación previas (MTC, 2015).

#### **2.3.6.3. Temperatura del agua para curado**

No hay una temperatura específica del agua recomendada para el curado de suelo-cal, pero se sugiere usar agua a temperatura ambiente o ligeramente

fresca (18 °C a 24 °C). Esto se debe a que el agua caliente puede acelerar la reacción química entre la cal y el suelo, lo que puede llevar a un endurecimiento rápido y desigual del material. Por otro lado, el agua fría puede ralentizar la reacción y afectar la eficacia del curado. Por lo tanto, es recomendable utilizar agua a temperatura ambiente o ligeramente fresca para asegurar un curado adecuado y uniforme del suelo-cal (Duré et al., 2018).

#### **2.3.6.4. Volumen de agua para curado**

Puede variar, pero generalmente se recomienda mantener el suelo húmedo durante todo el proceso de curado, se debe evitar tanto la escasez como el exceso de agua para garantizar un curado adecuado (Duré et al., 2018).

#### **2.3.6.5. Fraguado del suelo - cal**

Para completar el ciclo, se lleva a cabo el proceso de fraguado de la cal, que implica el secado de la cal hidratada. Durante la absorción de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) de la atmósfera, conocida como carbonatación, se produce una reacción química que conduce a la petrificación del compuesto. Esto resulta en un material con características pétreas similares a la roca caliza, aunque de menor resistencia (Castañeda, 2019).

Es importante que la mezcla de suelo y cal fragüe lo suficiente para permitir la reacción química que altera las propiedades del material. La duración de este período de fraguado debe basarse en la evaluación de ingeniería y variará según el tipo de suelo. Normalmente, el período de fraguado oscila entre 1 y 7 días. Una vez completado el fraguado, el suelo deberá mezclarse nuevamente antes de la compactación. En el caso de suelos con bajos Índices de Plasticidad, o cuando el objetivo es el secado o la modificación, generalmente no es necesario el fraguado (Rios & Solano, 2021).

### **2.3.7. *Temperatura ambiental de curado del suelo-cal***

La temperatura ambiental de curado del suelo-cal se refiere a la temperatura del entorno en el que se encuentra una mezcla de suelo y cal durante el periodo en el que ocurren las reacciones químicas de estabilización y fortalecimiento tras la aplicación de la cal al suelo. Este periodo de tiempo, conocido como curado, es crítico para el desarrollo de las propiedades deseadas del suelo tratado. Durante el curado, la mezcla de suelo-cal experimenta procesos de hidratación, carbonatación y reacciones puzolánicas que mejoran la capacidad de carga, disminuyen la plasticidad y aumentan la resistencia y durabilidad del suelo. La temperatura ambiental durante este proceso influye directamente en la velocidad y efectividad de estas reacciones químicas, y, por lo tanto, en la calidad final del tratamiento del suelo (Duré et al., 2018).

La temperatura ambiental durante el curado de mezclas suelo-cal es un factor crítico que influye significativamente en la eficacia de la estabilización y en el desarrollo de las propiedades mecánicas del material tratado. La cal, al mezclarse con el suelo, inicia reacciones químicas de hidratación, carbonatación y reacciones puzolánicas que contribuyen a mejorar la capacidad de carga, reducir la plasticidad y aumentar la resistencia a largo plazo del suelo. Estas reacciones son sensibles a la temperatura ambiental, y su velocidad y efectividad varían con cambios en esta (Duré et al., 2018).

#### **2.3.7.1. Rango óptimo de temperatura**

La temperatura ambiental de curado del suelo-cal puede variar dependiendo del lugar. En general, se recomienda realizar el curado del suelo-cal a temperaturas moderadas, entre 10°C y 30°C. Estas temperaturas permiten una reacción química adecuada entre la cal y el suelo, así como un endurecimiento

efectivo de la mezcla. Es importante evitar temperaturas extremas, ya que pueden afectar negativamente el proceso de curado y la calidad del suelo estabilizado. Si las temperaturas son demasiado bajas, la reacción puede ralentizarse o detenerse, y si las temperaturas son demasiado altas, el curado puede ser demasiado rápido y resultar en un endurecimiento desigual o una menor resistencia. Por lo tanto, es recomendable realizar el curado del suelo-cal en condiciones de temperatura moderada para obtener los mejores resultados (Duré et al., 2018).

Sin embargo, existe discrepancia entre autores sobre el efecto de la temperatura ambiental durante el curado del suelo. Cherian et al. (2016) argumentan que, temperaturas elevadas ayudan a dar mayor resistencia al suelo – cal, mientras que, otros autores como, Das et al. (2023) argumentan que, si bien climas fríos podrían reducir inicialmente la capacidad del suelo – cal, este sería insignificante al incrementarse el porcentaje de cal, o al pasar por acciones de secado después de ser sometida a climas fríos.

#### **2.3.7.2. Consideraciones prácticas**

Tiempo de curado: El período de curado recomendado puede variar dependiendo de la temperatura ambiental. En condiciones más frías, puede ser necesario extender el período de curado para permitir que las reacciones alcancen su potencial completo (Duré et al., 2018).

Ajustes en la mezcla: En algunos casos, puede ser beneficioso ajustar la proporción de cal en la mezcla o agregar aditivos que puedan acelerar las reacciones químicas a temperaturas más bajas o ayudar a retener la humedad a temperaturas más altas (Duré et al., 2018).

### 2.3.8. Comportamiento mecánico del suelo tratado con cal

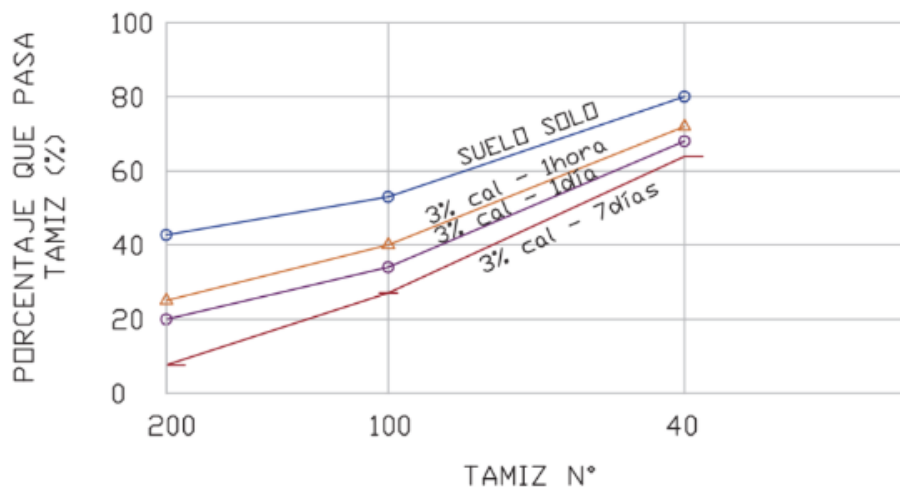
El comportamiento mecánico del suelo tratado con cal se refiere a los cambios en las propiedades del suelo que ocurren como resultado de la adición de cal. El tratamiento con cal puede modificar la estructura del suelo, aumentar su capacidad de carga, mejorar su resistencia a la compresión y reducir su capacidad de expansión, entre otros efectos (Sánchez, 2023). Por tanto, el comportamiento mecánico del suelo tratado con cal se ve mejorado significativamente gracias a las propiedades estabilizadoras de la cal, que mejoran su resistencia y estabilidad.

#### 2.3.8.1. Efectos de la cal hidratada en suelos arcillosos

Las reacciones químicas entre el suelo y la cal hidratada generan mejoras significativas en sus propiedades mecánicas y de estabilidad. La reducción de humedad ocurre porque la cal hidratada disminuye la relación agua/peso del suelo, reduciendo la humedad total en aproximadamente 0.3% por cada 1% de cal agregada. Asimismo, la modificación de la granulometría se debe a la floculación, que aglomera las partículas y reduce la cantidad de finos (Castañeda, 2019).

**Figura 13**

*Efecto de la Cal en la Granulometría del Suelo*

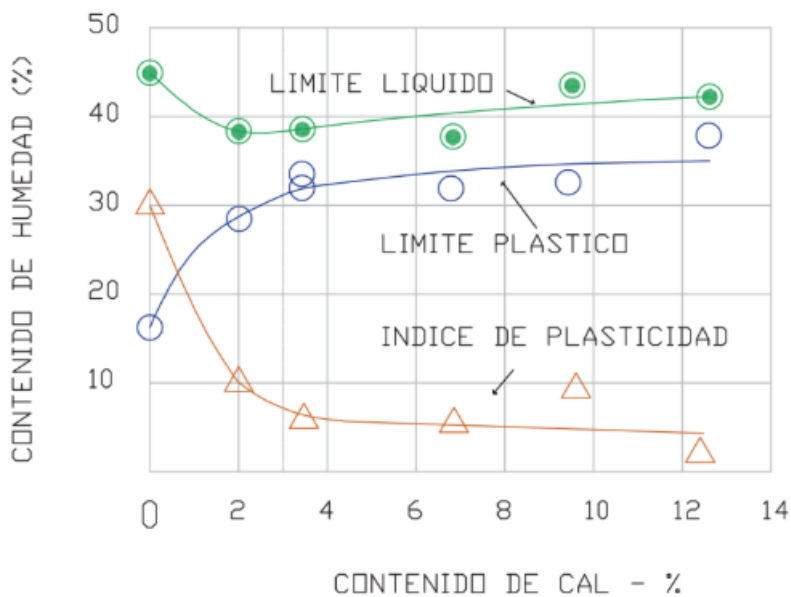


Nota: (Montejo et al., 2018).

Además, la incorporación de cal incrementa el límite plástico sin afectar significativamente el límite líquido, lo que disminuye el índice de plasticidad y cambia la textura del suelo, haciéndolo menos pegajoso y más rígido y desmenuzable (Castañeda, 2019).

**Figura 14**

*Efecto de la Cal en los Límites de Consistencia del Suelo*



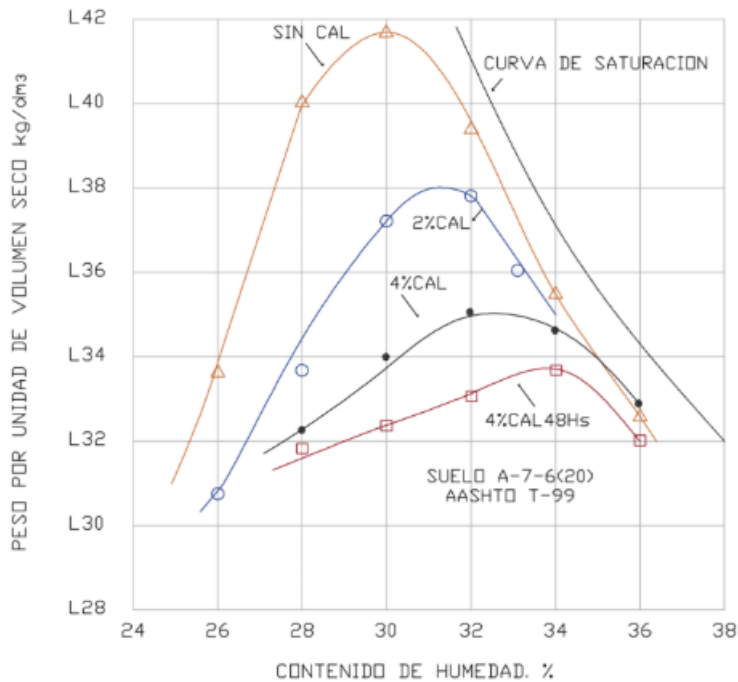
Nota: (Montejo et al., 2018).

La cal provoca una floculación de las partículas de arcilla, formando agregados de mayor tamaño y alterando la granulometría del suelo. Aunque esta reacción puede disminuir la densidad seca máxima alcanzable durante la compactación, mejora la trabajabilidad del suelo y su capacidad para soportar cargas (Montejo et al., 2018).

Las características de compactación se ven modificadas, con la curva de compactación desplazándose hacia abajo y a la derecha en comparación con el suelo natural, lo que reduce la densidad seca máxima y aumenta la humedad óptima, disminuyendo así la energía necesaria para la compactación (Castañeda, 2019).

**Figura 15**

*Efecto de la Cal en la Compactación del Suelo*



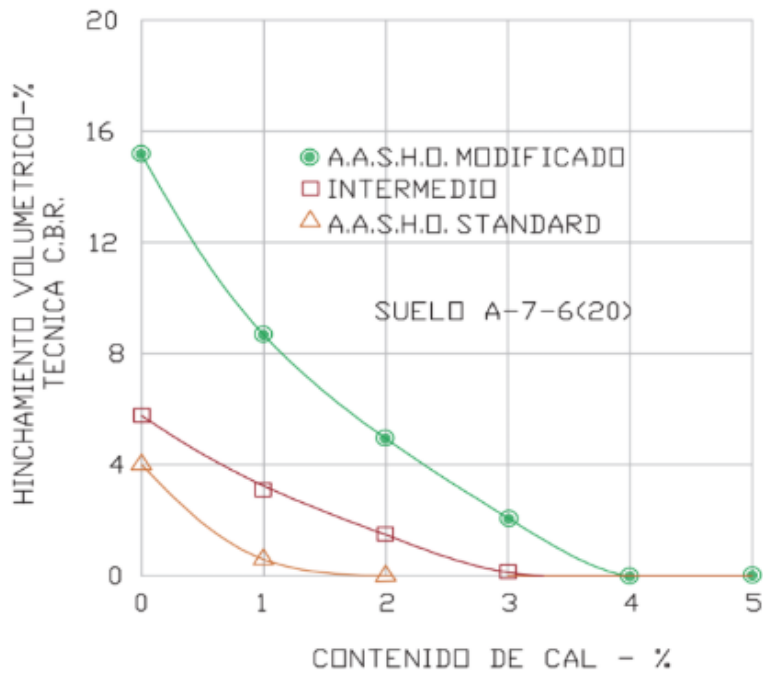
Nota: (Montejo et al., 2018).

La estabilización con cal reduce significativamente el potencial de expansión de suelos arcillosos al disminuir la actividad de las partículas de arcilla y controlar los cambios volumétricos asociados a variaciones en el contenido de humedad (Montejo et al., 2018).

La mayor trabajabilidad del suelo estabilizado con cal se debe a su transformación de un estado pegajoso a más rígido y desmenuzable, lo que facilita su manipulación y compactación, reduciendo tiempos y costos. Además, la reducción del potencial de cambios volumétricos estabiliza la composición del suelo y previene el hinchamiento, evitando la formación de grietas en el pavimento. Por otro lado, la resistencia a medio y largo plazo mejora, lo que se refleja en valores más altos de pH y en el ensayo CBR, indicando una mayor resistencia al esfuerzo cortante (Amaya et al., 2019).

**Figura 16**

*Efecto de la Cal en el Hinchamiento Volumétrico del Suelo*



Nota: (Montejo et al., 2018).

**Figura 17**

*Efecto de la Cal en el CBR del Suelo*

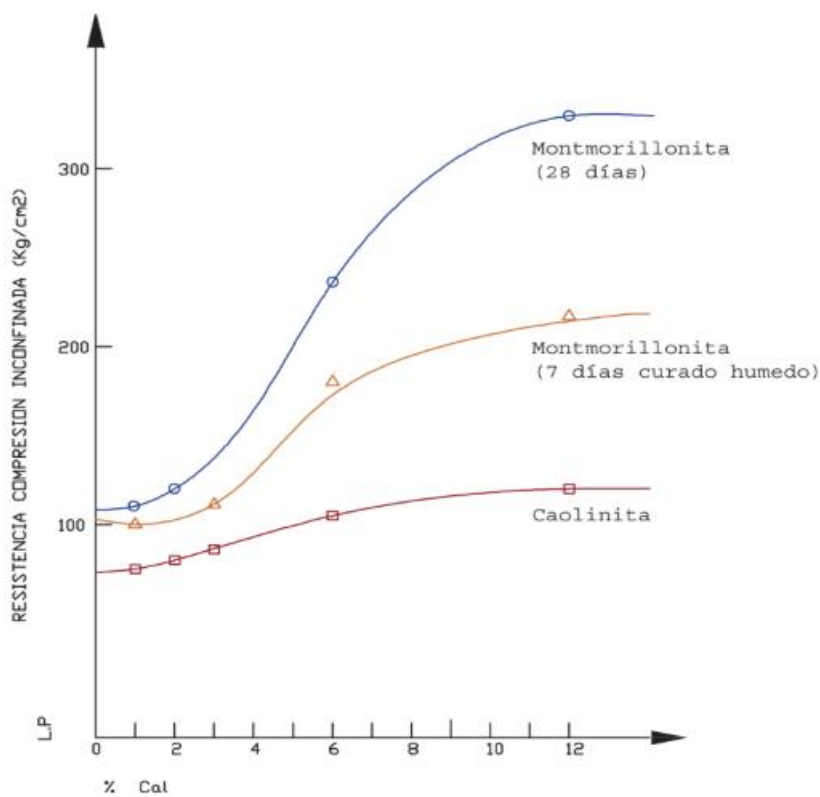


Nota: (Castañeda, 2019).

La reacción puzolánica entre la cal y los minerales del suelo conduce a la formación de compuestos cementantes que incrementan la resistencia a la compresión no confinada. Este aumento en la resistencia mejora la estabilidad y durabilidad del suelo tratado, haciéndolo más adecuado para soportar cargas estructurales (Montejo et al., 2018).

**Figura 18**

*Efecto de la Cal en la Resistencia a Compresión no Confinada del Suelo*



Nota: (Montejo et al., 2018).

## 2.4. Hipótesis

### 2.4.1. Hipótesis general

El comportamiento mecánico del suelo tratado con cal sometido a diferentes temperaturas durante el curado, subrasante de la carretera Campamento Túnel Conchano – Sivingan Bajo adquiere un CBR al 95% MDS mayor a 6% y más de 345 kPa de resistencia a compresión no confinada.

#### **2.4.2. Hipótesis específicas**

- 1) La subrasante de la carretera Campamento Túnel Conchano – Sivingan Bajo requiere estabilización debido a que su CBR es menor a 6%.
- 2) El porcentaje de cal adecuado para el tratamiento del suelo de la subrasante de la carretera Campamento Túnel Conchano – Sivingan Bajo, en base al Manual de Ensayos de Materiales (MTC, 2016) y el Manual de Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos (MTC, 2014) es 5%.
- 3) La capacidad de soporte (CBR) del suelo tratado con cal a temperaturas de 4° C, 16 °C, 24 °C y 30 °C durante el curado con agua potable sin clorar se incrementa significativamente a mayor temperatura.
- 4) La resistencia a compresión no confinada del suelo tratado con cal a temperaturas de 4° C, 16 °C, 24 °C y 30 °C durante el curado con agua potable sin clorar incrementa significativo a mayor temperatura.
- 5) Las propiedades mecánicas del suelo natural y tratado con cal sometido a diferentes temperaturas durante el curado, presentan diferencias significativas.

#### **2.5. Operacionalización de variables**

##### **2.5.1. Variable independiente: Temperaturas durante el curado**

Temperatura a la que se expone el suelo tratado con cal durante el proceso de curado. El curado puede consistir en dejar que el suelo repose durante un período de tiempo determinado para permitir la reacción entre la cal y el suelo y mejorar sus propiedades, siendo así el curado se realiza por 7 días, donde se mantiene al suelo húmedo (teniendo ciertos parámetros fijos como: volumen de agua, n° de veces al día que se cura, tipo de agua utilizada, tiempo de curado), debido a que, la única variante debe ser la temperatura de exposición de las probetas durante el curado (Tunono & Fall, 2023).

Siendo así, se mide mediante el uso de termómetros ambientales que se colocan en diferentes puntos del suelo-cal durante el proceso de curado. Estos dispositivos registran la temperatura y permiten evaluar si se alcanzan las condiciones óptimas de curado en términos de la temperatura requerida para la reacción química entre la cal y el suelo (Tunono C. , 2022).

### **2.5.2. Variable dependiente: Comportamiento mecánico del suelo tratado con cal**

Cambios en las propiedades mecánicas del suelo después de ser tratado con cal, estas propiedades incluyen principalmente, la resistencia a la compresión y la capacidad de soporte (Sánchez, 2023). El comportamiento mecánico del suelo tratado con cal describe cómo la cal en el suelo afecta su capacidad para soportar cargas, resistir deformaciones y mantener sus propiedades mecánicas a corto plazo bajo condiciones ambientales cambiantes.

Se mide a través de pruebas de laboratorio, como el ensayo de compresión uniaxial y el ensayo de capacidad de soporte (CBR), donde se evalúa la resistencia y el comportamiento del suelo tratado con cal bajo diferentes condiciones de temperatura de curado (MTC, 2016).

### **2.5.3. Variable mediadora: Tratamiento del suelo con cal**

Proceso de incorporar cal al suelo natural con el fin de mejorar sus propiedades mecánicas. Conceptualmente, implica la aplicación controlada de cal, ya sea en forma de cal hidratada, al suelo con el objetivo de modificar sus características para cumplir con ciertos requisitos de ingeniería (Sánchez, 2023).

Operacionalmente se define como la cantidad de cal hidratada aplicada al suelo para la formulación de probetas suelo-cal y seguida de un periodo de curado de 7 días a temperatura ambiente (18 °C) para la muestra estándar, y temperaturas controladas para la muestra experimental.

**Tabla 9**

*Matriz de Operacionalización de Variables en Estudio*

<b>Variables</b>	<b>Definición conceptual</b>	<b>Dimensiones</b>	<b>Definición operacional</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Ítem</b>		
VI Temperaturas durante el curado	Temperatura a la que se expone el suelo tratado con cal durante el proceso de curado (Tunono & Fall, 2023).	Temperatura durante el curado por 7 días	Consistir en dejar que el suelo repose durante 7 días a temperaturas diferentes (MTC, 2015).	4	°C		
				16	°C		
				24	°C		
				30	°C		
				Temperatura ambiental	°C		
Variable mediadora Tratamiento del suelo con cal	Proceso de incorporar cal al suelo natural para mejorar sus propiedades mecánicas. Conceptualmente, implica la aplicación controlada de cal, ya sea en forma de cal hidratada, al suelo con el objetivo de modificar sus características para cumplir con ciertos requisitos de ingeniería (Sánchez, 2023)	Cal	Componente químico que permite la estabilización del suelo de la subrasante por medio de su adición en peso.	Densidad aparente	g/cm3		
				Finura	%		
				Porcentaje de adición	%		
		Suelo de la subrasante (propiedades)	Comportamiento del suelo en cuanto a su resistencia, compresibilidad, capacidad de carga, entre otros aspectos.			Humedad	%
						Granulometría	%
						LL	%
						LP	%
						IP	%
						OCH	%
						MDS	g/cm3
						CBR	%
						Expansión	%
						Resistencia a compresión no confinada	Kg/cm2
VD Comportamiento mecánico del suelo tratado con cal	Características mecánicas del suelo tratado con cal. Se refiere a los cambios en el suelo después de ser tratado con cal. Estas propiedades pueden incluir la resistencia a la compresión, la capacidad de soporte, la plasticidad, entre otras (Sánchez, 2023).	Tratamiento del suelo con cal	Consiste en la adición de cal al suelo con el fin de mejorar sus propiedades y mejorar su proceso de compactación. Para determinar la dosificación adecuada de cal en el suelo.	LL	%		
				LP	%		
				IP	%		
				Porcentaje que pasa tamiz 425 um	%		
				OCH	%		
				MDS	g/cm3		
		Suelo cal a diferentes temperaturas de curado	Consiste en determinar las propiedades mecánicas del suelo cal sometido a diferentes temperaturas de curado			CBR	%
						Expansión	%
						Resistencia a compresión no confinada	Kg/cm2
						CBR al 95%	%
						MDS	%
						CBR al 100%	%
						MDS	%
Resistencia a compresión no confinada	Kg/cm2						

## CAPÍTULO III.

### MARCO METODOLÓGICO

#### 3.1. Tipo y nivel de investigación

La investigación es de enfoque cuantitativo porque busca obtener datos numéricos y medibles para analizar y cuantificar el impacto de las diferentes temperaturas durante el curado en el suelo tratado con cal (Vega-Malagón et al., 2014). Con este enfoque se buscó obtener resultados cuantificables y generalizables para determinar el comportamiento del suelo tratado con cal ante variaciones de temperatura del entorno ambiental durante el curado.

Además, dicha investigación fue considerada de tipo aplicada, porque tuvo como objetivo aplicar los conocimientos obtenidos en la práctica (Tamayo, 2007), específicamente en el suelo de la subrasante de la carretera Campamento Túnel Conchano – Sivingan Bajo de Chota con la finalidad de proporcionar información práctica y aplicable que permita mejorar la calidad de la subrasante mediante la aplicación de cal, pero también analizar el efecto del cambio de temperatura del entorno durante el periodo de curado en las propiedades mecánicas del suelo de la subrasante.

En cuanto al nivel explicativo, la investigación busco explicar y comprender los mecanismos y fenómenos relacionados con el comportamiento del suelo tratado con cal sometido a diferentes temperaturas durante el curado, se buscó explicar cómo afecta la temperatura al proceso de curado y cómo esto ha influido en las propiedades del suelo tratado con cal (Cauas, 2015).

Por último, la investigación se considerada de diseño cuasiexperimental porque se realizaron diferentes pruebas y análisis en muestras de suelo tratado con cal sometidas a diferentes temperaturas del entorno, con un grupo de control a

temperatura ambiente, pero siendo la muestra definida por elección y no por proceso estadístico (Bono, 2012). Se evaluaron las propiedades de cada muestra y se buscó establecer relaciones sobre la reacción mecánica del suelo tratado con cal en diferentes temperaturas del entorno durante el curado, por 7 días (periodo en el que, en campo, se llevaría a cabo el proceso de tratamiento del suelo – cal para la estabilización de la subrasante).

**Tabla 10**

*Tipo de Investigación*

<b>Criterio</b>	<b>Tipo de investigación</b>
Enfoque metodológico	Cuantitativa
Finalidad	Aplicada
Objetivos	Explicativa
Fuente de datos	Primaria
Control de diseño de la prueba	Cuasi Experimental
Temporalidad	Transversal (sincrónica)
Contexto donde sucede	Laboratorio, campo

Nota: (Grajales, 2000).

**3.2. Diseño de investigación**

El modelo cuasiexperimental de causación mediatizada es un diseño teórico que planteó que una variable (la variable mediadora) explica la relación entre la variable independiente y la variable dependiente, de forma que, los cambios originados en X influyen en Y solamente cuando tales cambios se dan a través de una variable mediadora o interviniente Z (Bono, 2012). En este caso, la variable independiente (X) fue la temperatura durante el curado del suelo, la variable mediadora fue el tratamiento del suelo con cal (Z), y la variable dependiente fueron el comportamiento mecánico (propiedades) del suelo tratado con cal (Y).

$$\begin{array}{rcc}
 & V & U \\
 & \downarrow & \downarrow \\
 GE: X & \rightarrow Z & \rightarrow Y \\
 GC: X & \rightarrow & Y
 \end{array} \tag{13}$$

Donde, GE grupo experimental en el que se aplica el modelo de causación mediatizada, y GC el grupo control en el que se aplica el modelo descriptivo simple, X variable independiente, Y variable dependiente, Z el tratamiento interviniente (cal), v es la dosificación óptima para el tratamiento con cal, y U son las características mecánicas del suelo.

### 3.3. Métodos de investigación

Se aplicó el método Taguchi, técnica experimental que busca optimizar el desempeño de un proceso en presencia de variables no controlables llamadas factores de ruido y variables controlables (Wu & Wu, 1997). En el contexto del estudio, como parte del método Taguchi se siguió una serie de pasos:

**Identificación de factores**, en este caso, se evaluó el comportamiento mecánico del suelo tratado con cal a diferentes temperaturas del entorno durante el curado.

**Selección de las variables de respuesta**, se definieron las características que se midieron para determinar la actuación mecánica del suelo de la capa base.

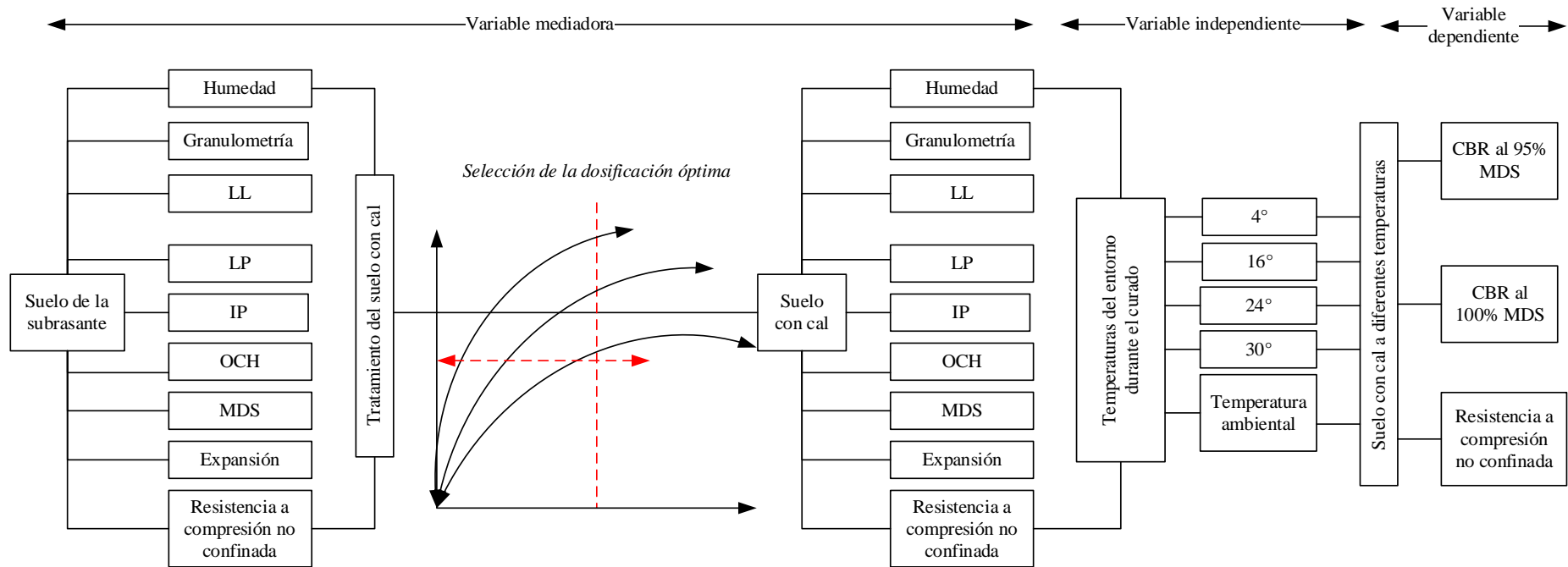
**Diseño del experimento**, se utilizó una matriz de diseño que permitió probar combinaciones de temperatura con una dosificación óptima de suelo – cal.

**Realización de los experimentos**, las probetas de suelo cal se mantuvieron en una habitación con control de temperatura por 7 días simulando diferentes temperaturas del entorno durante el curado.

**Análisis de los resultados**, se utilizó el análisis descriptivo e inferencial para analizar los resultados alcanzados con el desarrollo del estudio.

**Figura 19**

*Diseño de Investigación*



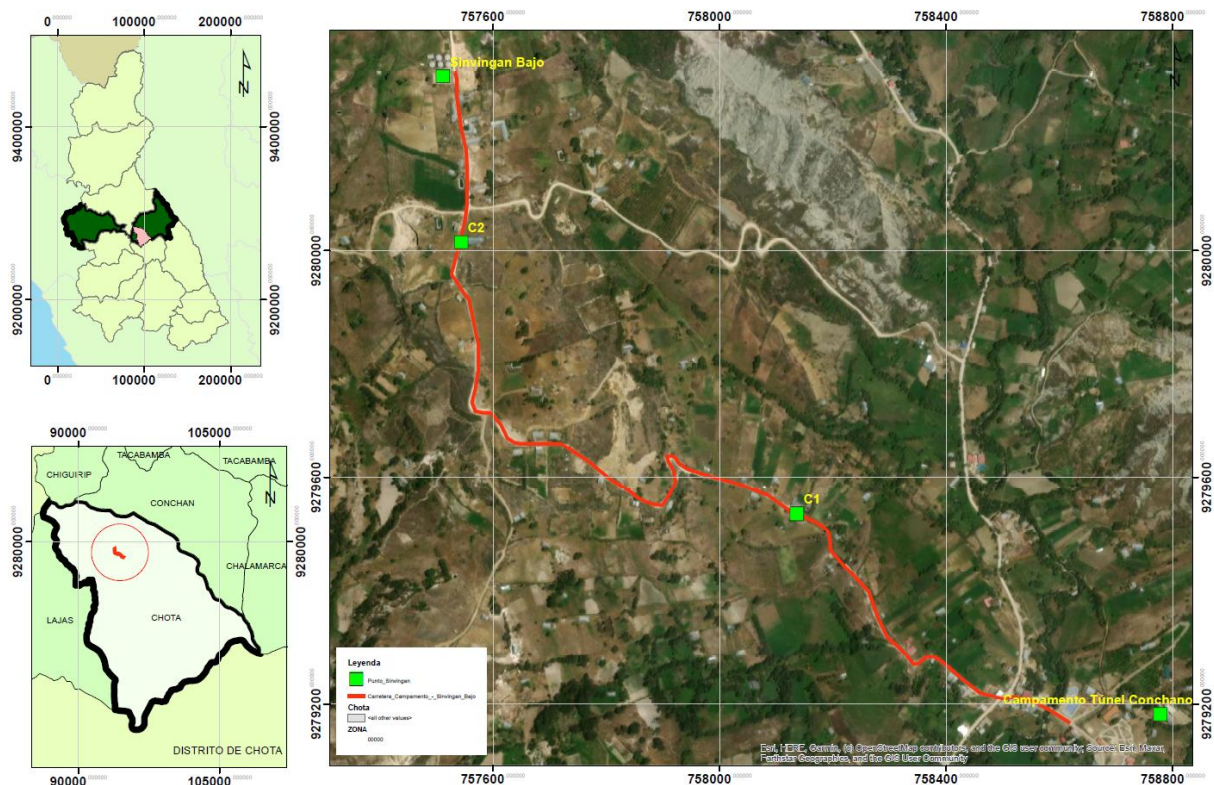
### 3.4. Población, muestra y muestreo

#### 3.4.1. Población

Suelos que conforman la subrasante de la carretera Campamento Túnel Conchano – Sivingan Bajo, Chota, de 2.12 km de extensión. Con coordenadas UTM WGS84 17S de punto de inicio en 758778.52 m E, 9279182.96 m S a 2307 msnm, y punto final en 757511.83 m E, 9280308.16 m S a 2455 msnm. Esto incluiría todos los suelos que podrían ser tratados con cal y sometidos a temperaturas de 4 °C, 16 °C, 24 °C, 30 °C durante el curado en laboratorio con suelo de esta carretera.

**Figura 20**

*Ubicación de la Carretera Campamento Túnel Conchano – Sivingan Bajo, Chota*



**Tabla 11**

*Ubicación de la Carretera Campamento Túnel Conchano – Sivingan Bajo, Chota*

Punto	Lugar	Coordenadas UTM WGS84 17S		Altitud (msnm)
		Este (m E)	Norte (m S)	
Inicio	Campamento Túnel Conchano	758778.52	9279182.96	2307
Final	Sivingan Bajo	757511.83	9280308.16	2455

### 3.4.2. Muestreo de suelo

El manual de suelos, geología, geotecnia y pavimentos del MTC (2014) especifica que, para carreteras de tercera clase solamente se debe realizar una calicata cada 2 km para realizar un ensayo CBR. Por ello, tomando en cuenta que la carretera Túnel Conchano – Sivingan Bajo de 2.12 km se clasifica como una carretera de tercera clase, solamente se debe realizar 1 calicata, pero se han realizado 2 calicatas, una a 500 m del punto de inicio y la otra a 500 m del punto de fin del tramo de estudio.

**Tabla 12**

*Ubicación de Calicatas en la Carretera Campamento Túnel Conchano – Sivingan Bajo, Chota*

Calicata	Este (m E)	Norte (m S)	Elevación (msnm)
1	758136.265	9279536.324	2364.83
2	757543.534	9280015.653	2459.05

### 3.4.3. Muestreo experimental

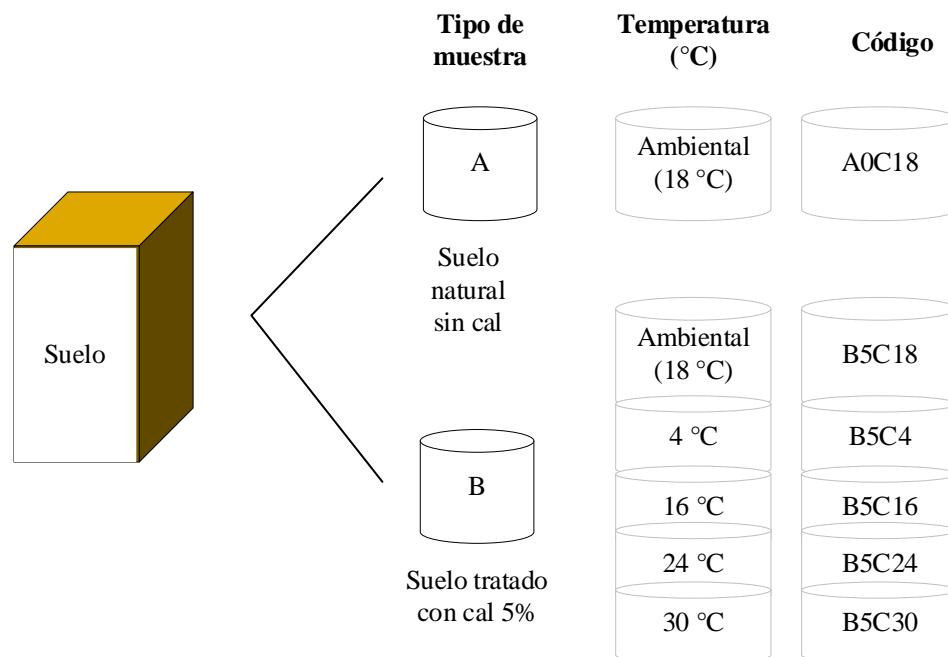
En Chota, Cajamarca la temperatura generalmente varía de 4 °C a 24 °C, no obstante, pocas veces pueden existir excepciones donde la temperatura llegue hasta los 30 °C, siendo los meses más calurosos de abril hasta mediados de octubre, mientras que, el resto de meses son fríos y con fuertes precipitaciones

pluviales (Weather Spark, 2023), por ello, las temperaturas de análisis definidos son 4 °C, 16 °C, 24 °C, 30 °C, y la temperatura ambiente para la muestra control.

El muestreo no probabilístico por conveniencia tomando como criterio la necesidad de contar con muestras en estado natural (A) y muestras tratadas con cal al 5% del peso del suelo seco (B) a temperatura ambiente y a temperaturas de 4 °C, 16 °C, 24 °C, 30 °C durante el curado por 7 días con agua potable sin clorar (el agua potable sin clorar estará a temperatura ambiente o ligeramente fresca). Se realizaron tres repeticiones en el suelo de dos calicatas.

**Figura 21**

*Tipos de Muestras de Suelo en Estado Natural (A) y Tratadas con Cal (B)*

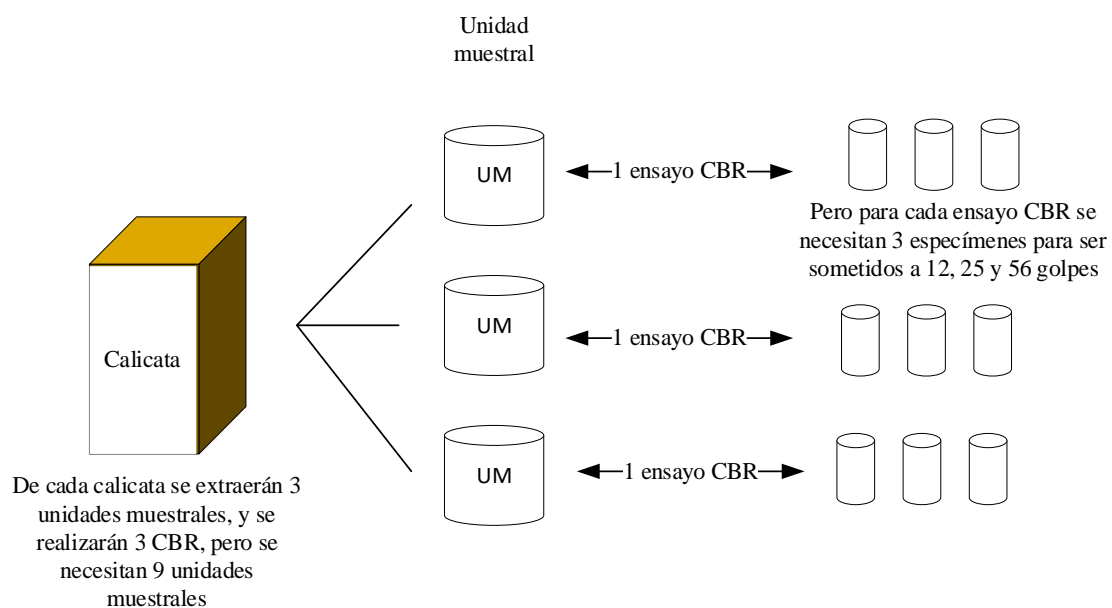


Se ha determinado el número de unidades muestrales (36) necesarias para la evaluación del suelo natural y el suelo tratado con 5% de cal en cuanto al peso de la tierra seca (el porcentaje de cal en peso se definirá con el ábaco 1, MTC E 1108 del Manual de Ensayos de Materiales (MTC, 2016)), en cuanto al suelo tratado con cal será sometido a temperaturas de 4 °C, 16 °C, 24 °C, 30 °C y

temperatura ambiente durante el curado del suelo-cal de la subrasante de la carretera Campamento Túnel Conchano – Sivingan Bajo, Chota, ruta en la que, se excavará una calicata tomando en consideración el manual del (MTC, 2014).

**Figura 22**

*Diseño Muestral: Número de Unidades Muestrales para Capacidad de Soporte (CBR) y Resistencia a Compresión no Confinada por Cada Temperatura del Entorno Durante el Curado*



**3.4.4. Muestra**

Muestras de suelo tomadas de la subrasante de la carretera Campamento Túnel Conchano – Sivingan Bajo, Chota, para realizar 36 probetas para ensayos CBR y 36 probetas para pruebas de resistencia a presión no confinada de acuerdo con el método de muestreo seleccionado para tratar el suelo con 5% de cal respecto al peso del suelo (el porcentaje de cal en peso se ha definido con el ábaco 1, MTC E 1108 del Manual de Ensayos de Materiales (MTC, 2016) para temperatura ambiente), donde el suelo tratado con cal se sometió a temperatura ambiente y temperaturas de 4 °C, 16 °C, 24 °C, 30 °C durante el curado del suelo-

cal de la subrasante de la carretera Campamento Túnel Conchano – Sivingan Bajo, Chota, ruta en la que, se excavaron dos calicatas tomando en consideración el manual del (MTC, 2014).

**Tabla 13**

*Número de Especímenes para Ensayo a CBR de Laboratorio*

<b>Tipo de muestra</b>	<b>Temperatura (°C)</b>	<b>N° de calicatas</b>	<b>N° de unidades muestrales por calicata</b>	<b>N° de unidades muestrales totales</b>
A	Ambiente	2	3	6
B	Ambiente	2	3	6
B	4	2	3	6
B	16	2	3	6
B	24	2	3	6
B	30	2	3	6
<b>Total</b>				<b>36</b>

Nota: A suelo natural, B suelo tratado con cal en la dosificación adecuada determinada a partir del ábaco 1 MTC E 1108 del (MTC, 2016). Las unidades muestrales indican las veces que se realizará cada ensayo mecánico en el suelo natural y tratado, no obstante, para cada ensayo se requieren cierto número de probetas según tipo de ensayo.

**Tabla 14**

*Número de Especímenes para Ensayo a Resistencia a Compresión no Confinada*

<b>Tipo de muestra</b>	<b>Temperatura (°C)</b>	<b>N° de calicatas</b>	<b>N° de unidades muestrales</b>	<b>Total, de especímenes</b>
A	Ambiente	2	3	6
B	Ambiente	2	3	6
B	4	2	3	6
B	16	2	3	6
B	24	2	3	6
B	30	2	3	6
<b>Total</b>				<b>36</b>

Nota: A suelo natural, B suelo tratado con cal en la dosificación adecuada determinada a partir del ábaco 1 MTC E 1108 del (MTC, 2016). Las unidades muestrales indican las veces que se realizará cada ensayo mecánico en el suelo natural y tratado, no obstante, para cada ensayo se requieren cierto número de probetas según tipo de ensayo.

### 3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

#### 3.5.1. Técnicas de recolección de los datos

**Observación – medición:** Implicó la recopilación sistemática y la interpretación de datos a través de la observación directa. Se recolectaron datos sobre la ubicación de las calicatas, la recolección de muestras de suelo y cómo se producen los cambios en las propiedades del suelo tratado con cal a medida que se somete a diferentes temperaturas del entorno durante el periodo de curado.

**Experimentación (ensayos de laboratorio):** Involucró la realización de pruebas de laboratorio al suelo natural y tratado con cal bajo diferentes condiciones de temperatura durante el curado. Estos ensayos incluyen pruebas físicas en el suelo natural y pruebas mecánicas en el suelo con cal y tratado con cal a temperaturas del entorno de 4°C, 16 °C, 24°C, 30°C y temperatura ambiente (18 °C referencia).

#### 3.5.2. Instrumentos para la recolección de los datos

**Guion de observación:** Ayudó con el proceso de recolección de la muestra de suelo y su tratamiento con cal bajo diferentes temperaturas durante el curado, en este caso está integrado por los manuales de carreteras del MTC y las NTP.

**Formatos de ensayos de laboratorio:** Plantillas utilizadas para organizar y registrar los datos obtenidos durante los ensayos de laboratorio sobre el comportamiento mecánico del suelo. Estos formatos obtenidos del laboratorio CIEXLIAN incluyeron información para la identificación de la muestra, las condiciones de temperatura, los resultados de las pruebas y cualquier otro dato relevante. Instrumentos utilizados:

- Instrumentos de laboratorio: horno, máquina de compresión, máquina CBR, equipo Proctor, copa Casagrande, tamices, termómetro ambiental.
- Materiales: suelo natural, cal viva, agua.

### **3.6. Técnicas de procesamiento y análisis de datos**

#### **3.6.1. Proceso de obtención de los datos**

El procedimiento llevado a cabo inició con la obtención de la cal de la Planta Procesadora El Progreso en Bambamarca, Hualgayoc, verificando sus propiedades físico-químicas mediante su certificado de calidad, asegurando su conformidad con la NTP 334.125 (2021). Luego, la cal fue transportada al laboratorio CIEXLIAN en Chota, siguiendo un protocolo de almacenamiento en sacos impermeables para evitar alteraciones en sus características.

Posteriormente, se excavaron dos calicatas estratégicamente ubicadas en la carretera Campamento Túnel Conchano – Sivingan Bajo, siguiendo las recomendaciones del MTC (2014). De cada calicata, se recolectaron muestras alteradas e inalteradas para la realización de ensayos físico-mecánicos. En el laboratorio CIEXLIAN, se analizaron las propiedades del suelo natural a temperatura ambiente mediante ensayos de contenido de humedad, granulometría, límites de consistencia, compactación (Proctor modificado), CBR y resistencia a la compresión no confinada, de acuerdo con las normativas peruanas vigentes.

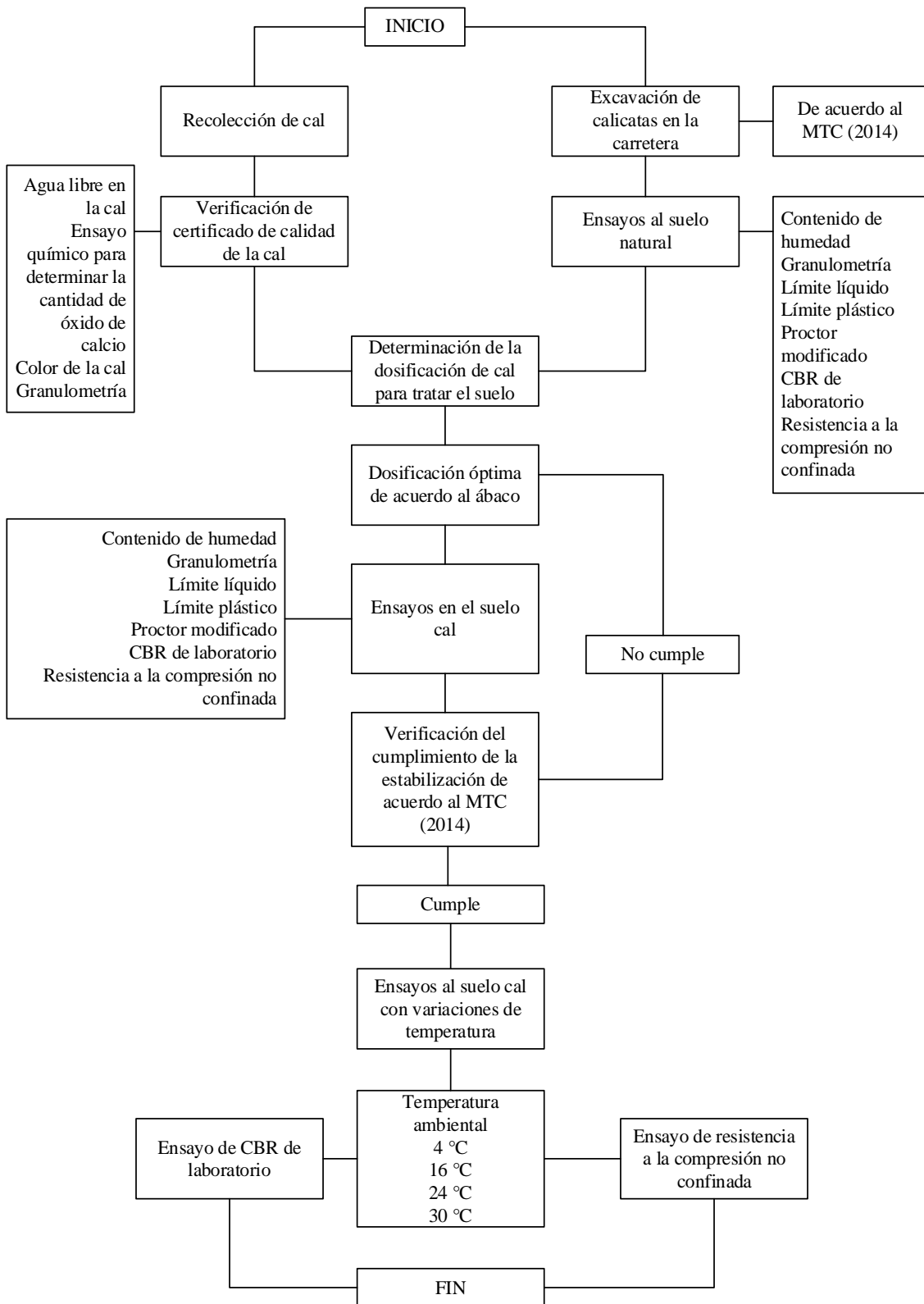
Para la estabilización del suelo, se determinó la dosificación de cal óptima basada en la clasificación del suelo y el índice de plasticidad, siguiendo el método MTC E 1108. Se prepararon muestras de suelo con un 5% de cal en relación con el peso seco del suelo, asegurando una distribución homogénea de la cal y permitiendo la activación de las reacciones químicas necesarias. Posteriormente, se realizaron ensayos físico-mecánicos al suelo tratado con cal bajo condiciones de temperatura ambiente.

Dado que el estudio tenía como objetivo evaluar el efecto de diferentes temperaturas en el curado del suelo tratado con cal, se establecieron cuatro

condiciones térmicas controladas (4 °C, 16 °C, 24 °C y 30 °C) utilizando un calefactor electrónico en el laboratorio. Se monitoreó la temperatura ambiental tres veces al día durante siete días para asegurar la estabilidad térmica del curado. Las pruebas de CBR en el suelo tratado con cal fueron realizadas después del período de curado en un ambiente de temperatura controlada, compactando las muestras en moldes CBR y sometiéndolas a inmersión durante cuatro días antes de la aplicación de carga. Para el ensayo de resistencia a la compresión no confinada, se prepararon especímenes cilíndricos de suelo-cal compactados y curados en condiciones térmicas definidas, los cuales fueron ensayados en una prensa hidráulica para determinar su resistencia mecánica.

**Figura 23**

*Flujograma del Procedimiento de la Investigación*



### 3.6.1.1. Obtención de la cal y análisis de su viabilidad de uso

La cal se obtuvo de la planta procesadora El Progreso de Bambamarca, Hualgayoc, ubicada a una (1) hora de Chota, en las coordenadas UTM WGS84 17S 772356.00 m E, 9263153.00 m S. Este material cuenta con ficha técnica que, caracteriza sus propiedades físico químicas, por lo que, se ha verificado que, estas cumplan con los requisitos de la NTP 334.125 (2021). La cal fue traída en sacos impermeables evitando la contaminación del producto con agentes externos.

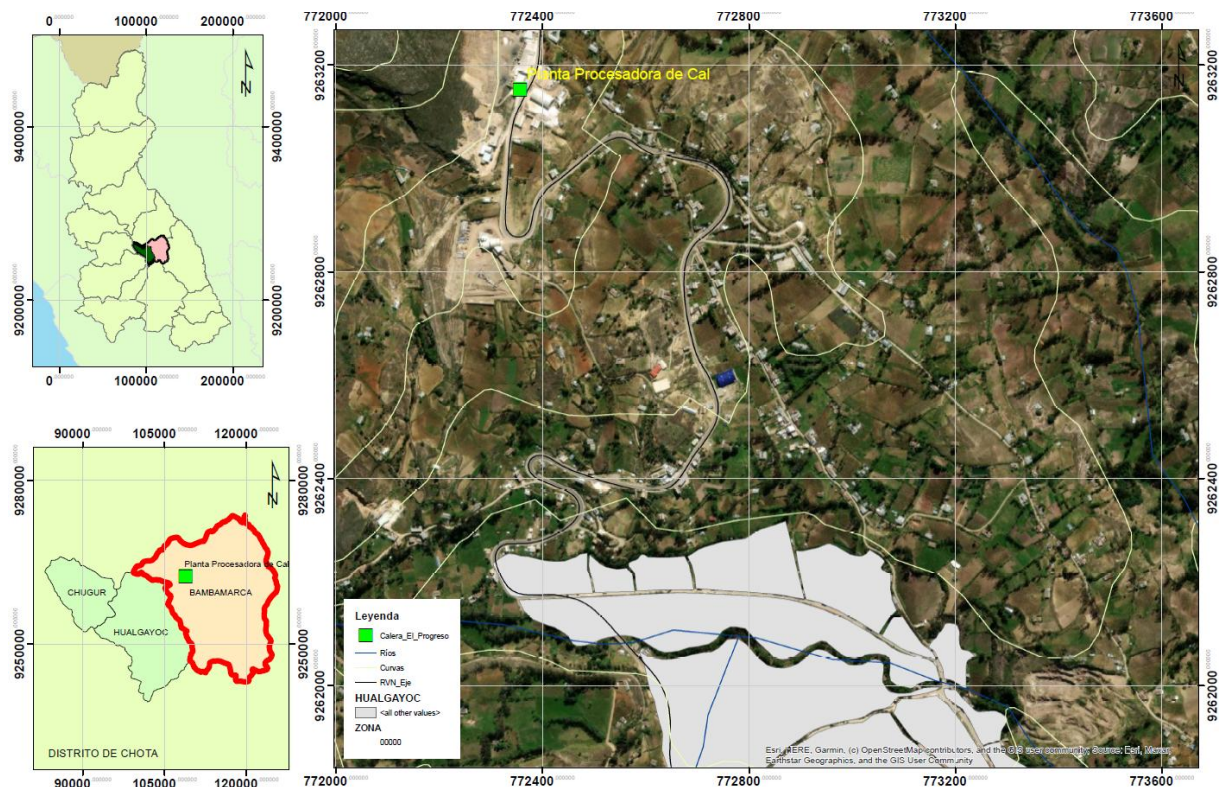
**Tabla 15**

*Ubicación de la Planta Procesadora de Cal*

Punto	Lugar	Coordenadas UTM WGS84 17S		Altitud (msnm)
		Este (m E)	Norte (m S)	
1	Planta Procesadora de Cal	772356.00	9263153.00	2532

**Figura 24**

*Ubicación de la Planta Procesadora de Cal*



**Figura 25**

*Vista de la Planta Procesadora de Cal El Progreso*



**Figura 26**

*Vista del Producto (Cal) en la Planta Procesadora El Progreso*



**a) Proceso de recolección de la cal y traslado al laboratorio CIEXLIAN de Chota**

La cal fue adquirida directamente en la planta procesadora El Progreso de Bambamarca, Hualgayoc, ubicada a una hora de Chota. La recolección se realizó siguiendo protocolos de almacenamiento y transporte, asegurando la preservación de sus propiedades físico-químicas.

- Se verificó que la cal proviniera de lotes con ficha técnica vigente, cumpliendo con la NTP 334.125 (2021).
- El material se envasó en sacos impermeables para evitar la absorción de humedad y contaminación con agentes externos.
- La cal fue transportada al laboratorio CIEXLIAN de Chota, asegurando que las condiciones de almacenamiento no alteraran sus características.

**b) Análisis de las propiedades de la cal**

La planta procesadora El Progreso ha facilitado a los investigadores su ficha técnica (Certificado de calidad) de su producto, correspondiente a la verificación de las propiedades físicas y químicas realizado en el laboratorio INGECONSULT & LAB de la ciudad de Cajamarca. No obstante, se detalla el procedimiento que se ha seguido en dicho laboratorio para la determinación de las propiedades de la cal:

**Determinación del color de la cal**

**Aparatos:** Espátula, depósito, balanza analítica, tubo de ensayo, agua destilada, papel de filtro, lámpara incandescente, carta de colores de Munsell.

**Procedimiento:** Se trituro y pesó la muestra, luego se mezcló con agua destilada y se dejó reposar durante 24 horas. Posteriormente, se filtró la solución y se colocó

en un tubo de ensayo limpio. Finalmente, se observó el color bajo una lámpara incandescente y se comparó con la carta de Munsell.

**Ensayo de granulometría para determinar porcentajes retenido en la malla 100, 200 y 325 según la ASTM C110 (2020)**

**Aparatos:** Balanza de precisión, tamices N° 100, 200 y 325, agitador mecánico, cepillo, recipientes, cronómetro.

**Procedimiento:** La muestra se secó en un horno a 110 °C y se pesó. Luego, se colocó en el conjunto de tamices y se agitó mecánicamente durante 10 minutos. Posteriormente, se pesó el material retenido en cada tamiz y se calculó el porcentaje retenido en cada uno.

*Porcentaje retenido en la malla 100 =*

$$\frac{\text{masa de material retenido en la malla 100}}{\text{masa de la muestra}} \times 100 \quad (14)$$

*Porcentaje retenido en la malla 200 =*

$$\frac{\text{masa de material retenido en la malla 200}}{\text{masa de la muestra}} \times 100 \quad (15)$$

*Porcentaje retenido en la malla 325 =*

$$\frac{\text{masa de material retenido en la malla 325}}{\text{masa de la muestra}} \times 100 \quad (16)$$

**Figura 27**

*Ensayo de Granulometría a la Cal*



**Ensayo químico para determinar la cantidad de óxido de calcio e hidróxido de calcio en la cal según la ASTM C25 (2019)**

**Aparatos:** Horno de calcinación, mortero, maja, vidrio de reloj, bureta, reactivos químicos (NaOH, HCl, fenolftaleína).

**Procedimiento:** La muestra se calentó en un horno a 1000 °C para convertir el carbonato de calcio en óxido de calcio. Luego, se pesó y disolvió en ácido clorhídrico, se agregó fenolftaleína como indicador y se tituló con hidróxido de sodio hasta alcanzar el cambio de color, lo que permitió calcular el contenido de hidróxido de calcio.

*% de óxido de calcio =*

$$\frac{\text{Volumen NaOH} \times \text{Normalidad NaOH} \times \text{Peso equivalente del óxido de calcio}}{\text{Peso de la muestra}} \times 100 \quad (17)$$

$$\text{\% de óxido de hidróxido de calcio} = \frac{\text{Peso hidróxido de calcio}}{\text{Peso de la muestra}} \times 100 \quad (18)$$

Donde, NaOH hidróxido de sodio.

**Ensayo para determinar el agua libre en la cal según la norma UNE 459-2 (AENOR, 2022) – NTP 334.176 (INACAL, 2019)**

**Aparatos:** Mufla, balanza, desecador, cápsula de porcelana, horno, termómetro.

**Procedimiento:** Se tomó una muestra representativa de cal, se pesó y se colocó en una mufla a 105 °C durante una hora. Luego, se trasladó a un desecador para evitar la absorción de humedad y, posteriormente, se calentó en un horno a 900 °C durante una hora adicional. Finalmente, se enfrió en el desecador y se pesó nuevamente para calcular el porcentaje de agua libre.

$$\text{\% agua libre} = \frac{\text{Peso inicial de la muestra} - \text{Peso de la muestra seca}}{\text{Peso inicial de la muestra}} \times 100 \quad (19)$$

**c) Verificación de las propiedades de la cal**

Los análisis realizados a la cal recolectada de la Planta Procesadora “El Progreso” indican que cumple con las características de la UNE 459-1 (AENOR,

2016), garantizando su viabilidad para la estabilización de suelos. La cal presenta contenido de cal activa ( $\text{Ca(OH)}_2 + \text{CaO}$ ) del 92.8%, superando el mínimo requerido de 90%, lo que confirma su alta reactividad química. En términos físicos, la cal de color blanco humo - gris, tiene contenido de humedad de 0.1%, en cuanto a la granulometría, el porcentaje retenido en la malla 200 es de 0.93% (dentro del límite de 7%), lo que indica una adecuada distribución de partículas, lo que confirma una fina distribución de partículas, favoreciendo su reactividad. A pesar del ligero exceso en el agua libre (3.7%), su elevada concentración de cal activa y su adecuada granulometría garantizan su efectividad en el proceso de estabilización, asegurando una adecuada reacción química en el suelo.

**Tabla 16**

*Propiedades Químicas de la Cal de Bambamarca*

Propiedades químicas	Cal de Bambamarca	Requisitos norma UNE 459-1 (AENOR, 2016)
Cal activa $\text{Ca(OH)}_2 + \text{CaO}$ (%)	92.8	$\geq 90$
CaO Disponible (%)	66.4	$\geq 60$
Agua libre (%)	3.7	$\leq 2.5$
Tiempo de fraguado		
Inicial (minutos)	70	$> 50$
Final (h)	16	$\geq 15$

Nota: Datos obtenidos del certificado de calidad de la empresa.

**Tabla 17**

*Propiedades Físicas de la Cal de Bambamarca*

Propiedades físicas	Cal de Bambamarca	Requisitos norma UNE 459-1 (AENOR, 2016)
Color	Blanco humo - gris	
Humedad (%)	0.1	0.1-1%
Retenido, malla 30 (%)	0.02	$< 4\%$
Granulometría		
Retenido, malla 200 (%)	0.93	$< 7\%$
Pasa malla 200 (%)	99.05	

Nota: Datos obtenidos del certificado de calidad de la empresa.

### 3.6.1.2. Excavación de calicatas en la carretera

La carretera Campamento Túnel Conchano – Sivingan Bajo, Chota de tercera clase, tiene una extensión de 2.12 km por ello, tomando en cuenta las recomendaciones del MTC (2014) se excavaron dos calicatas ubicadas a 500 m de los extremos de la carretera.

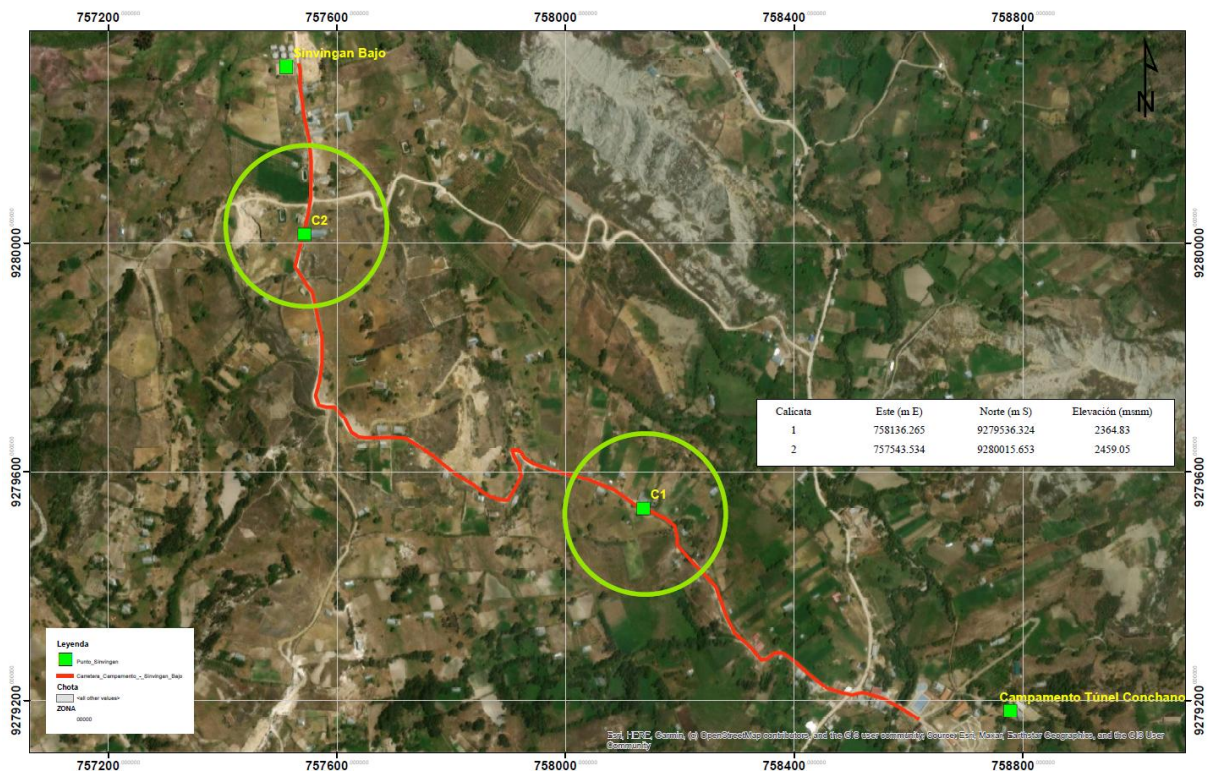
**Tabla 18**

*Ubicación de Calicatas en la Carretera Campamento Túnel Conchano – Sivingan Bajo, Chota*

Calicata	Este (m E)	Norte (m S)	Elevación (msnm)
1	758136.265	9279536.324	2364.83
2	757543.534	9280015.653	2459.05

**Figura 28**

*Ubicación de Calicatas en la Carretera Campamento Túnel Conchano – Sivingan Bajo, Chota*



**a) Equipos y materiales:**

- Picos.
- Palas.
- Cubos o recipientes.
- Cinta métrica.
- Estacas y cuerdas.
- Elementos de protección personal.

**Procedimiento:**

- Se seleccionaron los puntos estratégicos a lo largo de la carretera donde se realizarán las calicatas. En el caso del estudio se consideró tres calicatas dos a los extremos de la vía, y uno en la parte central.
- Se colocaron estacas en los puntos seleccionados y se utilizó una cuerda para asegurarse de que estén alineadas adecuadamente. Esto garantizó una distribución uniforme de las calicatas.
- Se utilizó el pico y la pala para excavar manualmente en cada punto marcado hasta alcanzar la profundidad requerida. Se tuvo cuidado de evitar sobre excavaciones o excavaciones insuficientes.
- Con el uso de la cinta métrica, se midieron las dimensiones de cada calicata, incluyendo ancho, largo y profundidad. Estas mediciones se registraron de manera precisa para futuras referencias.
- Se tomaron muestras alteradas e inalteradas de las dos calicatas para la realización de los ensayos de laboratorio, del perfil de la calicata para clasificación y del fondo de la misma para ensayos mecánicos.
- Con la pala, el material excavado se colocó en sacos y se trasladó al laboratorio CIEXLIAN donde se realizaron los ensayos al suelo natural y tratado.

**Figura 29**

*Toma de Muestras de Suelo en la Calicata C1 de la Carretera Campamento*

*Túnel Conchano – Sivingan Bajo, Chota*



**Figura 30**

*Toma de Muestras de Suelo en la Calicata C2 de la Carretera Campamento*

*Túnel Conchano – Sivingan Bajo, Chota*



### **3.6.1.3. Análisis físico mecánico del suelo natural a temperatura ambiente**

En las muestras de suelo natural se determinaron sus propiedades físico mecánicas en el laboratorio CIEXLIAN de la ciudad de Chota, para clasificar el suelo y determinar su capacidad de soporte (CBR) para compararlo con el MTC (2014) que, establece que el suelo de la subrasante debe tener una capacidad de soporte mayor a 6%, caso contrario debe pasar por procesos de estabilización.

#### **a) Equipos, materiales e instrumentos:**

- Balanzas.
- Horno.
- Tamices.
- Recipientes y agua.
- Molde Proctor modificado y pistón.
- Equipos para ensayo de CBR: Incluyen un molde CBR, una prensa de carga, placas de carga, una máquina de corte y discos expansibles.
- Equipo de ensayo de resistencia a la compresión no confinada: Incluye una prensa de carga y un molde cilíndrico.

#### **b) Preparación de las muestras de suelo**

- Se recolectaron muestras de suelo de la subrasante.
- Se prepararon las muestras según los requisitos de cada ensayo.
- Se secó el suelo en un horno para los ensayos que lo requirieron.
- Se tamizó la muestra por el tamiz N° 40 para el ensayo de límite líquido y por el tamiz N° 4 para el ensayo de Proctor Modificado.
- Se agregó agua a las muestras para los ensayos de límites de consistencia.

#### **c) NTP 339.127 Ensayo de contenido de humedad (2019)**

- Se pesó una muestra de suelo en una balanza de precisión.

- Se secó la muestra en un horno a temperatura constante.
- Se obtuvo un peso constante y se registró el valor.
- Se calculó el contenido de humedad con la diferencia de peso antes y después del secado.

**d) NTP 339.128 Ensayo de granulometría (2019)**

- Se tamizó la muestra de suelo a través de una serie de tamices de diferentes aberturas.
- Se pesó el material retenido en cada tamiz.
- Se registraron los datos obtenidos.
- Se construyó la curva granulométrica para representar la distribución de partículas.

**e) NTP 339.129 Ensayo de límite líquido (2019)**

- Se mezcló la muestra de suelo con agua previamente a la colocación en la copa de Casagrande, donde se separó la muestra en dos mitades con el ranurador.
- Se aplicaron golpes sobre la copa hasta que el suelo se unió.
- Se registró el número de golpes requeridos.
- Se pesó la muestra antes y después de ser llevada al horno. Se repitió el ensayo tres veces.

**f) NTP 339.129 Ensayo de límite plástico (2019)**

- Se mezcló la muestra de suelo con agua hasta alcanzar consistencia plástica.
- Se moldeó la muestra en forma de hilo.
- Se realizaron pruebas de elongación hasta la fractura del hilo.
- Se midió la longitud del hilo al romperse que debería ser de 3 mm.
- Se pesaron los rollitos antes y después de ser llevados al horno. Se repitió el ensayo dos veces.

**g) NTP 339.141 Ensayo Proctor modificado (2019)**

- Se colocó agua en diferentes proporciones a las muestras de suelo, para el ensayo de Proctor modificado.
- Se compactó la muestra de suelo en un molde Proctor modificado por capas.
- Se aplicó la cantidad de energía de compactación en cada capa de acuerdo al método de ensayo, aplicando el método de compactación C para la calicata 1 (suelo granular) y el método de compactación A para la calicata 2 (suelo fino).
- Se pesó la muestra antes y después de ser llevada al horno.
- Se determinaron la máxima densidad seca y la humedad óptima del suelo.

**h) NTP 339.145 Ensayo CBR de laboratorio (2019)**

- Se compactó la muestra de suelo en un molde CBR usando un rodillo de compactación, con la cantidad óptima de agua determinada en el ensayo de compactación.
- Se llevaron las probetas al agua por 4 días para determinar la expansión del mismo. Se evaluó la resistencia a la deformación del suelo.
- Se realizaron pruebas de carga y penetración en la muestra compactada.
- Durante este proceso que dura 7 días, se tuvo en cuenta el registro de la temperatura a la que se realizaron los ensayos de laboratorio.

**i) NTP 339.167 Ensayo de resistencia a la compresión no confinada (2015)**

- Se compactó la muestra de suelo en un molde cilíndrico.
- Se curaron las probetas en agua durante 7 días, registrando la temperatura ambiente en el laboratorio durante diferentes horas del día.
- Se sometió la muestra a una carga uniaxial hasta la falla.
- Se registró la carga máxima soportada.
- Se determinó la resistencia a la compresión no confinada del suelo.

**Figura 31**

*Ensayo de Granulometría en el Suelo Natural*



**Figura 32**

*Ensayo de Proctor Modificado en el Suelo Natural*



### 3.6.1.4. Determinación de la dosificación de cal para tratar el suelo

Para determinar la dosificación óptima se siguió los lineamientos del manual de suelos, geología, geotecnia y pavimentos, sección suelos y pavimentos del MTC (2014), pero también, el manual de ensayos de materiales del MTC (2016). Siendo así, se aplicó el método del MTC E 1108 “Resistencia de mezclas de suelo cal”, donde la dosificación adecuada se determina por medio de un ábaco que, relaciona el índice de plasticidad con el porcentaje que pasa por el tamiz de 425  $\mu\text{m}$  (N° 40).

**Tabla 19**

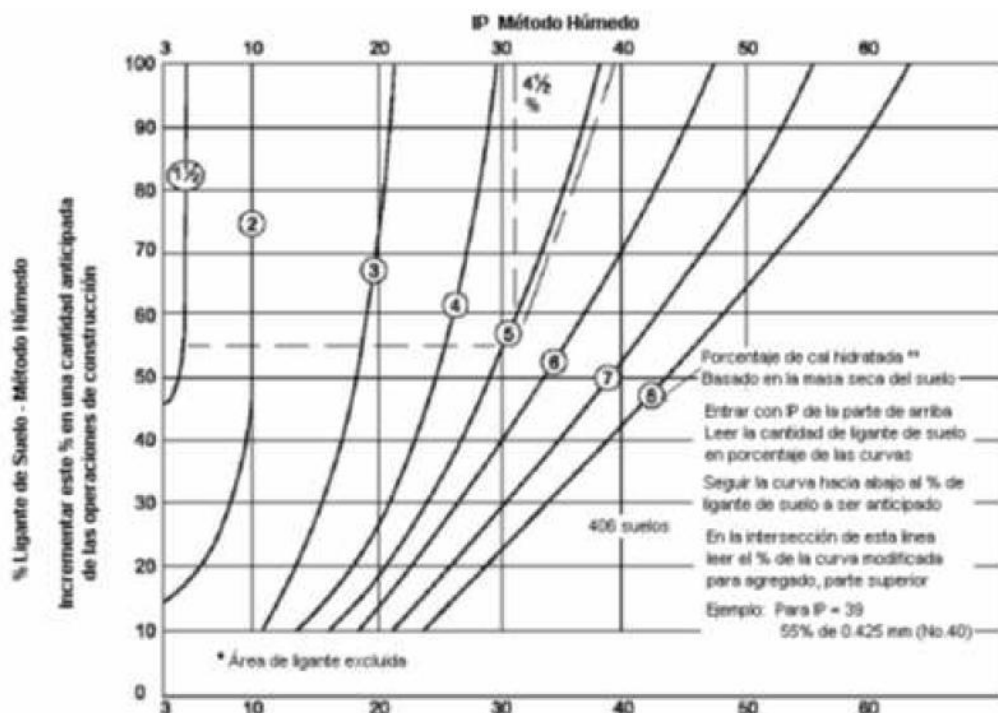
*Porcentaje de Cal, según Clasificación*

Tipo	Cal (%)	
Mezclas de grava y arcilla	2	4
Suelos altamente arcillosos	5	10

Nota: (MTC, 2014).

**Tabla 20**

*Ábaco de Porcentaje de cal Recomendado para Estabilización de Bases*



Nota: La imagen se ha tomado del MTC (2016) y la NTP 339.167 (2015).

### 3.6.1.5.Registro de la temperatura ambiental durante el periodo de realización de los ensayos al suelo natural y durante el curado del suelo tratado con cal

Durante el período de análisis de las muestras de suelo natural y el curado del suelo tratado con cal, se llevó a cabo el registro sistemático de la temperatura ambiental en el laboratorio CIEXLIAN de Chota. Este monitoreo se realizó durante siete días, a partir del 20 de octubre, con el objetivo de determinar la temperatura promedio semanal.

Para garantizar la precisión del registro, la temperatura ambiental se midió tres veces al día, a las 6:00 a.m., 12:00 p.m. y 6:00 p.m., utilizando un termómetro ambiental, estas mediciones permitieron obtener un seguimiento continuo de las condiciones térmicas del entorno en el que se llevó a cabo el curado de las muestras de suelo tratado con cal. Como resultado de este monitoreo, se determinó que la temperatura ambiental promedio durante el período de análisis fue de 18 °C, lo que sirvió como referencia para evaluar el comportamiento mecánico del suelo en condiciones reales de curado y compactación.

**Tabla 21**

*Registro de la Temperatura Ambiental Durante el Periodo de Curado de las Probetas de Suelo*

Fecha	Temperatura °C			Temperatura (°C)
	06:00	12:00	18:00	
20/10/2024	12.9	22.4	19.3	18.20
21/10/2024	8.2	22.0	19.3	16.50
22/10/2024	7.8	23.1	20.0	16.97
23/10/2024	14	17.1	19.1	16.73
24/10/2024	13.3	22.1	21.2	18.87
25/10/2024	14.6	23.2	21.5	19.77
26/10/2024	16.5	21.1	21.3	19.63
Temperatura °C	12.47	21.57	20.24	18.10

### **3.6.1.6. Análisis físico mecánico del suelo tratado con cal a temperatura ambiente**

Seleccionado el porcentaje de cal a utilizar para tratar el suelo de la subrasante, se verificó su influencia en las propiedades físico mecánicas del suelo a temperatura ambiente mediante pruebas de laboratorio de acuerdo a las normas técnicas peruanas, tales como: NTP 339.127 contenido de humedad, NTP 339.128 granulometría, NTP 339.129 límite líquido y límite plástico, NTP 339.141 Proctor modificado, NTP 339.145 CBR de laboratorio y NTP 339.167 resistencia a la compresión no confinada en el laboratorio CIEXLIAN de la ciudad de Chota.

#### **a) Equipos y materiales:**

- Balanzas.
- Horno.
- Tamices.
- Recipientes y agua
- Molde Proctor modificado y pistón.
- Equipos para ensayo de CBR: Incluyen un molde CBR, una prensa de carga, placas de carga, una máquina de corte y discos expansibles.
- Equipo de ensayo de resistencia a la compresión no confinada: Incluye una prensa de carga y un molde cilíndrico.

#### **b) Preparación de las muestras de suelo cal**

- Se tomó una muestra representativa del suelo de la subrasante.
- Se secó la muestra en el horno a una temperatura controlada.
- Se pesó la muestra de suelo seco utilizando una balanza de precisión.
- Se calculó el 5% de cal en relación con el peso seco del suelo.
- Se pesó la cantidad correspondiente de cal utilizando la balanza.
- Se mezcló la cal con el suelo seco de manera uniforme.

- Se realizó una mezcla en seco asegurando una distribución homogénea de la cal en el suelo.
- Se dejó la mezcla en reposo durante 24 horas para permitir el inicio de las reacciones químicas entre la cal y el suelo.
- Luego del tiempo de reposo, se dividió la muestra en porciones específicas para cada ensayo.
- Se homogenizó cada porción antes de su compactación o ensayo correspondiente.
- Se inició la realización de los ensayos físico-mecánicos programados.

**c) NTP 339.127 Ensayo de contenido de humedad (2019)**

- Se pesó una muestra de suelo cal en una balanza de precisión.
- Se secó la muestra de suelo cal en un horno a temperatura constante.
- Se obtuvo un peso constante y se registró el valor.
- Se calculó el contenido de humedad con la diferencia de peso antes y después del secado.

**d) NTP 339.128 Ensayo de granulometría (2019)**

- Se tamizó la muestra de suelo cal a través de una serie de tamices de diferentes aberturas.
- Se pesó el material (suelo cal) retenido en cada tamiz.
- Se registraron los datos obtenidos.
- Se construyó la curva granulométrica para representar la distribución de partículas.

**e) NTP 339.129 Límite líquido (2019)**

- Se tomó una muestra representativa del suelo tratado con cal.
- Se secó la muestra en un horno y se pesó.

- Se mezcló con agua destilada hasta obtener una pasta homogénea.
- Se colocó la pasta en la copa Casagrande y se hizo una abertura en la mezcla.
- Se determinó el número de golpes necesario para cerrar la abertura, al dejar caer la manivela de la copa Casagrande.
- Se midió el contenido de agua en el suelo en el momento del cierre del surco, pesando la muestra antes y después de ser llevada al horno.
- Se repitió el procedimiento tres veces.

**f) NTP 339.129 Límite plástico (2019)**

- Se tomó una muestra representativa del suelo tratado con cal utilizado en el ensayo de límite líquido.
- Se mezcló con agua destilada hasta obtener una pasta plástica.
- Se moldeó una bola con la pasta y se colocó en un depósito de porcelana.
- Se extendió la bola formando rollitos de 3 mm hasta que mostraron fractura.
- Se midió el contenido de agua en el suelo en el momento de la fractura, pesando la muestra antes y después de salir del horno.
- Se repitió el proceso para obtener un promedio y calcular el límite plástico.

**g) NTP 339.141 Proctor modificado (2019)**

- Se tomó una muestra representativa del suelo tratado con cal.
- Se mezcló con agua y se compactó en un molde cilíndrico por capas.
- Se compactó cada capa aplicando energía con el pistón según el método, método A para la calicata 2 y método C para la calicata 1.
- Se extrajo la muestra compactada del molde y se cortó en diferentes alturas.
- Se pesaron las muestras y se calcularon la densidad seca y el contenido de humedad.

- Se realizó una curva de compactación para determinar la humedad óptima y la densidad máxima seca.

**h) NTP 339.145 CBR de laboratorio (2019)**

- Se tomó una muestra compactada del suelo tratado con cal.
- Se colocó en un molde de CBR para su análisis, compactando a la humedad óptima determinada en el ensayo de compactación.
- Se midió la penetración en el suelo utilizando el penetrómetro de CBR, en el análisis de expansión, donde se colocaron las probetas en agua durante el periodo de 4 días.
- Luego se aplicó una carga con el pisón de CBR, y se calculó el valor del CBR a partir de los datos obtenidos.
- Todo el procedimiento se realizó a temperatura ambiental.

**i) NTP 339.167 Resistencia a la compresión no confinada (2019)**

- Se tomó una muestra cilíndrica del suelo tratado con cal.
- Se realizó el proceso de curado de las muestras a temperatura ambiente.
- Se colocó en una máquina de ensayos de compresión.
- Se aplicó una carga axial sobre la muestra hasta que se fracturó.
- Se midió la fuerza requerida para la fractura.
- Se calculó la resistencia a la compresión no confinada a partir de los valores registrados.

**Figura 33**

*Ensayos de Límites de Consistencia al Suelo con Cal*



**Figura 34**

*Ensayo de CBR al Suelo con Cal*



### **3.6.1.7. Procedimiento de cambio de temperatura del suelo**

El cambio de temperatura en este estudio hace referencia a la temperatura ambiente que se podría tener en obra durante el proceso de curado de la subrasante estabilizada, siendo así, se ha efectuado con el objetivo de simular las condiciones en campo luego de la mezcla del suelo con la cal y su compactación en la subrasante, durante el período de curado de 7 días, considerado como el tiempo en que, la cal y suelo interactúan para formar los enlaces químicos y poder adquirir la resistencia y capacidad de soporte esperados.

Para ello, se implementó un ambiente controlado en el laboratorio CIEXLIAN de Chota, utilizando un calefactor electrónico que permitió regular la temperatura de manera precisa, aumentándola o disminuyéndola según fuera necesario para mantener las temperaturas constantes de 4 °C, 16 °C, 24 °C y 30 °C, valores seleccionados porque representan rangos térmicos habituales en la ciudad de Chota. Este método ya ha sido utilizado en investigaciones previas realizadas en la EPIC-UNACH, como en el estudio de Bustamante (2021), donde se empleó un calefactor manual para pruebas térmicas.

El acondicionamiento térmico se realizó para incrementar o reducir la temperatura según los requerimientos del estudio. Para garantizar que la temperatura del ambiente se mantuviera constante durante el proceso de curado, se utilizó un termómetro ambiental, registrándose mediciones tres veces al día a las 6:00 a.m., 2:00 p.m. y 10:00 p.m. durante los 7 días de curado. Se controlaron y mantuvieron temperaturas constantes de 4 °C, 16 °C, 24 °C y 30 °C, valores seleccionados porque representan rangos térmicos habituales en la ciudad de Chota. Además, los resultados obtenidos en estas condiciones fueron comparados con los de las probetas curadas a temperatura ambiente.

El proceso de curado del suelo tratado con cal se realizó utilizando agua potable sin clorar proveniente de la red pública de la ciudad de Chota. Para garantizar uniformidad en las condiciones de curado, se controló la temperatura del agua mediante un termómetro ambiental, asegurando que se utilizara agua a  $18\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$  en todas las muestras. En casos donde el agua se encontraba fuera de este rango, se ajustó su temperatura mediante calefacción o enfriamiento, asegurando un curado homogéneo en todas las probetas.

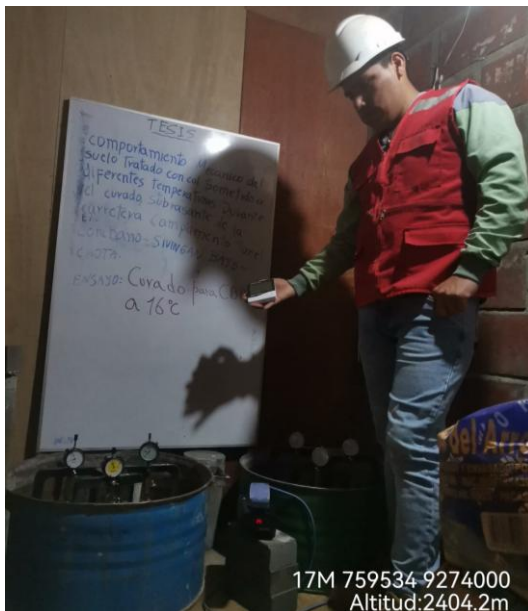
Respecto a los métodos de curado, se aplicaron técnicas específicas según el tipo de ensayo:

- Para las probetas sometidas al ensayo de CBR, el curado se realizó por inmersión en agua, siguiendo el procedimiento indicado en la norma del ensayo.
- Para las probetas destinadas al ensayo de resistencia a compresión no confinada, el curado se llevó a cabo por aspersión, simulando el proceso convencional de curado en campo durante la estabilización de la capa de rodadura en una carretera.

Este procedimiento permitió garantizar condiciones térmicas controladas y homogéneas, asegurando que los resultados obtenidos reflejen el comportamiento mecánico del suelo tratado con cal bajo diferentes temperaturas de curado.

**Figura 35**

*Proceso de Curado a Temperatura de 4, 16, 24 y 30 °C para la Realización de Ensayos Mecánicos en el Suelo con Cal*



### **3.6.1.8. Ensayo CBR del suelo tratado con cal a diferentes temperaturas**

Para realizar el ensayo de CBR del suelo tratado con cal y sometido a temperaturas de 4 °C, 16 °C, 24 °C y 30 °C durante el curado de la muestra de suelo-cal, se utilizaron los materiales y procedimiento dado en la NTP 339.145 (2019) en un ambiente de temperatura controlada, tal como, se ha detallado anteriormente en el ítem 3.6.1.7., en el laboratorio CIEXLIAN de Chota.

#### **a) Equipos, materiales e instrumentos:**

- Muestra de suelo tratado con cal: Se tuvo una muestra representativa del suelo que ha sido tratado con cal.
- Calefactor: Se necesitó un calefactor que pueda mantener las temperaturas de 4 °C, 16 °C, 24 °C y 30 °C de manera constante durante el curado de la muestra. Este calefactor tuvo la capacidad de controlar y mantener la temperatura establecida durante el tiempo que duró el curado.
- Moldes CBR
- Equipo de Proctor Modificado.
- Termómetro ambiental

#### **b) Procedimiento:**

- La muestra de suelo tratado con cal fue homogeneizada y mezclada de manera adecuada según los procedimientos establecidos por el estándar utilizado para el ensayo de CBR.
- La muestra de suelo-cal se colocó en los moldes CBR de manera uniforme y compactada de acuerdo a las especificaciones establecidas por el estándar utilizado. La compactación se realizó usando el equipo de Proctor modificado (Pistón manual) de acuerdo al método de ensayo A para la calicata 2 y C para

la calicata 1, al óptimo contenido de humedad determinado anteriormente en el suelo con cal, ensayado a temperatura ambiente.

- Los moldes CBR con la muestra de suelo-cal se colocaron en el ambiente controlado a la temperatura de 4 °C, 16 °C, 24 °C o 30 °C. Se mantuvo la temperatura constante durante todo el proceso de curado, que duro 7 días.
- Transcurrido el tiempo de curado, los moldes CBR con la muestra de suelo-cal fueron analizados con el proceso convencional de ensayo CBR en el mismo ambiente de temperatura controlada.
- Las muestras curadas se sometieron al ensayo de CBR según los procedimientos y condiciones establecidas por el estándar utilizado. Esto incluyo la aplicación de una carga vertical y la medición de la expansión de la muestra.

### Figura 36

#### *Ensayo CBR en el Suelo Tratado con Cal a Diferentes Temperaturas*



### **3.6.1.9. Elaboración de especímenes para resistencia a compresión no confinada del suelo tratado con cal**

Para elaborar los especímenes para ensayo de resistencia a compresión no confinada del suelo tratado con cal se siguió el procedimiento descrito en el acápite MTC E 1108 del manual de ensayo de materiales del MTC (2016).

#### **a) Preparación de la muestra de suelo con cal**

- Se seleccionó una muestra de 91 kg de suelo para el ensayo.
- Se extendió la muestra sobre una superficie seca y limpia para su secado al aire libre.
- Se trituraron los terrones de arcilla para que pasaran por el tamiz N° 10 sin alterar las partículas gruesas.
- Se tamizó el material en seco utilizando tamices de diferentes aberturas para separar fracciones de tamaño según los estándares del ensayo.
- Se pesó cada fracción y se calcularon los porcentajes acumulados retenidos y pasantes en cada tamiz.
- Se mezclaron las fracciones para obtener una gradación uniforme dentro de cada espécimen.
- Se tomó una muestra representativa de 4.5 kg para realizar el análisis granulométrico y la determinación de los límites de consistencia.

#### **b) Selección del porcentaje de cal y preparación de la mezcla**

- Se determinó el porcentaje óptimo de cal a emplear y se agregó en peso.
- Se calculó la cantidad de agua a agregar en función del peso seco del suelo.
- Se mezcló la cal con la porción de suelo que pasó el tamiz N° 10.
- Se humedeció la fracción mayor de 2 mm con parte o toda el agua medida, asegurando una distribución homogénea.

- Se combinó la fracción menor de 850  $\mu\text{m}$  (N° 20) con el resto del agua y se mezcló completamente.

**c) Compactación de los especímenes de ensayo**

- Se colocó el material en capas dentro del molde de 152 mm (6 pulg) de diámetro y 200 mm (8 pulg) de altura.
- Se compactó cada capa con 50 golpes de un martillo de 4.5 kg (10 lb) desde una altura de 457 mm (18 pulg).
- Se aseguró una distribución homogénea de partículas en cada capa.
- Se niveló la última capa utilizando una espátula y herramientas manuales.
- Se pesó el espécimen dentro del molde y se midió su altura con una precisión de 0.0245 mm (0.001 pulg).
- Se extrajo el espécimen mediante extrusión y se rompió una pequeña porción para secarla en horno a  $110 \pm 5$  °C hasta peso constante.
- Se ajustó el peso del material si fue necesario para obtener una altura final de 200 mm.

**d) Curado de los especímenes de ensayo**

- Se almacenaron los especímenes a temperatura ambiente, temperaturas de 4 °C, 16°C, 24 °C y 30 °C durante 7 días.
- Tras el curado, se retiraron las celdas y se colocaron los especímenes en un secador de aire a 60 °C por 6 horas, hasta reducir 1/6 de la humedad de moldeo.
- Se dejaron al aire las muestras durante al menos 8 horas antes de proceder con el ensayo.
- Se pesaron y midieron los especímenes antes de su ensayo de resistencia a compresión no confinada.

**Figura 37**

*Preparación de Muestras de Suelo Cal para Ensayo a Compresión no Confinada*



**Figura 38**

*Vista de Muestras de Suelo Cal para Ensayo a Compresión no Confinada*



### **3.6.1.10. Ensayo resistencia a compresión no confinada del suelo tratado con cal a diferentes temperaturas**

El ensayo de resistencia a compresión no confinada en el suelo tratado con cal sometido a diferentes temperaturas del entorno durante el curado, se realizó en el laboratorio CIEXLIAN de la ciudad de Chota, de acuerdo a los lineamientos del MTC (2016) en el acápite MTC E 1108 y de acuerdo a la norma técnica NTP 339.167 (2015).

#### **a) Equipos, materiales e insumos:**

- Pisón automático
- Molde de compactación
- Balanza
- Prensa hidráulica
- Horno para el secamiento
- Bandejas metálicas
- Piedras porosas circulares
- Celdas axiales
- Bomba para vacío
- Compresor de aire
- Cámara húmeda equipada
- Tamices con aberturas cuadradas
- Agitador mecánico
- Agua de buena calidad
- Termómetro ambiental
- Cal viva
- Dispositivo para controlar la temperatura ambiente

## **b) Procedimiento**

- Se colocó el espécimen dentro de la prensa motorizada y se alineó con los bloques metálicos de carga.
- Se ajustó el deformímetro asegurando su contacto con el bloque espaciador superior.
- Se colocó la carcasa acampanada sin tocar el medidor de deformación ni sus soportes.
- Se alineó la bola de la carcasa acampanada con el eje vertical del espécimen.
- Se aplicó una presión mínima hasta obtener una lectura inicial en el manómetro del anillo de carga.
- Se registró la deformación inicial bajo carga muerta.
- Se aplicaron presiones laterales de 0, 21, 34, 69, 103 y 138 kPa.
- En casos de alta carga (1207-1241 kPa), la última muestra se ensayó con 48 kPa en lugar de 138 kPa.
- Se accionó el motor de la prensa, aplicando carga axial con una velocidad de 3.3 a 3.8 mm/min.
- Se tomaron lecturas de carga y deformación cada 0.25 mm (0.01") hasta la falla del espécimen.
- Se continuó el ensayo hasta alcanzar un mínimo de 60 lecturas o hasta que la lectura del anillo de carga se mantuviera constante o disminuyera.
- En muestras con partículas gruesas, el ensayo continuó hasta determinar la falla real, evitando valores erróneos por desplazamiento de partículas.

## **c) Cálculos e informe**

Se procedió a determinar el volumen en m<sup>3</sup> para una altura de 25.4 mm (1 pulgada) del molde, de la siguiente manera:

$$V = \frac{\text{Área del molde en mm}^2 \times 225.4 \text{ mm}}{1000} \quad (20)$$

Se calculó el peso unitario seco en la siguiente forma:

$$\text{Peso unitario seco} = \frac{\text{Peso seco del espécimen}}{\text{Volumen del espécimen}} \quad (21)$$

Se calculó el esfuerzo de compactación para una capa de 50.8 mm (2 pulg).

$$\text{Esfuerzo de compactación} = \frac{N^\circ \text{ golpes del martillo} \times \text{caísa del martillo}}{\text{Volumen de la capa de materia}} \quad (22)$$

Se calculó el porcentaje de humedad de moldeo en la siguiente forma:

$$\frac{\text{Peso del espécimen húmedo} - \text{Peso del espécimen seco}}{\text{Peso del espécimen seco}} \times 100 \quad (23)$$

Se calculó los valores de esfuerzo y deformaciones para cada espécimen individual utilizando las siguientes relaciones.

$$S = \frac{d}{H} \times 100 \quad (24)$$

Donde: S representa el porcentaje de deformación, d es la deformación vertical total en el momento indicado, y h es la altura del espécimen medida después de que se ha eliminado el efecto de la capilaridad.

$$p = \frac{P}{A} \times 1 - \frac{S}{100} \quad (25)$$

Donde: P representa el esfuerzo vertical unitario corregido. Esta corrección es necesaria debido a que el área de la sección transversal aumenta a medida que el espécimen se reduce en altura. Se asume que el espécimen se deforma a un volumen constante. P es la carga vertical total sobre el espécimen para una deformación específica. Esta carga es igual a la suma de la carga aplicada medida por el anillo de carga, más el peso muerto de la piedra porosa superior, el bloque de carga y la carcasa del dial. A representa el área extrema del espécimen cilíndrico al inicio del ensayo.

**Figura 39**

*Ensayo de Resistencia a Compresión no Confinada en Muestras de Suelo – Cal Sometidas a Diferentes Temperaturas Durante el Curado*



### **3.6.2. Procesamiento de datos**

Se utilizaron técnicas de asociación, agrupación y resumen para procesar la información en el programa Microsoft Excel 2024 presentando los resultados en tablas y gráficos de estadística descriptiva.

### **3.6.3. Análisis de datos**

Se ha realizado el análisis descriptivo a través de la comparación de los resultados con los manuales de carreteras, suelos, geología, geotecnia y pavimentos (MTC, 2014) y el manual de ensayo de materiales (MTC, 2016), pero también se ha utilizado la estadística inferencial mediante el programa Minitab 22 para aceptar o rechazar las hipótesis formuladas, hipótesis alternativa (H1) o nula (H0), basándose en el valor p (probabilidad) obtenido de los datos, después de haber determinado su tendencia normal para la aplicación de pruebas paramétricas (como ANOVA y t-student).

### 3.7. Aspectos éticos

Los aspectos éticos que, que se orientaron en la presente investigación son aquellos que se presentan en el análisis de Parra & Briceño (2013), así como, aquellos dados en el reglamento de grados y títulos de la UNACH, y el estatuto de la EPIC – UNACH, tales como:

- **Valor social y/o científico:** El estudio se enfocó verificar la mejora de la estabilidad de la subrasante de la carretera por medio de ensayos de laboratorio, lo cual tendrá un impacto positivo en la infraestructura vial.
- **Validez científica:** Se utilizó metodologías y técnicas reconocidas de acuerdo a los manuales del MTC y las normas técnicas peruanas, a fin de que la investigación pueda ser replicada de ser necesario.
- **Evaluación independiente:** Se buscó la revisión de expertos independientes para evaluar la metodología y los resultados del estudio, siendo uno de ellos el asesor de la investigación.
- **Beneficio y no daño:** Se baso en maximizar los beneficios del estudio en términos de conocimiento y aplicación práctica, evitando cualquier daño a personas o al medio ambiente.
- **Divulgación de resultados:** Se promovió la divulgación de los resultados obtenidos a través de la presentación del presente informe de tesis.
- **Reconocimiento de fuentes:** Se dio crédito adecuado a todas las fuentes de información utilizadas en el estudio, siguiendo las normas éticas y de propiedad intelectual, citando y referenciando en APA 7ma edición.
- **Rigor científico:** Se garantizó la precisión y exactitud de los datos recopilados y analizados, siguiendo los principios del método científico en todo momento.

## CAPÍTULO IV.

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. Descripción de resultados

##### 4.1.1. *Propiedades del suelo natural de la subrasante de la carretera Campamento*

##### *Túnel Conchano – Sivingan Bajo*

En la subrasante de la carretera Campamento Túnel Conchano – Sivingan Bajo, se analizaron dos calicatas, C1 y C2, determinando las propiedades físico mecánicas del suelo natural, mismas que, se detallan en la siguiente tabla:

**Tabla 22**

*Propiedades Físico Mecánicas del Suelo Natural de la Subrasante de la Carretera Campamento Túnel Conchano – Sivingan Bajo*

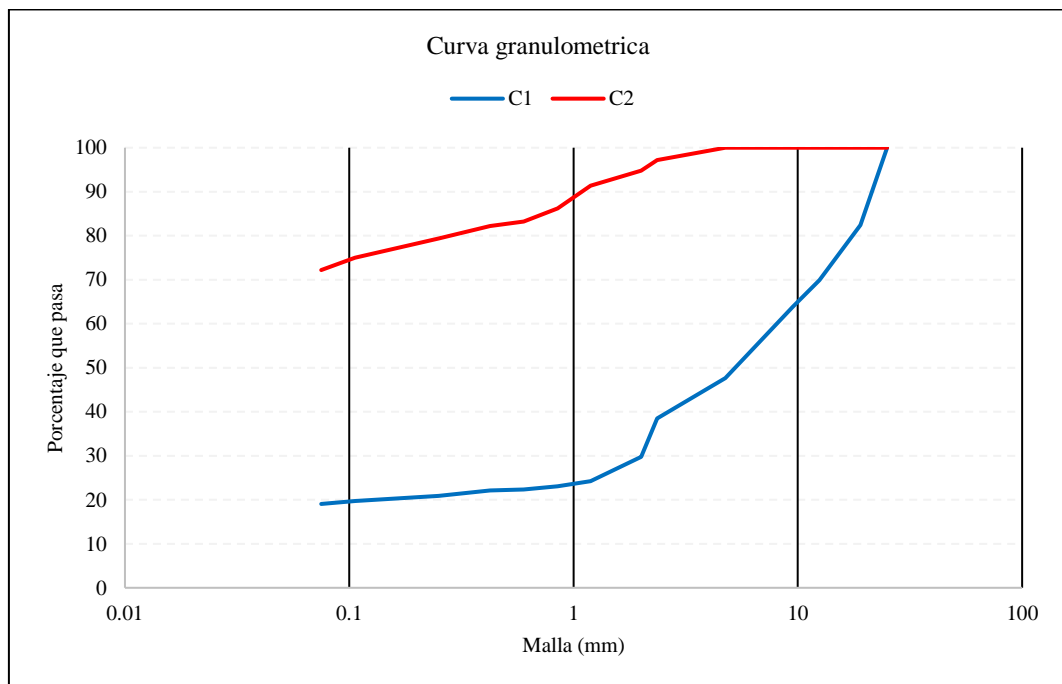
Propiedades físico mecánicas	C1	C2
Humedad	16.73%	23.10%
Grava 3" - N° 4	52.35%	0.00%
Arena N° 4 - N° 200	28.60%	27.80%
Arena gruesa	17.90%	5.20%
Arena media	7.65%	12.60%
Arena fina	3.05%	10.00%
Finos	19.05%	72.20%
LL	27.20%	57.69%
LP	18.26%	37.03%
IP	8.94%	20.66%
Clasificación SUCS	GC	MH
MDS	1.97 g/cm <sup>3</sup>	1.57 g/cm <sup>3</sup>
OCH	9.70%	16.20%
Expansión	0.00%	8.61%
CBR al 100% de MDS	20.37%	3.17%
CBR al 95% de MDS	12.15%	1.73%
Resistencia a compresión (kg/cm <sup>2</sup> )	1.176	0.672
M1	1.183	0.662
M2	1.155	0.683
M3	1.189	0.67

Uno de los primeros aspectos evaluados fue la humedad natural del suelo, donde se observó que la calicata C2 presenta mayor contenido de humedad (23.10%) en comparación con C1 (16.73%), este dato sugiere que el suelo en C2 tiene mayor capacidad de retención de agua, lo que lo hace más propenso a cambios volumétricos y disminución de resistencia en presencia de agua.

En cuanto a la granulometría, se encontró una diferencia significativa entre ambas calicatas. La muestra de C1 contiene un alto porcentaje de grava (52.35%), lo que le otorga una estructura más estable y una mayor capacidad de drenaje. Por otro lado, en C2 no se halló presencia de grava, y el contenido de finos es considerablemente mayor (72.20%), lo que indica que se trata de un suelo más cohesivo y menos permeable; esta característica hace que el suelo de C2 sea más susceptible a deformaciones cuando se satura.

**Figura 40**

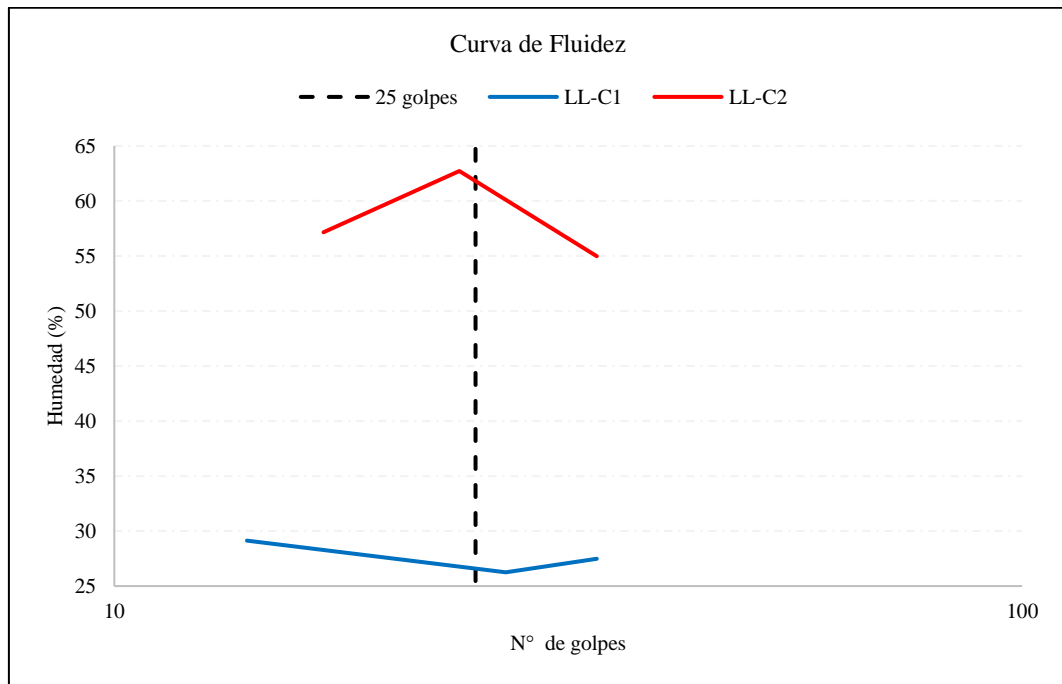
*Granulometría del Suelo Natural de la Subrasante de la Carretera Campamento Túnel Conchano – Sivingan Bajo*



Por otro lado, los límites de consistencia también mostraron diferencias importantes entre ambas calicatas. En C1, el índice de plasticidad (IP) es de 8.94%, lo que indica una plasticidad media, mientras que en C2 el IP es de 20.66%, clasificándolo como un suelo de alta plasticidad; esto significa que el suelo de C2 tiene una mayor tendencia a expandirse y contraerse con los cambios de humedad, lo que puede comprometer la estabilidad de la carretera.

**Figura 41**

*Curva de Fluidez del Suelo Natural de la Subrasante de la Carretera  
Campamento Túnel Conchano – Sivingan Bajo*

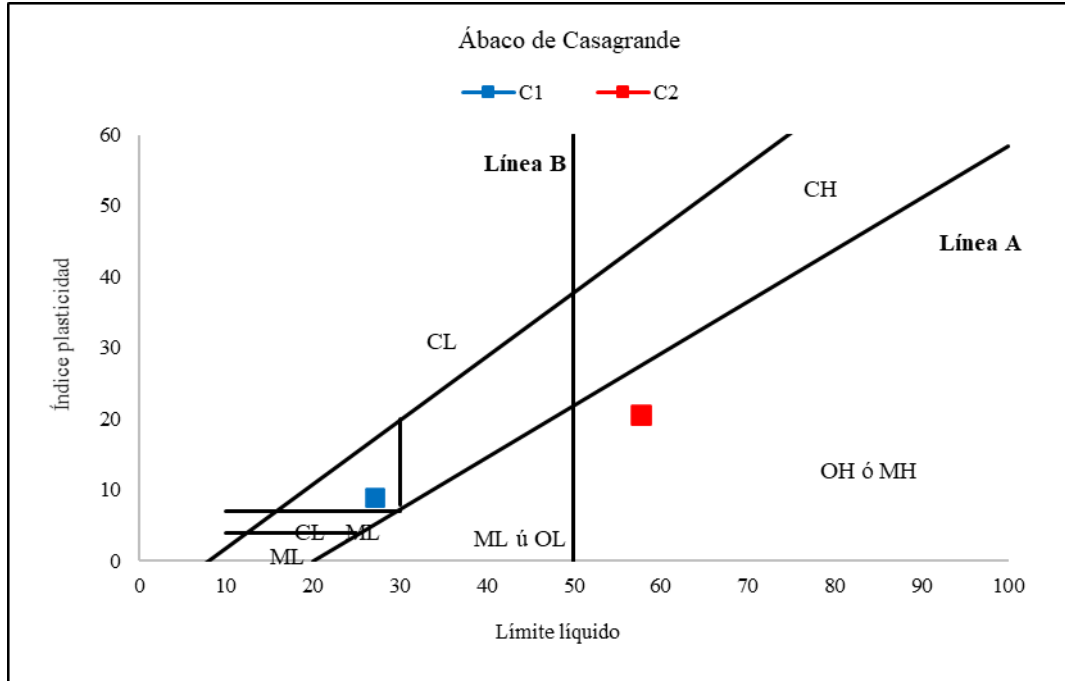


De acuerdo con el sistema de clasificación SUCS, la calicata C1 se clasifica como un suelo de tipo GC (grava arcillosa), lo que indica que es un material con presencia de partículas gruesas y cohesivas, con características que pueden proporcionar una capacidad de soporte relativamente bueno. En contraste, la calicata C2 se clasifica como MH (limo de alta plasticidad), lo que sugiere que es un suelo con un alto contenido de partículas finas y una mayor tendencia a la deformación y expansión cuando absorbe agua.

**Figura 42**

*Clasificación SUCS del Suelo Natural de la Subrasante de la Carretera*

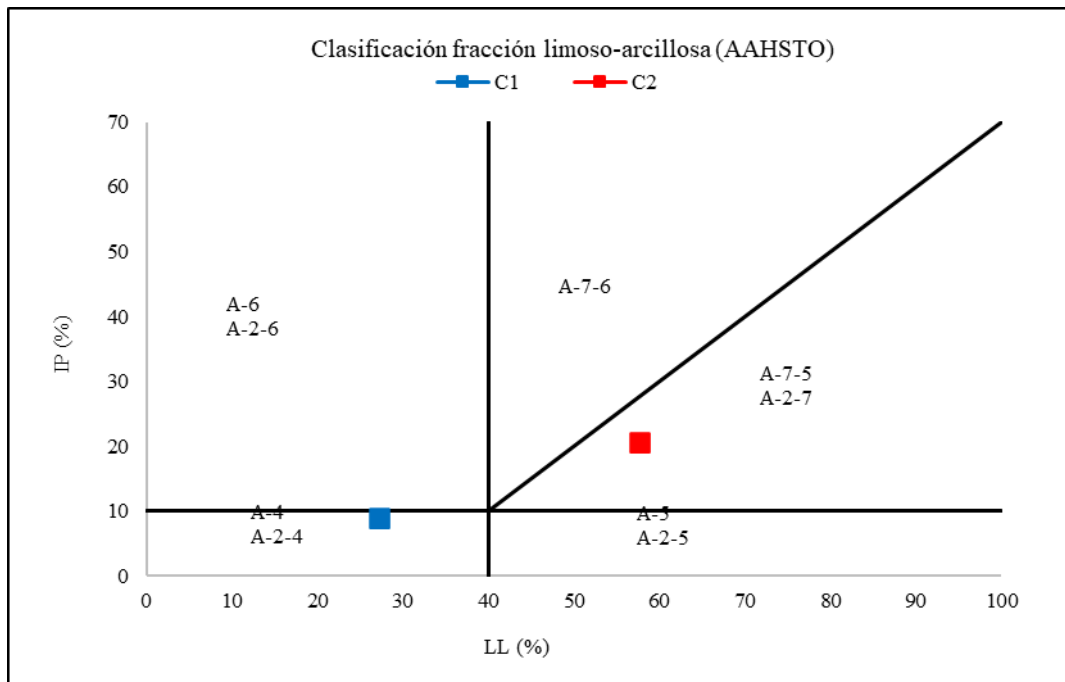
*Campamento Túnel Conchano – Sivingan Bajo*



**Figura 43**

*Clasificación AASHTO del Suelo Natural de la Subrasante de la Carretera*

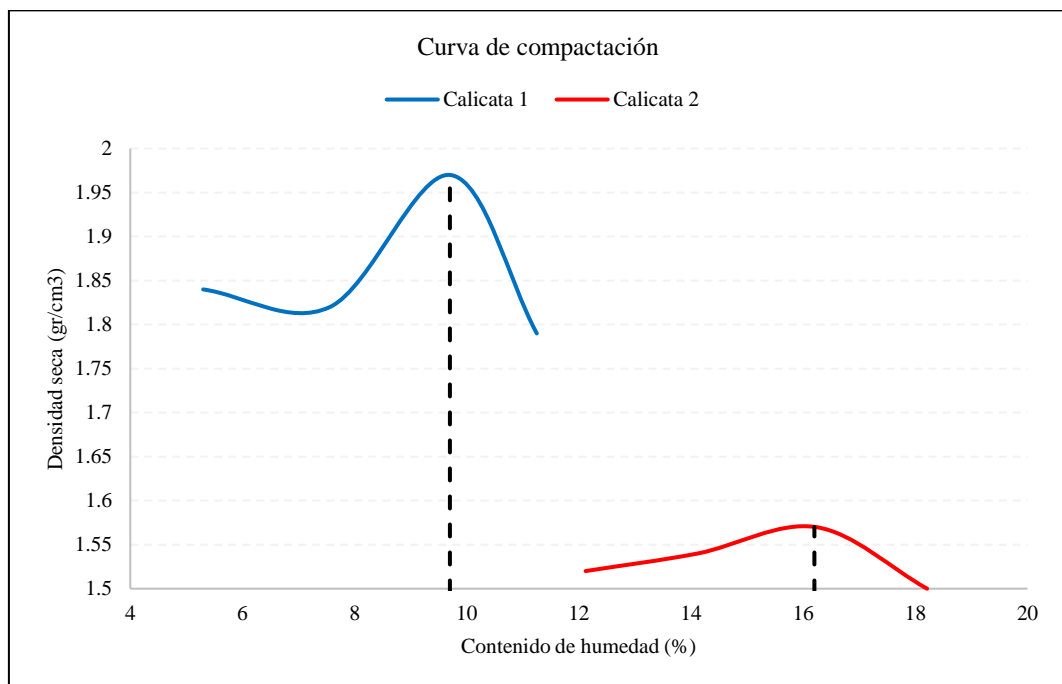
*Campamento Túnel Conchano – Sivingan Bajo*



El análisis de la densidad seca máxima (MDS) refuerza estas diferencias. La muestra de C1 presenta un MDS de  $1.97 \text{ g/cm}^3$ , lo que indica un suelo más denso y estructuralmente más estable. En cambio, en C2, el MDS es  $1.57 \text{ g/cm}^3$ , lo que confirma que este suelo es menos denso y, por lo tanto, más susceptible a deformaciones bajo carga. Esta característica es fundamental, ya que los suelos menos densos tienden a tener menor resistencia y requieren mejoras para cumplir con los estándares de pavimentación.

#### Figura 44

*Curva de Compactación del Suelo Natural de la Subrasante de la Carretera Campamento Túnel Conchano – Sivingan Bajo*

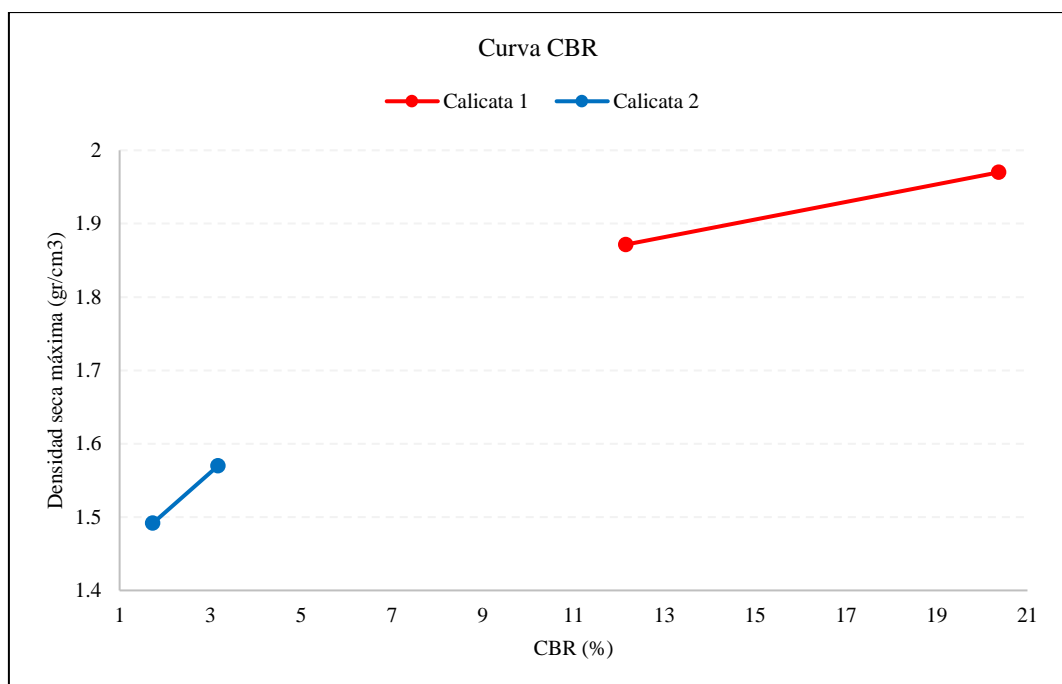


Según la normativa del MTC (2014), una subrasante con un CBR menor a 6% se considera insuficiente y requiere estabilización. En la calicata C1, se obtuvo un CBR del 20.37% al 100% de la MDS y un CBR del 12.15% al 95% de la MDS, lo que indica que este suelo tiene una capacidad de soporte aceptable y puede ser utilizado sin mayores problemas. En cambio, en la calicata C2, el CBR al 100% de la MDS fue de solo 3.17% y al 95% de la MDS apenas alcanzó 1.73%,

valores que se encuentran muy por debajo del umbral mínimo de 6%. Esto confirma que el suelo de C2 es insuficiente para servir como subrasante sin estabilización, ya que no ofrece la resistencia necesaria para soportar las cargas del tráfico. Además del CBR y la resistencia a compresión no confinada son factores determinantes en la estabilidad del suelo. En este caso, la resistencia a compresión de C1 es de 1.176 kg/cm<sup>2</sup>, mientras que en C2 es de 0.672 kg/cm<sup>2</sup>, lo que indica que C1 tiene una mayor capacidad para resistir fuerzas tangenciales, mientras que C2 es más propenso a deslizamientos y deformaciones. En cuanto a la resistencia a compresión no confinada, se estableció que para que un suelo sea adecuado como base granular, debe superar los 3.51 kg/cm<sup>2</sup>. Sin embargo, en ambos casos, los valores obtenidos están muy por debajo de este límite, lo que indica que ni C1 ni C2 pueden ser utilizados directamente como base granular sin un tratamiento previo.

**Figura 45**

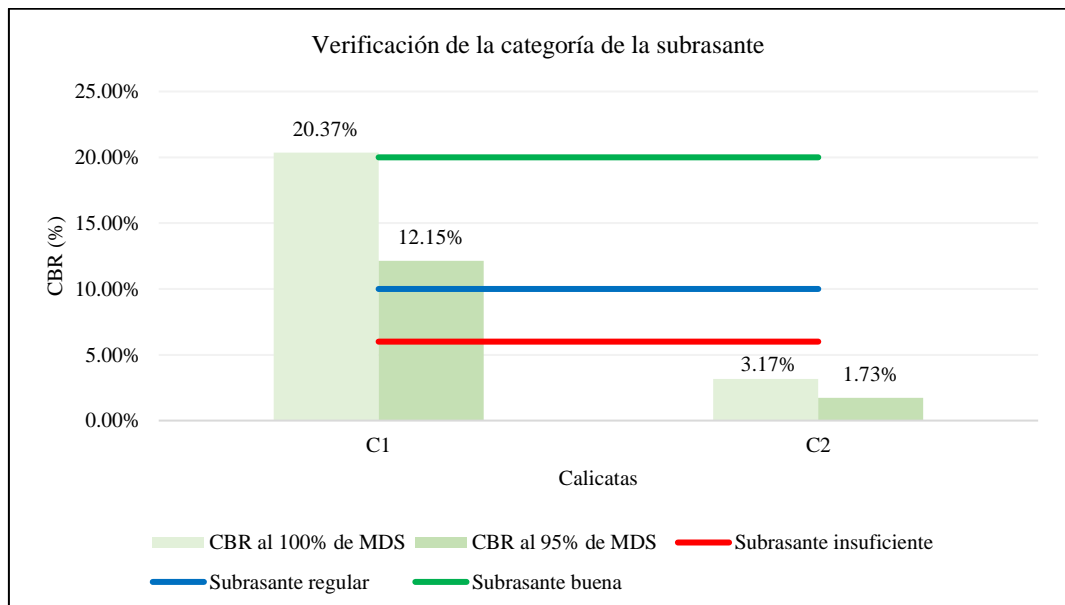
*Curva CBR del Suelo Natural de la Subrasante de la Carretera Campamento  
Túnel Conchano – Sivingan Bajo*



A partir de los resultados obtenidos en esta investigación, se concluye que la subrasante de la carretera Campamento Túnel Conchano – Sivingan Bajo requiere estabilización, especialmente en la zona representada por la calicata C2. Los criterios del MTC (2014) establecen que un suelo con un CBR menor a 6% no es adecuado para subrasante y necesita estabilización. Dado que C2 presenta un CBR de solo 3.17% al 100% de MDS y 1.73% al 95% de MDS, este suelo es estructuralmente insuficiente. Además, su alta plasticidad (IP de 20.66%) y alto contenido de finos (72.20%) lo hacen altamente susceptible a expansiones y contracciones con los cambios de humedad, lo que compromete la estabilidad de la carretera. Si bien C1 muestra mejores características mecánicas y un CBR aceptable, su resistencia a compresión es insuficiente para ser utilizada como base granular sin tratamiento. Por lo tanto, se debe aplicar un proceso de estabilización con cal en la subrasante, particularmente en la zona de C2, para mejorar su capacidad de soporte.

**Figura 46**

*Verificación de la Categoría de la Subrasante del Suelo Natural de la Carretera Campamento Túnel Conchano – Sivingan Bajo*



**4.1.2. Selección del porcentaje de cal para el tratamiento del suelo de la subrasante de la carretera Campamento Túnel Conchano – Sivingan Bajo y efecto en sus propiedades físico mecánicas**

**4.1.2.1. Selección del porcentaje de cal para la estabilización del suelo de la subrasante de la carretera**

Para determinar la dosificación óptima de cal para la estabilización del suelo de la subrasante en la carretera Campamento Túnel Conchano – Sivingan Bajo, se han seguido dos métodos principales:

- Método tabular del Manual de Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos del MTC (2014), que establece rangos recomendados de cal en función de la clasificación del suelo.
- Método del ábaco del Manual de Ensayos de Materiales del MTC (2016), descrito en la norma NTP 339.167 (2015) y en el MTC E 1108 “Resistencia de mezclas de suelo cal”, que define la dosificación óptima de cal en función del índice de plasticidad (IP) y el porcentaje de material que pasa por el tamiz N° 40.

Ambos métodos fueron aplicados a los suelos analizados en las calicatas C1 y C2, obteniendo los siguientes resultados:

**a) Dosificación de cal según el método tabular del MTC (2014)**

Para determinar el porcentaje óptimo de cal requerido para la estabilización del suelo en la carretera Campamento Túnel Conchano – Sivingan Bajo, se aplicó en primer lugar el método tabular del Manual de Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos del MTC (2014). Este manual proporciona una tabla de referencia en la que se establecen rangos de dosificación de cal en función de la clasificación del suelo.

Según esta metodología, los suelos se dividen en tres categorías principales: mezclas de grava y arcilla, suelos limosos con arcilla y suelos altamente arcillosos. Para las mezclas de grava y arcilla, como es el caso de la calicata 1 (C1), el porcentaje recomendado de cal oscila entre 2% y 4%, con un valor ideal de 3%. Por otro lado, los suelos limosos con arcilla, como la calicata 2 (C2), requieren entre 3% y 7% de cal, con un valor ideal de 5%. Finalmente, para los suelos altamente arcillosos, el porcentaje de cal recomendado es aún mayor, oscilando entre 5% y 10%, con un promedio de 7%.

De acuerdo con estos criterios, la calicata 1, que ha sido clasificada como grava con arcilla (GC), requiere un 3% de cal para su estabilización. En cambio, la calicata 2, que se clasifica como limo de alta plasticidad (MH), debe estabilizarse con 5% de cal. Como la calicata 2 representa el suelo más crítico, se decidió tomar el valor superior, es decir, 5% de cal para toda la subrasante, garantizando así una estabilización homogénea y efectiva en la carretera.

### **Tabla 23**

*Porcentaje de Cal, según Clasificación del Suelo de la Carretera Campamento Túnel Conchano – Sivingan Bajo*

	<b>Tipo</b>	<b>Cal (%)</b>		<b>Porcentaje ideal</b>
	Mezclas de grava y arcilla	2	4	3
MTC (2014)	Suelos limosos con arcilla	3	7	5
	Suelos altamente arcillosos	5	10	7
C1	GC grava con arcilla			3
C2	MH limos de alta plasticidad			5
	Porcentaje elegido			5

Nota: (MTC, 2014).

### **b) Dosificación de cal según el ábaco del MTC (2016)**

Para reforzar la selección de la cantidad óptima de cal, se aplicó el método del ábaco del Manual de Ensayos de Materiales del MTC (2016), que también está

descrito en la NTP 339.167 (2015), este método permite definir la dosificación de cal en función del índice de plasticidad (IP) y el porcentaje de material que pasa el tamiz N° 40.

A partir de los ensayos de laboratorio realizados en los suelos de ambas calicatas, se determinó que C1 tiene un índice de plasticidad de 8.94% y un 22.1% de material que pasa el tamiz N° 40, mientras que C2 presenta un índice de plasticidad de 20.66% y un 82.2% de material que pasa el tamiz N° 40. Con estos valores, se ubicaron los puntos correspondientes en el ábaco del MTC E 1108, donde se encontró que la cantidad recomendada de cal para C1 es del 3%, mientras que para C2 se encuentra en el rango de 4% a 5%.

Siguiendo el mismo criterio de seguridad utilizado en el método tabular, se tomó el valor más alto dentro del rango, optando nuevamente por un 5% de cal como porcentaje óptimo de estabilización. De esta manera, los resultados de ambos métodos coincidieron en la necesidad de utilizar una cantidad uniforme de 5% de cal para garantizar la estabilidad del suelo de la subrasante.

**Tabla 24**

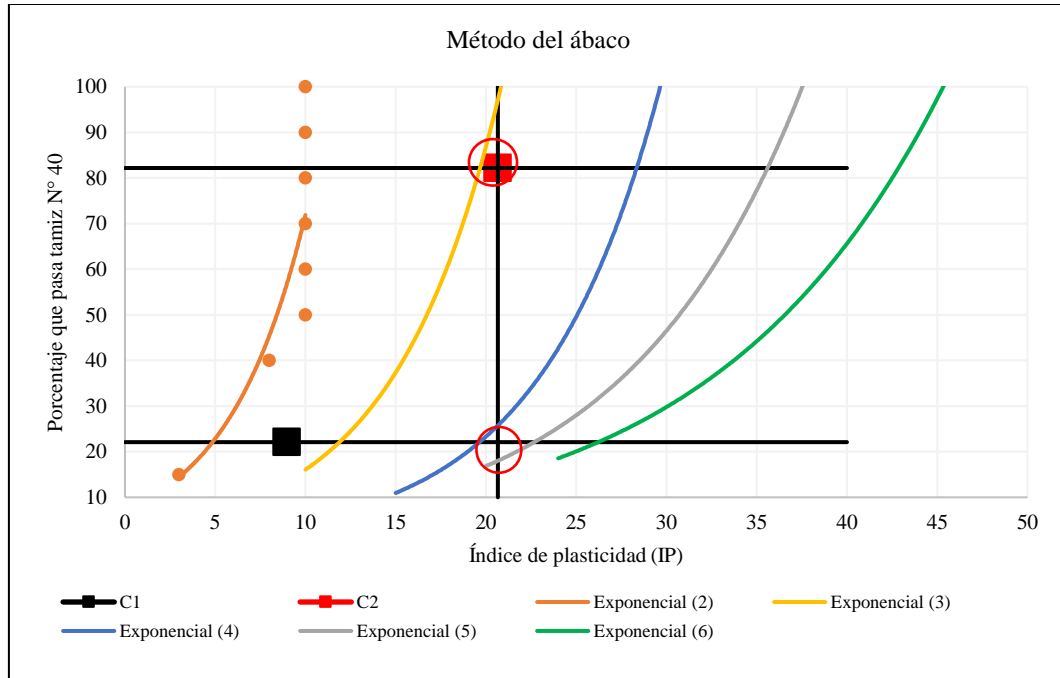
*IP y Porcentaje que Pasa Tamiz N° 40 para Definir el Porcentaje de Cal para la Estabilización del Suelo de la Carretera Campamento Túnel Conchano –*

*Sivingan Bajo*

Calicata	IP	% que pasa tamiz N° 40
C1	8.97	22.1
C2	20.66	82.2

**Tabla 25**

*Ábaco para Definir la Cantidad de Cal para la Estabilización de la Subrasante de la Carretera Campamento Túnel Conchano – Sivingan Bajo*



Nota: La imagen se ha tomado del MTC (2016) y NTP 339.167 (2015).

**c) Selección del porcentaje final de cal para la estabilización**

Teniendo en cuenta que tanto el método tabular del MTC (2014) como el método del ábaco del MTC (2016) y la NTP 339.167 (2015) coinciden en que la calicata 2 requiere un 5% de cal, se decidió adoptar este porcentaje para toda la subrasante; la decisión se basa en el principio de seguridad, priorizando la estabilización de la zona más crítica. La selección de 5% de cal se justifica porque, el suelo de la calicata 2 tiene una alta plasticidad y elevado contenido de finos, lo que lo hace más susceptible a cambios volumétricos y pérdida de resistencia cuando está saturado. En segundo lugar, la aplicación de un único porcentaje en toda la subrasante facilita la ejecución de las obras y asegura una estabilización uniforme a lo largo de la carretera. Finalmente, la elección del valor superior en ambos métodos minimiza el riesgo de fallas estructurales.

#### 4.1.2.2. Propiedades físico mecánicas del suelo de la subrasante de la carretera estabilizado con 5% de cal

El tratamiento con 5% de cal mejoró significativamente las propiedades mecánicas del suelo en ambas calicatas, tal como, se puede observar en la siguiente tabla:

**Tabla 26**

*Propiedades Físico Mecánicas del Suelo de la Subrasante de la Carretera*

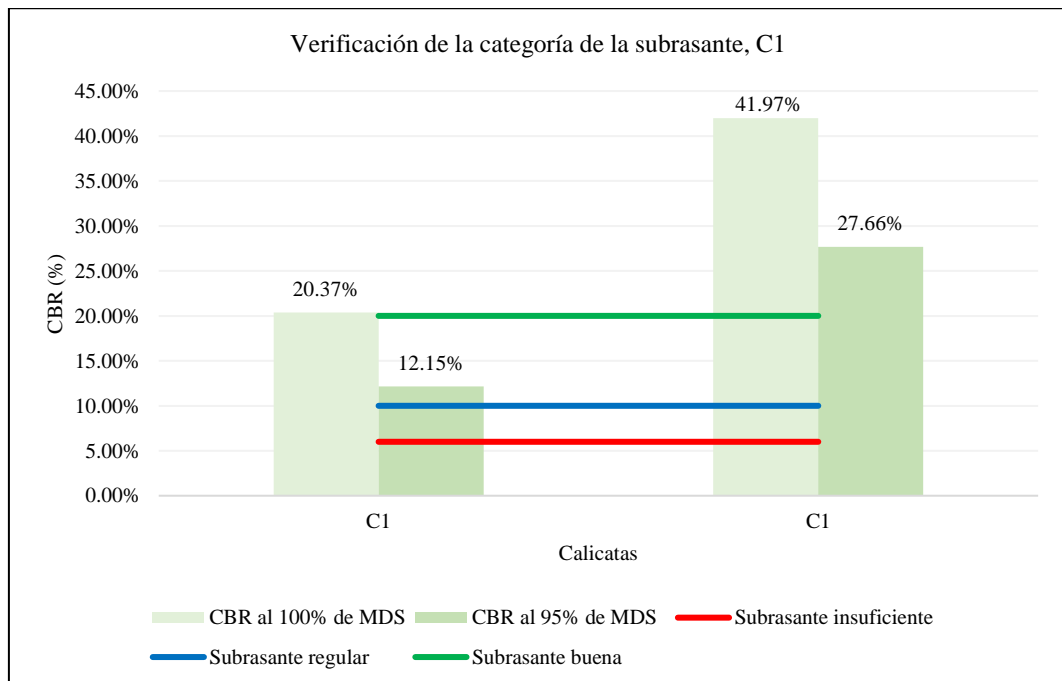
*Campamento Túnel Conchano – Sivingan Bajo Estabilizada con 5% de Cal*

Propiedades físico mecánicas	Calicata 1		Calicata 2	
Calicata	C1	C1	C2	C2
Temperatura	Ambiente	Ambiente	Ambiente	Ambiente
Temperatura	18 °C	18 °C	18 °C	18 °C
Porcentaje de cal	5%	5%	5%	5%
Humedad	16.73%	14.89%	23.10%	20.14%
Grava 3" - N° 4	52.35%	51.95%	0.00%	0.00%
Arena N° 4 - N° 200	28.60%	29.65%	27.80%	29.80%
Arena gruesa	17.90%	17.70%	5.20%	5.20%
Arena media	7.65%	8.20%	12.60%	12.40%
Arena fina	3.05%	3.75%	10.00%	12.20%
Finos	19.05%	18.40%	72.20%	70.20%
LL	27.20%	25.93%	57.69%	48.73%
LP	18.26%	17.52%	37.03%	37.03%
IP	8.94%	8.41%	20.66%	11.70%
Clasificación SUCS	GC	GC	MH	MH
MDS	1.97 g/cm <sup>3</sup>	2.05 g/cm <sup>3</sup>	1.57 g/cm <sup>3</sup>	1.67 g/cm <sup>3</sup>
OCH	9.70%	7.20%	16.20%	13.50%
Expansión	0.00%	0.00%	8.61%	3.59%
CBR al 100% de MDS	20.37%	41.97%	3.17%	6.50%
CBR al 95% de MDS	12.15%	27.66%	1.73%	3.87%
Resistencia a compresión (kg/cm <sup>2</sup> )	1.176	3.54	0.672	2.03
M1	1.183	3.536	0.662	2.002
M2	1.155	3.571	0.683	2.052
M3	1.189	3.509	0.67	2.031

En C1, el suelo estabilizado cumple con los criterios del MTC (2014), ahora presenta un CBR alto, una resistencia a compresión adecuada y una reducción en su plasticidad, lo que lo hace apto para su uso como subrasante estabilizada. Sin embargo, en C2, aunque el tratamiento con cal mejoró sus propiedades, la resistencia a compresión sigue por debajo del umbral de 3.51 kg/cm<sup>2</sup> para suelo tratado en subrasantes, y su CBR apenas alcanza el mínimo de 6% recomendado; esto indica que, aunque C2 es un suelo aceptable para vías afirmadas, requerirá técnicas adicionales de estabilización, como la incorporación de una capa de over si se desea construir el pavimento vial.

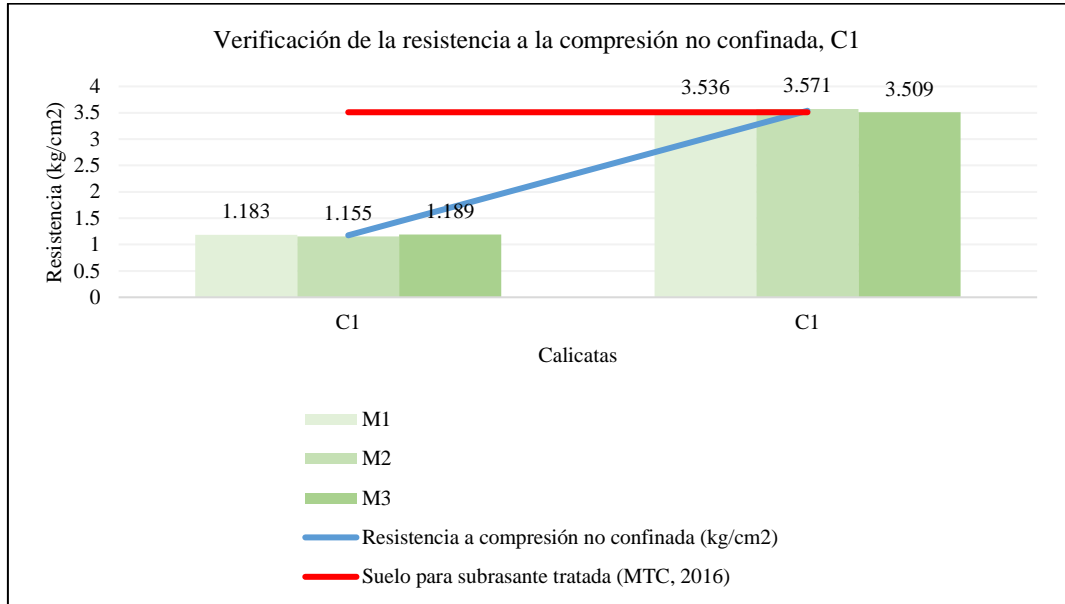
**Figura 47**

*Verificación de la Capacidad de Soporte (CBR) del Suelo de la Subrasante Estabilizada de la Carretera Campamento Túnel Conchano – Sivingan Bajo, con 5% de Cal, C1*



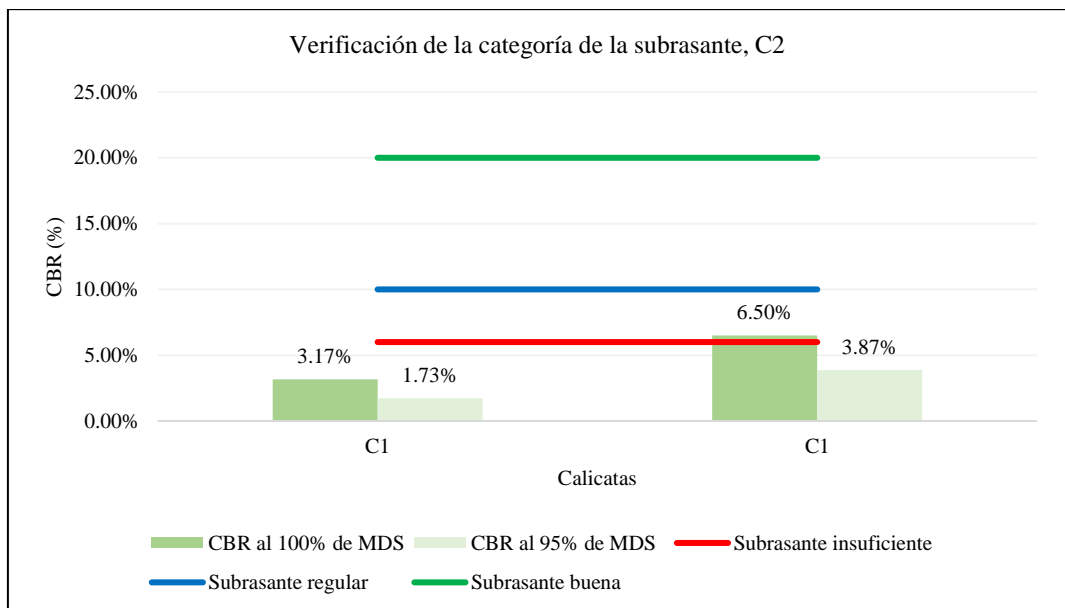
**Figura 48**

*Verificación de la Resistencia a la Compresión no Confinada del Suelo de la Subrasante Estabilizada de la Carretera Campamento Túnel Conchano – Sivingan Bajo, con 5% de Cal, C1*



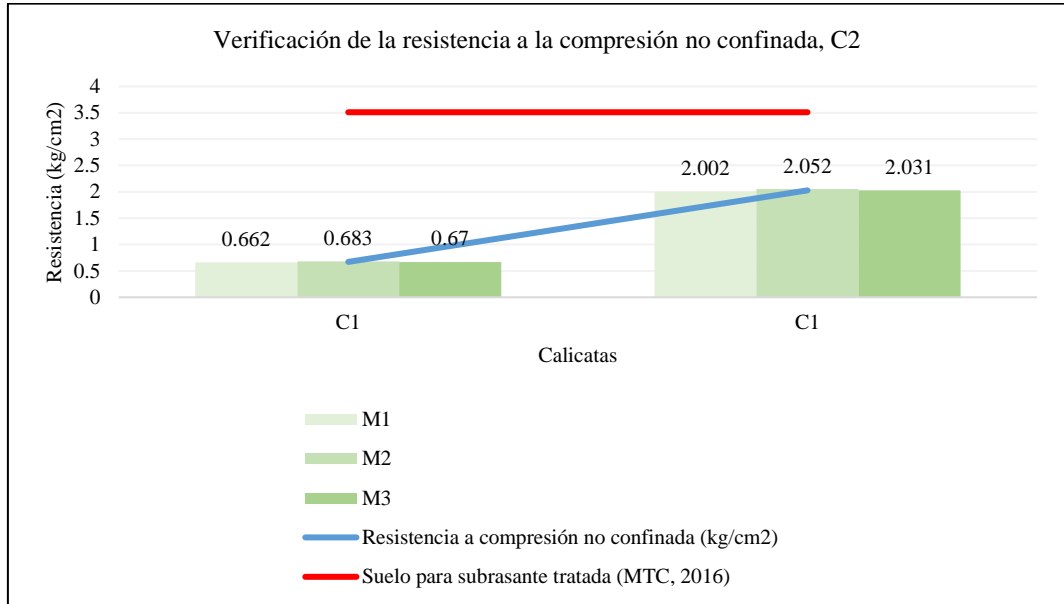
**Figura 49**

*Verificación de la Capacidad de Soporte (CBR) del Suelo de la Subrasante Estabilizada de la Carretera Campamento Túnel Conchano – Sivingan Bajo, con 5% de Cal, C2*



**Figura 50**

*Verificación de la Resistencia a la Compresión no Confinada del Suelo de la Subrasante Estabilizada de la Carretera Campamento Túnel Conchano – Sivingan Bajo, con 5% de Cal, C2*

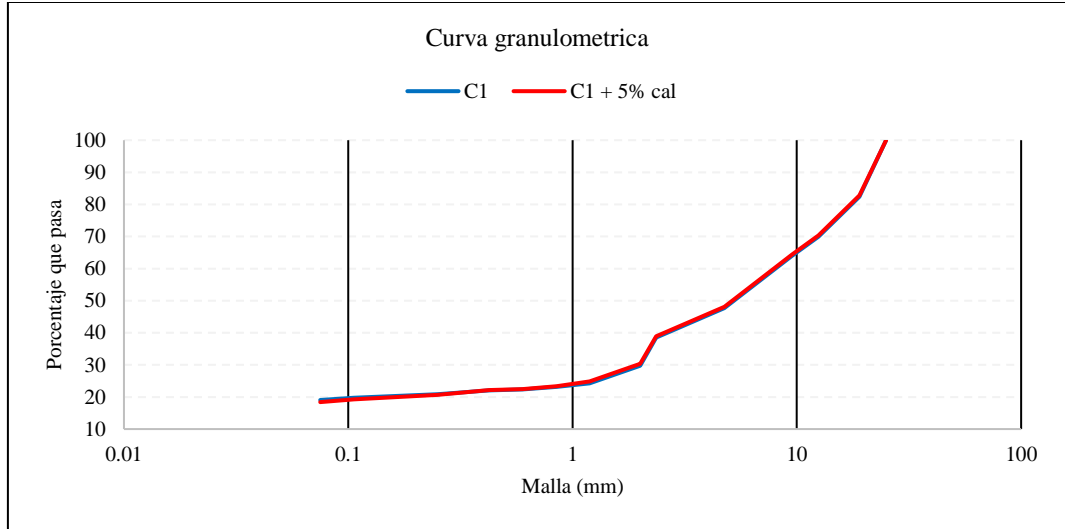


**a) Calicata 1 (C1)**

En C1, la aplicación de 5% de cal generó una leve reducción en la humedad del suelo, pasando de 16.73% a 14.89%; esta disminución es esperada debido a la reacción química entre la cal y el agua, que reduce la cantidad de humedad disponible en la mezcla y mejora la estabilidad del suelo. En cuanto a la composición granulométrica, no se observan cambios significativos en el contenido de grava, arena y finos. El porcentaje de grava se mantuvo cercano al 52%, mientras que los finos se redujeron ligeramente de 19.05% a 18.40%, lo que indica que la cal no alteró drásticamente la distribución de partículas, pero sí promovió cierta aglomeración de finos.

**Figura 51**

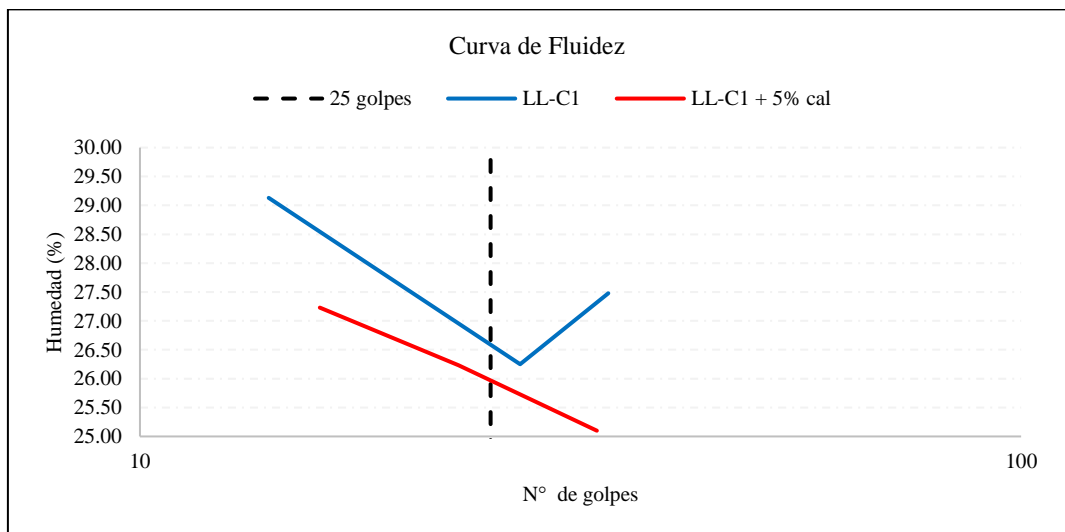
*Granulometría del Suelo Estabilizado con 5% de Cal de la Subrasante de la Carretera Campamento Túnel Conchano – Sivingan Bajo, CI*



Los límites de consistencia muestran una ligera reducción en el IP, que pasó de 8.94% a 8.41%, manteniéndose en la categoría de plasticidad media según el MTC (2014). Aunque esta variación no es drástica, indica que el suelo ha reducido su susceptibilidad a cambios volumétricos por humedad.

**Figura 52**

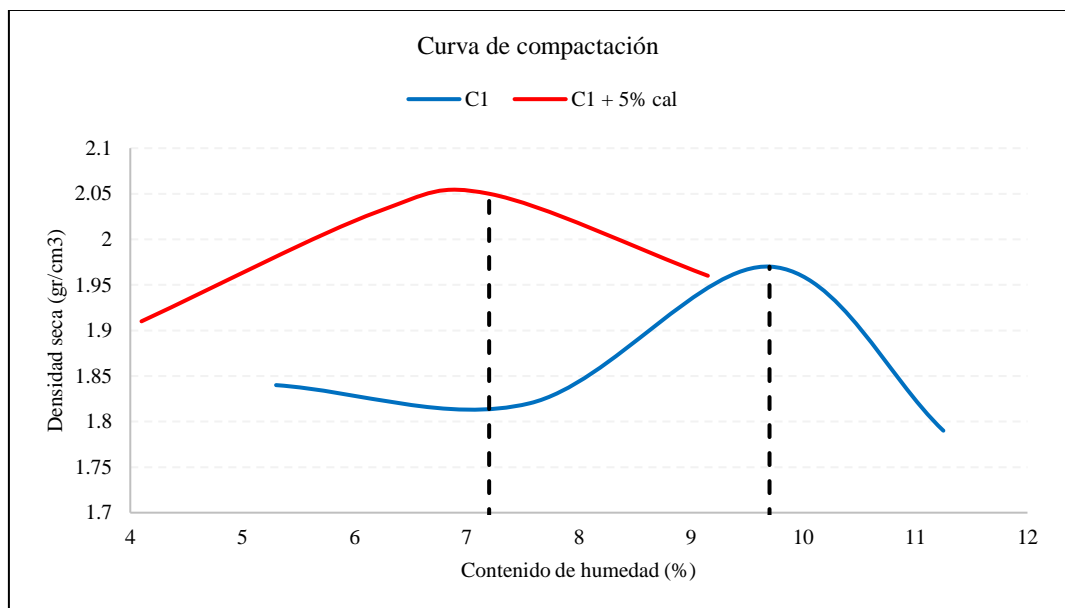
*Curva de Fluidez del Suelo Estabilizado con 5% de Cal de la Subrasante de la Carretera Campamento Túnel Conchano – Sivingan Bajo, CI*



Uno de los efectos más notables del tratamiento con cal en C1 fue el aumento en la MDS, que pasó de 1.97 g/cm<sup>3</sup> a 2.05 g/cm<sup>3</sup>; este incremento indica que el suelo estabilizado puede alcanzar una mayor densidad al compactarse, lo que mejora su capacidad de carga y estabilidad estructural. El OCH se redujo de 9.70% a 7.20%, lo que implica que el suelo tratado requiere menos agua para alcanzar su máxima compactación, este comportamiento es característico de los suelos tratados con cal, donde la reducción en la plasticidad disminuye la cantidad de agua necesaria para la compactación.

### Figura 53

*Curva de Compactación del Suelo Estabilizado con 5% de Cal de la Subrasante de la Carretera Campamento Túnel Conchano – Sivingan Bajo, C1*



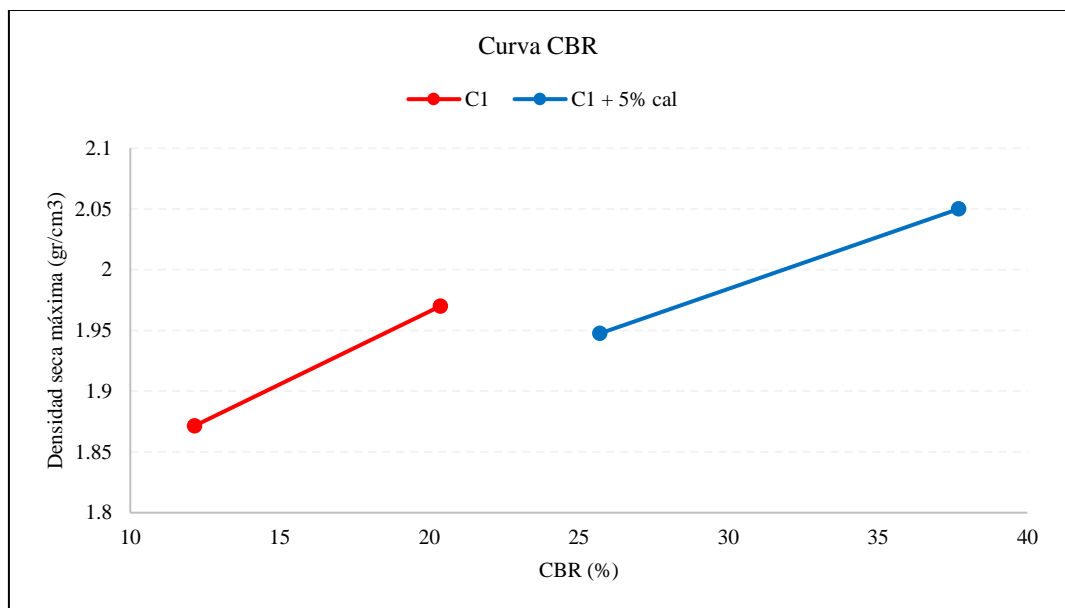
Uno de los efectos más notables de la estabilización con cal en C1 es la mejora en la capacidad de soporte medida a través del CBR. El CBR al 100% de la MDS aumentó de 20.37% a 41.97%, lo que indica una mayor capacidad del suelo para resistir cargas. El CBR al 95% de la MDS se incrementó de 12.15% a 27.66%, lo que confirma una mejora sustancial en su estabilidad estructural. Dado que el MTC (2014) establece que un suelo con CBR menor a 6% es insuficiente,

estos resultados demuestran que C1 no requiere estabilización adicional y ha alcanzado una capacidad óptima para su uso en la subrasante.

El tratamiento con cal tuvo un impacto notable en la resistencia del suelo a esfuerzos mecánicos. La resistencia a la compresión no confinada aumentó de 1.176 kg/cm<sup>2</sup> a 3.54 kg/cm<sup>2</sup>, superando el umbral mínimo de 3.51 kg/cm<sup>2</sup> requerido por el MTC (2014) para su uso en la subrasante estabilizada, siendo así, la resistencia a compresión también mostró una mejora significativa, consolidando la estabilidad del suelo tratado.

#### Figura 54

*Curva CBR del Suelo Estabilizado con 5% de Cal de la Subrasante de la Carretera Campamento Túnel Conchano – Sivingan Bajo, C1*



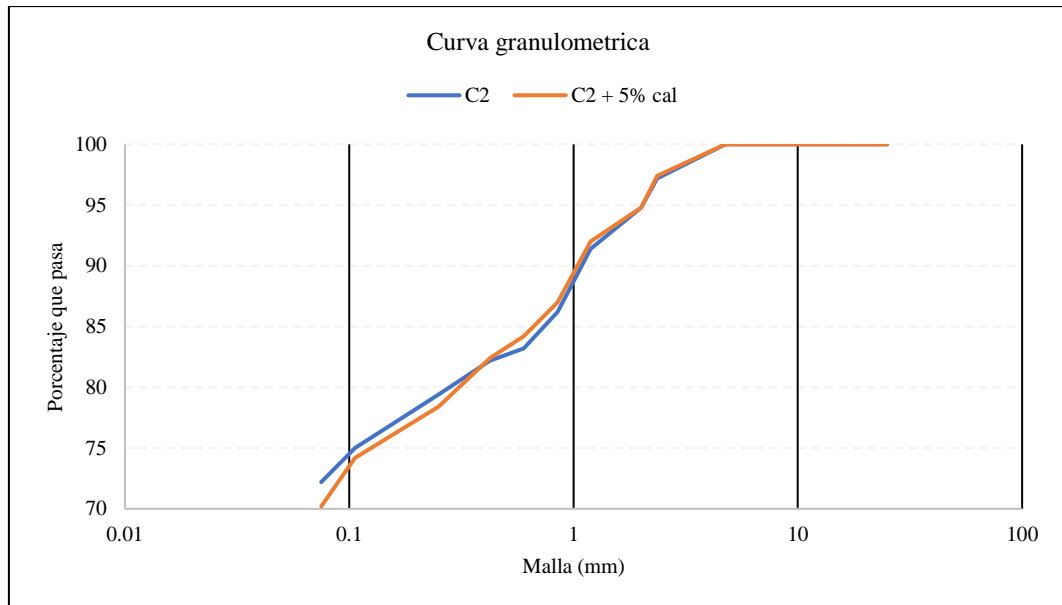
#### b) Calicata 2 (C2)

En C2, la aplicación de 5% de cal también resultó en una disminución en la humedad del suelo, pasando de 23.10% a 20.14%; sin embargo, esta reducción es menor en comparación con C1, lo que sugiere que el alto contenido de finos en C2 (72.20% antes del tratamiento) sigue reteniendo más humedad, a pesar del

efecto estabilizador de la cal. En términos de granulometría, la cantidad de finos experimentó una ligera disminución, bajando de 72.20% a 70.20%, lo que indica que la cal generó cierta aglomeración de partículas finas; sin embargo, la proporción de arena y la ausencia de grava se mantuvieron constantes, sin cambios significativos, debido a que, la cal también es un material de gradación fina.

**Figura 55**

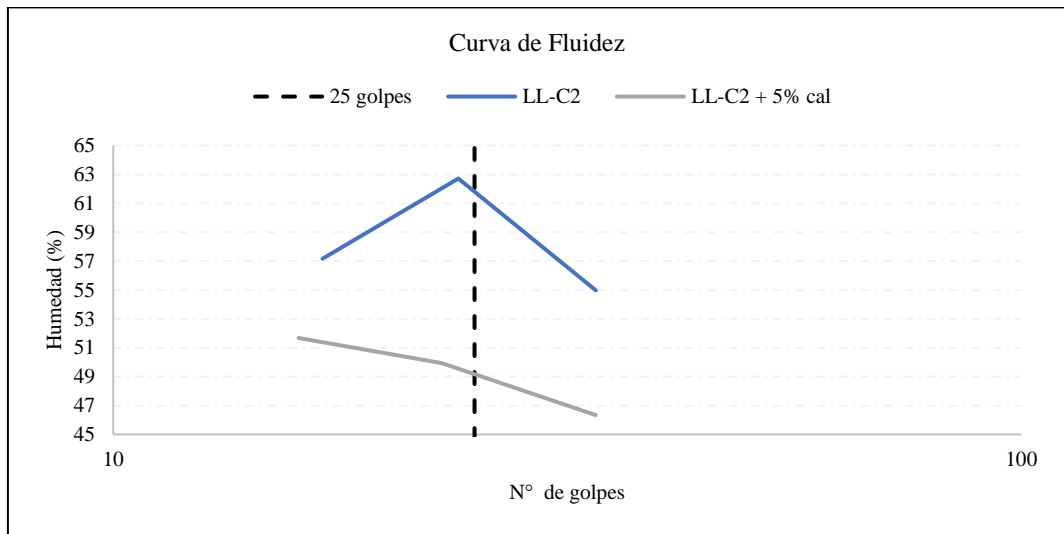
*Granulometría del Suelo Estabilizado con 5% de Cal de la Subrasante de la Carretera Campamento Túnel Conchano – Sivingan Bajo, C1*



Uno de los cambios más relevantes en C2 es la reducción en su índice de plasticidad (IP), que pasó de 20.66% a 11.70%, disminuyendo de alta plasticidad a media plasticidad; este cambio es importante, ya que implica que el suelo estabilizado es menos susceptible a expansiones y contracciones debido a la humedad, lo que mejora significativamente su estabilidad.

**Figura 56**

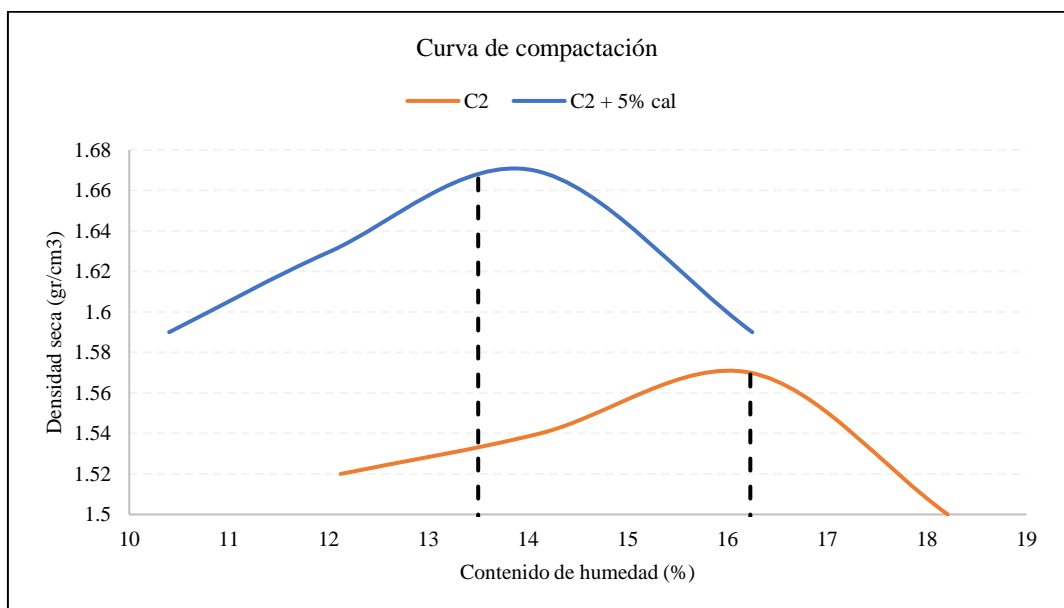
*Curva de Fluidez del Suelo Estabilizado con 5% de Cal, C1*



El tratamiento con cal aumentó la MDS de  $1.57 \text{ g/cm}^3$  a  $1.67 \text{ g/cm}^3$ , lo que indica que el suelo estabilizado puede alcanzar mayor densidad a compactación; sin embargo, este incremento es menor que en C1, lo que sugiere que C2 sigue siendo más difícil de compactar por su alto contenido de finos. El OCH disminuyó de 16.20% a 13.50%, el suelo requiere menos agua para alcanzar su compactación.

**Figura 57**

*Curva de Compactación del Suelo Estabilizado con 5% de Cal, C1*

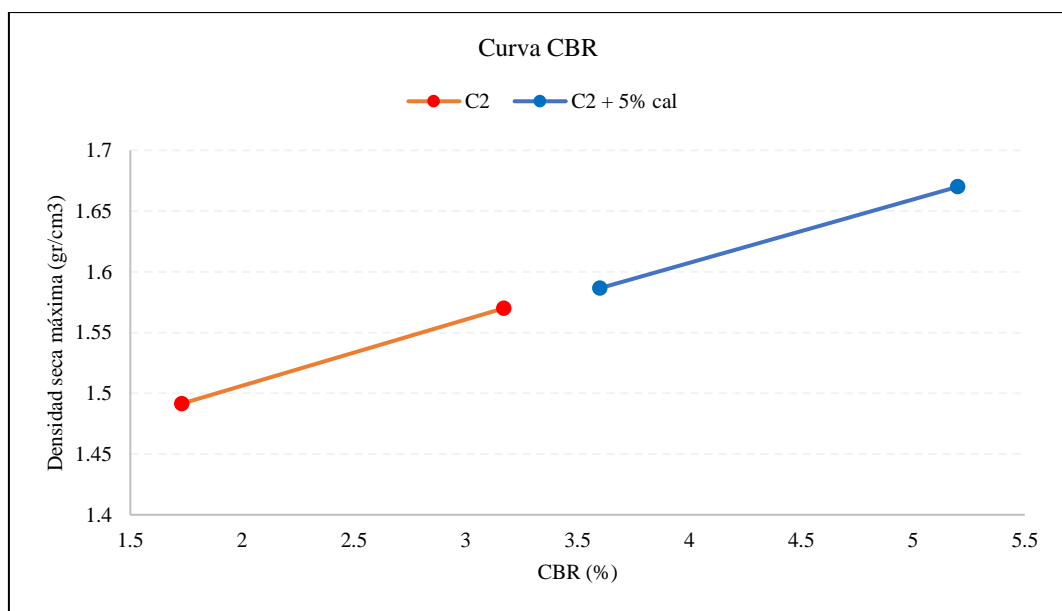


A diferencia de C1, la mejora en el CBR de C2 fue menos pronunciada. El CBR al 100% de la MDS pasó de 3.17% a 6.50%, alcanzando apenas el umbral mínimo requerido por el MTC (2014). El CBR al 95% de la MDS aumentó de 1.73% a 3.87%, lo que indica que, aunque mejoró, su capacidad de soporte sigue siendo baja. Estos resultados indican que C2 es un suelo aceptable para su uso como subrasante, pero que aún podría mejorarse más sus propiedades mecánicas.

En términos de resistencia mecánica, C2 mostró mejoras, pero no lo suficiente como para cumplir con los estándares del MTC (2014) para suelo tratado. La resistencia a la compresión no confinada pasó de 0.672 kg/cm<sup>2</sup> a 2.03 kg/cm<sup>2</sup>, sin alcanzar el mínimo requerido de 3.51 kg/cm<sup>2</sup>, siendo así, la resistencia a compresión también aumentó, aunque sigue siendo menor en comparación con C1. Por lo que, es aceptable para carreteras afirmadas, pero tiene que mejorarse aún más su capacidad mecánica si se utilizan en carreteras pavimentadas.

### Figura 58

*Curva CBR del Suelo Estabilizado con 5% de Cal de la Subrasante de la Carretera Campamento Túnel Conchano – Sivingan Bajo, C1*



**4.1.3. Capacidad de soporte (CBR) del suelo tratado con cal sometido a temperaturas de 4 °C, 16 °C, 24 °C y 30 °C durante el curado con agua potable sin clorar**

Se analizó el efecto en la capacidad de soporte (CBR) del suelo tratado con cal sometido a temperaturas de 4 °C, 16 °C, 24 °C y 30 °C durante el curado con agua potable sin clorar. La temperatura ambiental de referencia en Chota es 18°C, lo que permite comparar los resultados con condiciones reales de campo.

El CBR al 100% y al 95% de MDS aumenta con la temperatura de curado, con su mejor desempeño a 30°C. C1 mostró una mejor respuesta a la cal en todas las temperaturas, con valores de CBR significativamente más altos que el suelo C2, esto debido a que, el suelo natural en C1 presenta mejores características mecánicas que, C2. El suelo en la calicata 2 a temperaturas menores a 16°C, el CBR sigue siendo insuficiente, lo que indica que el suelo de C2 responde peor al tratamiento con cal en climas fríos. A temperaturas frías (4°C), C2 no es adecuado como subrasante estabilizada, mientras que C1 mantiene valores aceptables. A temperaturas superiores a 18°C, el CBR del suelo de C2 mejora, pero sigue siendo menor que en C1. Siendo así, el suelo en C2 aún presenta expansión, aunque reducida en comparación con su estado sin cal. Por tanto, el mejoramiento del suelo con cal es adecuada, pero tiene limitaciones para climas fríos en la capacidad de soporte en suelos limosos de alta plasticidad, como los de C2.

**Tabla 27**

*Capacidad de Soporte (CBR) al 100% MDS del Suelo Tratado con Cal al 5%, Sometido a Diferentes Temperaturas*

Temperatura	18 °C	4 °C	16 °C	18 °C	24 °C	30 °C
Calicata 1	20.37%	37.70%	40.20%	41.97%	45.93%	56.60%
Calicata 2	3.17%	5.20%	5.90%	6.50%	7.40%	10.67%

### **a) Calicata 1**

El incremento del CBR con el aumento de temperatura sugiere que la cal mejora la capacidad de soporte del suelo de manera más eficiente a temperaturas más altas. La reacción química entre la cal y el suelo se ve favorecida con un aumento en la temperatura del entorno durante el periodo de curado, lo que acelera la formación de compuestos cementantes y mejora la resistencia del suelo estabilizado. En la calicata C1, el CBR al 100% de MDS mostró un incremento progresivo conforme aumenta la temperatura de curado. A 4°C, el CBR alcanzó 37.70%, representando una mejora significativa respecto al suelo sin cal (20.37%), pero menor en comparación con las temperaturas más altas. A 16°C, el CBR se incrementó a 40.20%, indicando que a temperaturas más moderadas la reacción de la cal con el suelo mejora la resistencia. A 18°C (temperatura ambiental de referencia), el CBR alcanzó 41.97%, lo que confirma que el proceso de estabilización es más efectivo a temperaturas cercanas a la ambiental. A 24°C, el CBR se elevó a 45.93%, mostrando una tendencia ascendente. A 30°C, el CBR llegó a 56.60%, representando el valor más alto en la muestra. El comportamiento del CBR al 95% de MDS en C1 también mostró una tendencia creciente con la temperatura: A 4°C, el CBR fue 25.70%, a 16°C, aumentó a 26.31%, a 18°C, fue 27.66%, mostrando una ligera variación con respecto a 16°C; a 24°C, alcanzó 29.83%, a 30°C, se elevó a 33.11%, confirmando que la temperatura influye positivamente en la resistencia del suelo tratado. Este comportamiento sugiere que la estabilización con cal en C1 es altamente efectiva y que su desempeño mejora con el curado en ambientes más cálidos.

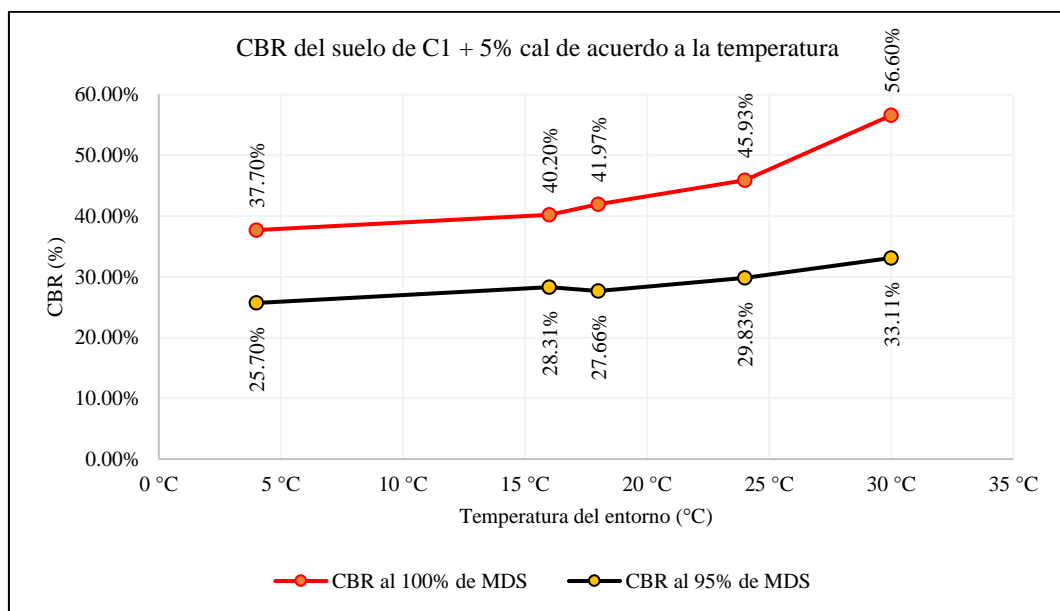
**Tabla 28**

*Capacidad de Soporte (CBR) del Suelo Tratado con Cal al 5%, Sometido a Diferentes Temperaturas, C1 de la Carretera Campamento Túnel Conchano – Sivingan Bajo*

Porcentaje de cal	0%	5%	5%	5%	5%	5%
Temperatura	18 °C	4 °C	16 °C	18 °C	24 °C	30 °C
Expansión	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
CBR al 100% de MDS	20.37%	37.70%	40.20%	41.97%	45.93%	56.60%
CBR al 95% de MDS	12.15%	25.70%	26.31%	27.66%	29.83%	33.11%

**Figura 59**

*Capacidad de Soporte (CBR) del Suelo Tratado con Cal al 5%, Sometido a Diferentes Temperaturas, C1 de la Carretera Campamento Túnel Conchano – Sivingan Bajo*



**b) Calicata 2**

El tratamiento con 5% de cal mejoró la capacidad de soporte del suelo en C2, pero a temperaturas frías la estabilización sigue siendo insuficiente. En

particular, a 4°C y 16°C, el CBR se mantiene por debajo del umbral mínimo, lo que sugiere que en condiciones frías este suelo no es adecuado para la subrasante.

El CBR en C2 mejoró conforme la temperatura aumentó, pero los valores iniciales fueron considerablemente más bajos que en C1, lo que sugiere que la estabilización con cal no fue tan efectiva en C2 como en C1; sin embargo, el CBR al 100% de MDS superó el 6% en temperaturas mayores a 16°C, indicando que el suelo puede ser adecuado para subrasante en entornos más cálidos. En la calicata C2, el CBR al 100% de MDS aumentó con la temperatura de curado, pero con valores significativamente más bajos en comparación con C1. A 4°C, el CBR fue 5.20%, apenas por encima del umbral mínimo del MTC (6%), a 16°C, el CBR subió a 5.90%, mostrando una leve mejora; a 18°C (temperatura de análisis ambiental), el CBR alcanzó 6.50%, superando el umbral mínimo; a 24°C, el CBR llegó a 7.40%, evidenciando una mejora progresiva; y a 30°C, el CBR alcanzó 10.67%, indicando que la temperatura más alta favoreció una mayor resistencia en este suelo.

El comportamiento del CBR al 95% de MDS en C2 siguió la misma tendencia ascendente: A 4°C, el CBR fue 3.60%, por debajo del umbral mínimo; a 16°C, aumentó a 4.12%, a 18°C, fue 3.87%, mostrando una leve disminución respecto a 16°C, a 24°C, alcanzó 4.80%, acercándose al umbral mínimo, a 30°C, el CBR aumentó significativamente a 8.36%, por primera vez superando los 6%. El CBR al 95% de MDS en C2 mejoró con la temperatura, pero a 4°C y 16°C sigue siendo insuficiente, lo que indica que este suelo no se estabiliza eficazmente en condiciones frías.

En C2, la expansión del suelo disminuyó conforme aumentó la temperatura, pero no desapareció completamente como en C1. A 18°C, la

expansión fue de 3.59%, la más baja registrada. A temperaturas de 4°C, 16°C y 24°C, la expansión osciló entre 5.02% y 5.05%, lo que sugiere que este suelo aún retiene cierta tendencia expansiva. Pero en todos los casos, la expansión no es alta y es considerada como adecuada para una subrasante estabilizada.

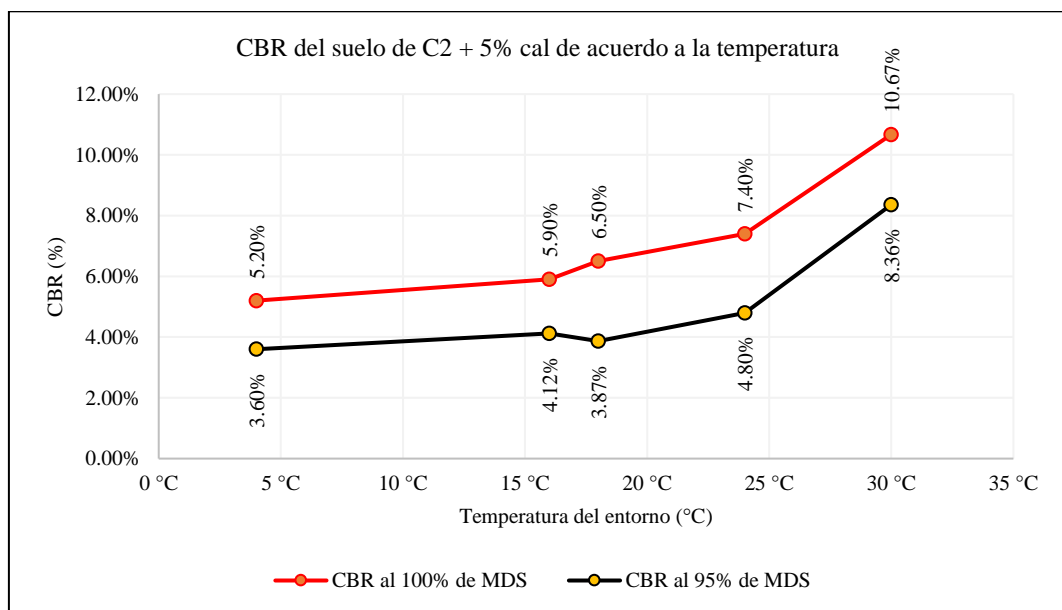
**Tabla 29**

*Capacidad de Soporte (CBR) del Suelo Tratado con Cal al 5%, Sometido a Diferentes Temperaturas, C2 de la Carretera Campamento Túnel Conchano – Sivingan Bajo*

Porcentaje de cal	0%	5%	5%	5%	5%	5%
Temperatura	18 °C	4 °C	16 °C	18 °C	24 °C	30 °C
Expansión	8.61%	5.02%	5.05%	3.59%	5.05%	5.05%
CBR al 100% de MDS	3.17%	5.20%	5.90%	6.50%	7.40%	10.67%
CBR al 95% de MDS	1.73%	3.60%	4.12%	3.87%	4.80%	8.36%

**Figura 60**

*Capacidad de Soporte (CBR) del Suelo Tratado con Cal al 5%, Sometido a Diferentes Temperaturas, C2 de la Carretera Campamento Túnel Conchano – Sivingan Bajo*



#### ***4.1.4. Resistencia a Compresión no Confinada del suelo tratado con cal sometido a temperaturas de 4 °C, 16 °C, 24 °C y 30 °C durante el curado con agua potable sin clorar***

En la calicata C1, la resistencia a compresión no confinada mostró una notable mejora tras la estabilización con cal. Antes del tratamiento, el suelo sin cal tenía una resistencia de 1.18 kg/cm<sup>2</sup>, lo que indicaba una baja capacidad estructural; sin embargo, después de aplicar el 5% de cal, se evidenció un incremento progresivo conforme aumentaba la temperatura de curado. A 4°C, la resistencia alcanzó 3.40 kg/cm<sup>2</sup>, lo que representó una mejora significativa, aunque todavía ligeramente por debajo del umbral de base tratada. A 16°C, la resistencia aumentó a 3.49 kg/cm<sup>2</sup>, acercándose aún más al límite de 3.51 kg/cm<sup>2</sup>. A 18°C, la resistencia llegó a 3.54 kg/cm<sup>2</sup>, superando el umbral mínimo establecido por el MTC. A 24°C, se registró el valor más alto, con 3.65 kg/cm<sup>2</sup>, lo que confirmó que una temperatura de curado más alta optimiza el proceso de estabilización. Finalmente, a 30°C, la resistencia disminuyó levemente a 3.53 kg/cm<sup>2</sup>, aunque permaneció dentro del rango de base tratada.

Los valores individuales de las mediciones en cada temperatura reflejaron consistencia y estabilidad, se observó que los valores más altos se registraron a 24°C, mientras que a 30°C hubo una ligera disminución, esto sugiere que temperaturas excesivamente altas pueden afectar la compactación y/o la estabilidad de la reacción química del suelo con la cal.

La estabilización con cal permitió que C1 alcanzara valores superiores a 3.51 kg/cm<sup>2</sup> a partir de los 18°C, lo que significa que puede considerarse una base tratada. A temperaturas menores a 16°C, la resistencia no alcanzó el umbral mínimo, lo que indica que la estabilización en climas fríos es menos efectiva. La

mejor resistencia se logró a 24°C, mientras que a 30°C se observó una leve disminución. En general, la estabilización con cal fue altamente efectiva en C1, especialmente en temperaturas superiores a 18°C.

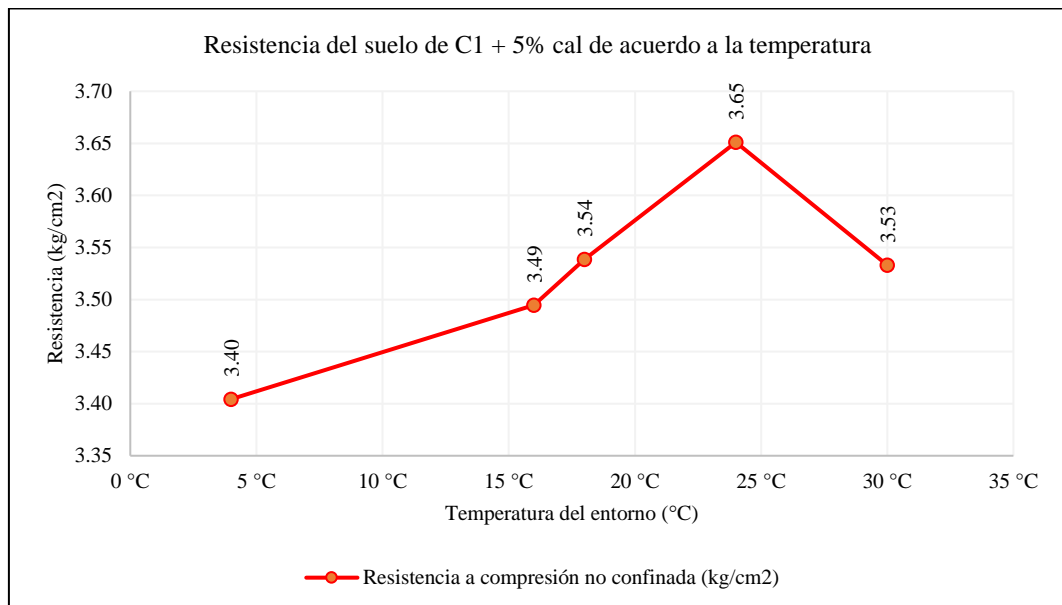
**Tabla 30**

*Resistencia a Compresión no Confinada del Suelo Tratado con Cal al 5%,  
Sometido a Diferentes Temperaturas, C1*

Porcentaje de cal	0%	5%	5%	5%	5%	5%
Temperatura	18 °C	4 °C	16 °C	18 °C	24 °C	30 °C
Resistencia a compresión no confinada (kg/cm <sup>2</sup> )	1.18	3.40	3.49	3.54	3.65	3.53
M1	1.183	3.387	3.458	3.536	3.653	3.539
M2	1.155	3.381	3.519	3.571	3.655	3.537
M3	1.189	3.445	3.507	3.509	3.645	3.523

**Figura 61**

*Resistencia a Compresión no Confinada del Suelo Tratado con Cal al 5%,  
Sometido a Diferentes Temperaturas, C1*



En la calicata C2, la resistencia a compresión no confinada también mostró una mejora tras la estabilización con cal, pero de menor magnitud en comparación

con C1. Antes del tratamiento, el suelo sin cal tenía una resistencia de 0.67 kg/cm<sup>2</sup>, lo que indicaba una capacidad estructural muy baja. Después de aplicar el 5% de cal, la resistencia aumentó de forma progresiva con la temperatura, aunque sin alcanzar el umbral de 3.51 kg/cm<sup>2</sup> en ninguna de las condiciones evaluadas. A 4°C, la resistencia subió a 1.81 kg/cm<sup>2</sup>, lo que representó una mejora, pero seguía muy por debajo del umbral mínimo para base tratada. A 16°C, la resistencia alcanzó 1.98 kg/cm<sup>2</sup>, evidenciando un ligero incremento. A 18°C, la resistencia llegó a 2.03 kg/cm<sup>2</sup>, el valor más alto en el rango de temperatura de referencia. A 24°C, se registró un valor de 2.16 kg/cm<sup>2</sup>, lo que confirma que temperaturas más altas favorecen la reacción de la cal con el suelo. Sin embargo, a 30°C, la resistencia se redujo levemente a 2.10 kg/cm<sup>2</sup>, lo que sugiere que temperaturas excesivas pueden afectar la estabilización del material.

Las mediciones individuales confirmaron que la resistencia fue mayor en temperaturas cercanas a 24°C, pero en ningún caso se alcanzó el umbral de 3.51 kg/cm<sup>2</sup>; esto indica que la estabilización en C2 fue menos efectiva que en C1 y que este suelo sigue teniendo limitaciones estructurales, incluso después del tratamiento con cal.

El análisis de los resultados en C2 demuestra que este suelo no logró superar el umbral de 3.51 kg/cm<sup>2</sup> en ninguna temperatura, lo que significa que no puede considerarse como base tratada y solo puede clasificarse como subrasante estabilizada. La resistencia mejoró con el aumento de la temperatura hasta los 24°C, pero disminuyó levemente a 30°C, lo que sugiere que temperaturas extremas podrían afectar la estabilización. A temperaturas menores de 16°C, la mejora en la resistencia fue muy reducida, lo que indica que la estabilización con cal en climas fríos no es eficiente en este suelo.

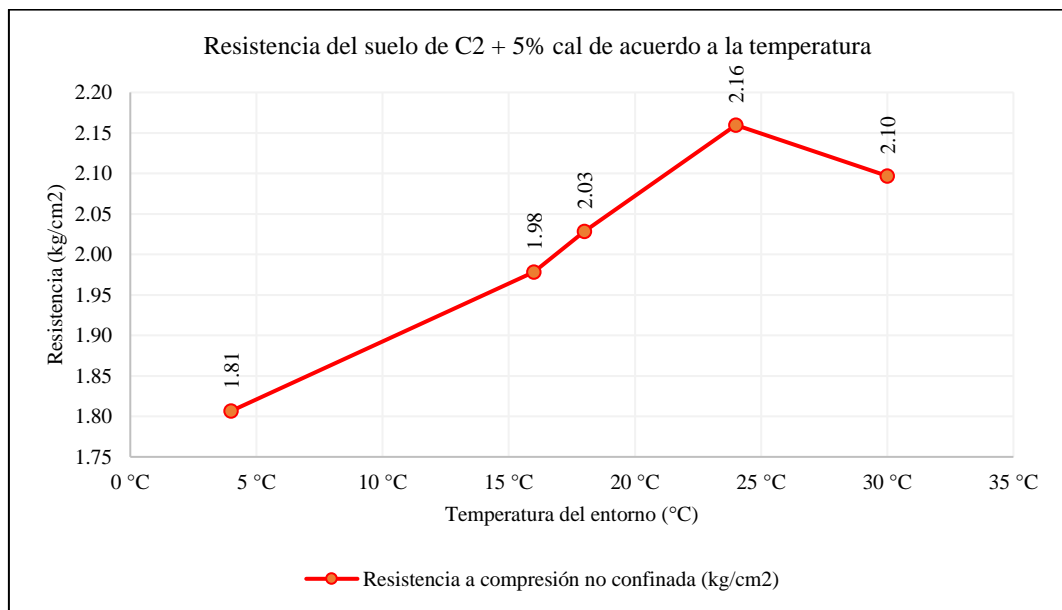
**Tabla 31**

*Resistencia a Compresión no Confinada del Suelo Tratado con Cal al 5%,  
Sometido a Diferentes Temperaturas, C2*

Porcentaje de cal	0%	5%	5%	5%	5%	5%
Temperatura	18 °C	4 °C	16 °C	18 °C	24 °C	30 °C
Resistencia a compresión no confinada (kg/cm <sup>2</sup> )	0.67	1.81	1.98	2.03	2.16	2.10
M1	0.662	1.812	1.976	2.002	2.108	2.095
M2	0.683	1.781	1.931	2.052	2.171	2.112
M3	0.67	1.827	2.028	2.031	2.2	2.083

**Figura 62**

*Resistencia a Compresión no Confinada del Suelo Tratado con Cal al 5%,  
Sometido a Diferentes Temperaturas, C2*



La comparación entre ambas calicatas revela que C1 alcanzó valores de resistencia superiores a 3.51 kg/cm<sup>2</sup> a partir de los 18°C, permitiendo su clasificación como base tratada. En contraste, C2 no logró superar el umbral de 3.51 kg/cm<sup>2</sup> en ninguna temperatura, lo que indica que solo puede considerarse

subrasante estabilizada. Ambas calicatas mejoraron con la estabilización con cal, pero la mejora en C1 fue mucho más significativa que en C2. La resistencia en ambas calicatas alcanzó su punto óptimo a 24°C, con una leve disminución a 30°C. En climas fríos, específicamente a 4°C y 16°C, la estabilización con cal fue menos eficiente, especialmente en C2, donde los valores de resistencia siguieron siendo insuficientes.

Por tanto, los resultados indican que la calicata C1 es adecuada para ser utilizada como base tratada a partir de los 18°C, mientras que C2 sigue siendo insuficiente y requiere técnicas adicionales de estabilización si se piensa pavimentar la carretera, no obstante, en vías afirmadas basta con lograr mejorar la subrasante de la carretera a un porcentaje superior a 6%, como lo es en este caso para la carretera Campamento Túnel Conchano – Sivingan Bajo. Además, se confirma que la estabilización con cal es más eficiente en temperaturas superiores a 18°C, ya que en climas fríos el suelo no alcanza los valores de resistencia necesarios. Por lo tanto, se recomienda monitorear las condiciones ambientales en el proceso de estabilización y considerar estrategias adicionales en zonas con temperaturas bajas para garantizar la estabilidad del suelo tratado.

**Tabla 32**

*Resistencia a Compresión no Confinada al 100% MDS del Suelo Tratado con Cal al 5%, Sometido a Diferentes Temperaturas*

Porcentaje de cal	0%	5%	5%	5%	5%	5%
Temperatura	18 °C	4 °C	16 °C	18 °C	24 °C	30 °C
	Ambiental		Ambiental			
Calicata 1	1.18	3.40	3.49	3.54	3.65	3.53
Calicata 2	0.67	1.81	1.98	2.03	2.16	2.10

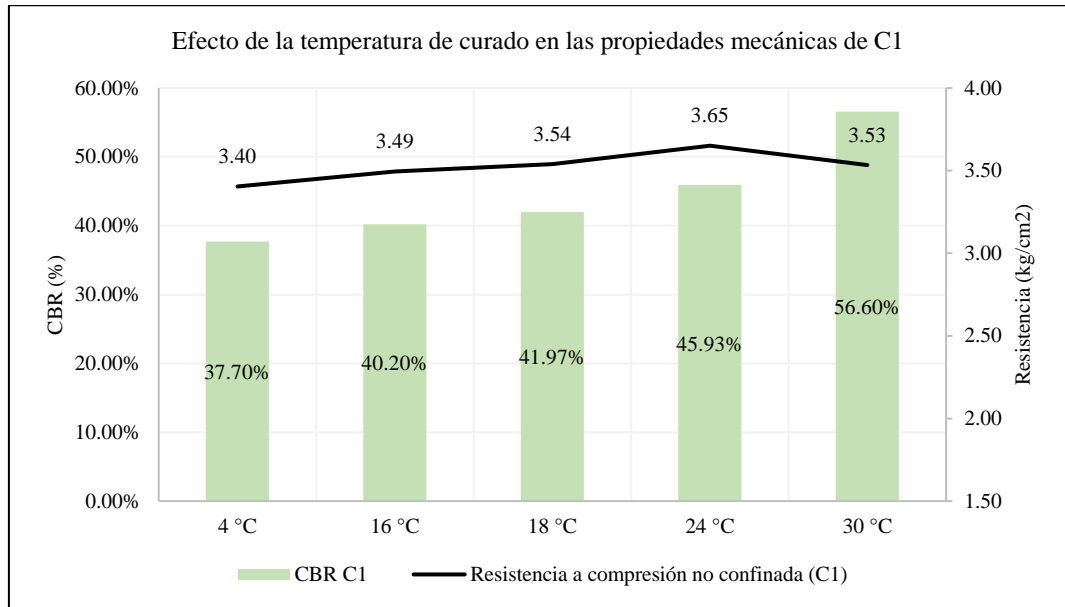
#### ***4.1.5. Comparación de las propiedades mecánicas del suelo natural y el suelo tratado con cal sometido a diferentes temperaturas***

El tratamiento con 5% de cal generó una mejora significativa en las propiedades mecánicas del suelo en ambas calicatas. Se evidenció un incremento en el CBR y en la resistencia a compresión no confinada, lo que confirma que la cal es un método efectivo para mejorar las condiciones de la subrasante; sin embargo, el grado de mejora fue distinto en cada calicata, lo que indica que la respuesta al tratamiento depende de la composición, tipo y granulometría del suelo. En C1 (grava arcillosa - GC), los valores de CBR y resistencia a compresión superaron ampliamente los criterios del MTC, especialmente a temperaturas superiores a 18°C. En contraste, en C2 (limo de alta plasticidad - MH), aunque se observó una mejora en CBR, la resistencia a compresión no confinada no alcanzó el umbral mínimo de 3.51 kg/cm<sup>2</sup>, lo que significa que, solo es viable para carreteras afirmadas, pero para vías pavimentadas se debe mejorar con over. Así mismo, los resultados demuestran que la temperatura del entorno tiene un impacto significativo en el desempeño mecánico del suelo tratado con cal. En ambas calicatas, el CBR y la resistencia a compresión aumentaron con la temperatura, alcanzando su mejor desempeño a 24°C en C1 y a 30°C en C2; esto sugiere que temperaturas más cálidas favorecen la reacción de la cal, promoviendo la formación de compuestos cementantes que mejoran la resistencia y la capacidad de carga del material. A temperaturas bajas (4°C y 16°C), la estabilización con cal fue menos efectiva, especialmente en C2, donde el CBR permaneció por debajo del 6% y la resistencia a compresión nunca alcanzó el umbral mínimo; esto indica que, en climas fríos, el tiempo de reacción de la cal puede ser más lento, lo que afecta negativamente la capacidad de mejora del suelo estabilizado. En términos

generales, la temperatura óptima para la estabilización con cal en la subrasante de la carretera Campamento Túnel Conchano – Sivingan Bajo, Chota es de 24°C.

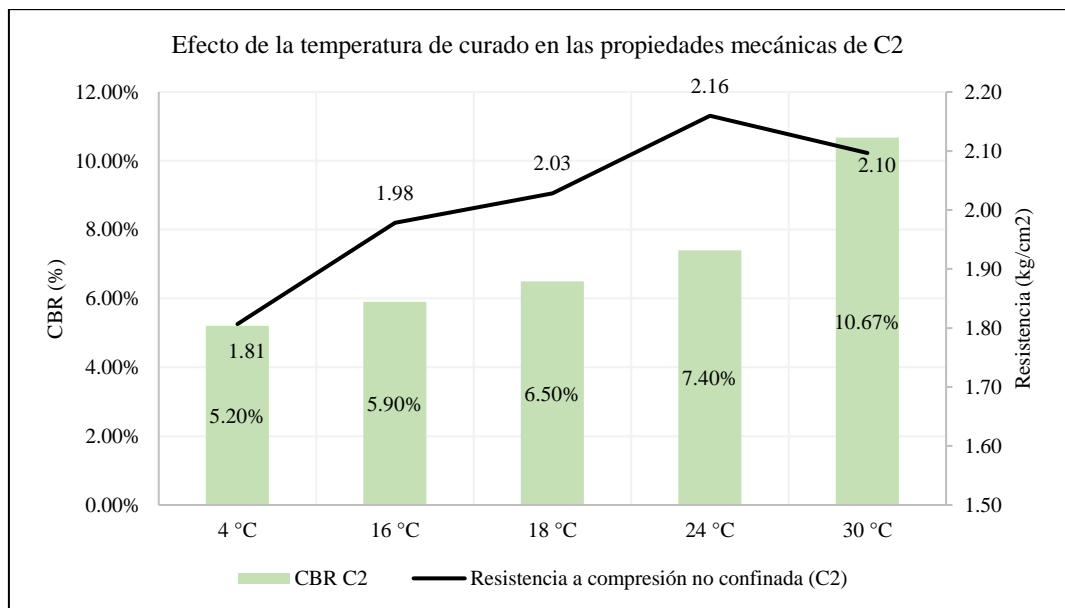
**Figura 63**

*Efecto de la Temperatura de Curado en las Propiedades Mecánicas de C1 de la Carretera Campamento Túnel Conchano – Sivingan Bajo*



**Figura 64**

*Efecto de la Temperatura de Curado en las Propiedades Mecánicas de C2 de la Carretera Campamento Túnel Conchano – Sivingan Bajo*



En la calicata 1, el CBR al 100% de MDS mejora significativamente con el tratamiento de cal. En el suelo sin tratar, el CBR es de 20.37%, mientras que en el suelo tratado aumenta con la temperatura de curado. A 4°C, el CBR se eleva a 37.70%, a 16°C sube a 40.20%, a 18°C se incrementa a 41.97%, a 24°C alcanza 45.93%, y finalmente a 30°C llega a 56.60%; esto confirma que la reacción de estabilización con cal es más efectiva a temperaturas más altas, favoreciendo el desarrollo de enlaces cementantes en el suelo. Un patrón similar se observa en el CBR al 95% de MDS, donde el suelo sin cal tiene un valor de 12.15%, pero tras el tratamiento aumenta a 25.70% a 4°C, 26.31% a 16°C, 27.66% a 18°C, 29.83% a 24°C y 33.11% a 30°C, estos valores reflejan que el suelo tratado con cal cumple ampliamente con el criterio del MTC (2014).

En cuanto a la resistencia a compresión no confinada, el suelo sin cal tiene un valor de 1.18 kg/cm<sup>2</sup>, insuficiente para ser considerado base tratada. Tras el tratamiento con cal, la resistencia mejora sustancialmente. A 4°C, la resistencia se incrementa a 3.40 kg/cm<sup>2</sup>, a 16°C a 3.49 kg/cm<sup>2</sup>, a 18°C a 3.54 kg/cm<sup>2</sup>, alcanzando su punto máximo a 24°C con 3.65 kg/cm<sup>2</sup>, y reduciéndose ligeramente a 3.53 kg/cm<sup>2</sup> a 30°C. Dado que el MTC (2016) establece que la resistencia a compresión no confinada debe ser superior a 3.51 kg/cm<sup>2</sup> para considerarse base tratada, los resultados indican que el suelo estabilizado con cal cumple este criterio a partir de los 18°C, con un desempeño óptimo a 24°C.

Por tanto, la estabilización con cal mejora las propiedades mecánicas del suelo en la calicata 1. El aumento del CBR y la resistencia a compresión indican que el suelo tratado con cal se vuelve mucho más competente para su uso en la subrasante. La temperatura juega un papel fundamental en la efectividad del tratamiento, ya que se observa una mejora progresiva en el CBR y la resistencia a

compresión conforme la temperatura de curado aumenta. El mejor desempeño se logra a 24°C, donde tanto el CBR como la resistencia a compresión alcanzan sus valores más altos. A 30°C, aunque los valores siguen siendo altos, se observa una ligera reducción en la resistencia a compresión, lo que indica que temperaturas excesivas podrían no ser óptimas para el proceso de estabilización.

**Tabla 33**

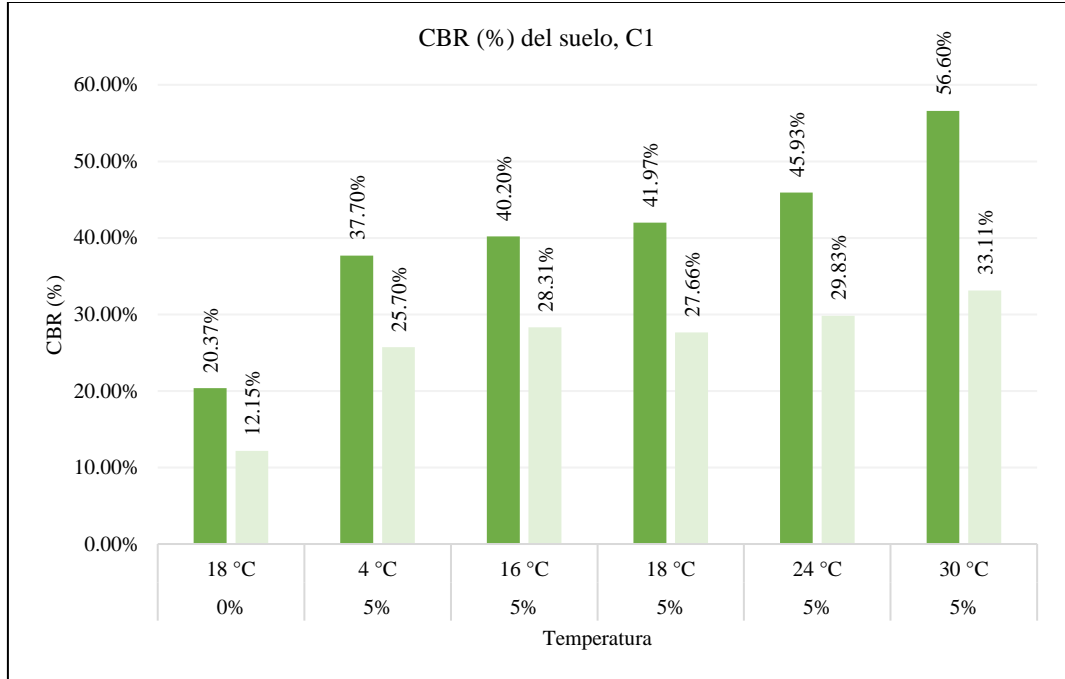
*Propiedades Mecánicas del Suelo Natural y el Suelo Tratado con Cal Sometido a Diferentes Temperaturas del Entorno Durante el Curado, C1 de la Carretera Campamento Túnel Conchano – Sivingan Bajo*

Porcentaje de cal	0%	5%	5%	5%	5%	5%
Temperatura	18 °C	4 °C	16 °C	18 °C	24 °C	30 °C
	Ambiental			Ambiental		
Humedad	16.73%			14.89%		
Grava 3" - N° 4	52.35%			51.95%		
Arena N° 4 - N° 200	28.60%			29.65%		
Arena gruesa	17.90%			17.70%		
Arena media	7.65%			8.20%		
Arena fina	3.05%			3.75%		
Finos	19.05%			18.40%		
LL	27.20%			25.93%		
LP	18.26%			17.52%		
IP	8.94%			8.41%		
Clasificación SUCS	GC			GC		
MDS	1.97 g/cm <sup>3</sup>			2.05 g/cm <sup>3</sup>		
OCH	9.70%			7.20%		
Expansión	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
CBR al 100% de MDS	20.37%	37.70%	40.20%	41.97%	45.93%	56.60%
CBR al 95% de MDS	12.15%	25.70%	26.31%	27.66%	29.83%	33.11%
Resistencia a compresión no confinada (kg/cm <sup>2</sup> )	1.18	3.40	3.49	3.54	3.65	3.53
M1	1.183	3.387	3.458	3.536	3.653	3.539
M2	1.155	3.381	3.519	3.571	3.655	3.537
M3	1.189	3.445	3.507	3.509	3.645	3.523

**Figura 65**

*CBR del suelo Estabilizado con 5% de Cal, C1 de la Carretera Campamento*

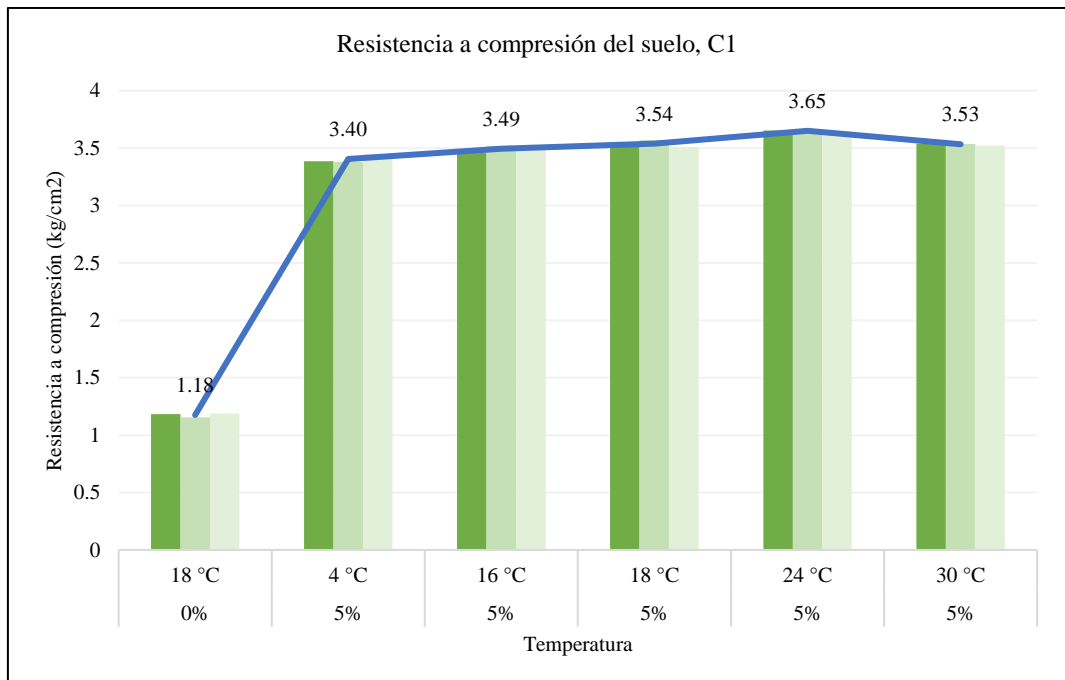
*Túnel Conchano – Sivingan Bajo*



**Figura 66**

*Resistencia a Compresión no Confinada del Suelo con 5% de Cal, C1 de la*

*Carretera Campamento Túnel Conchano – Sivingan Bajo*



En la calicata 2, la evaluación del CBR al 100% de MDS revela que el suelo sin cal tenía un valor de 3.17%, lo que es insuficiente según los criterios del MTC (2014). Tras la estabilización con cal, el CBR aumentó de manera progresiva con la temperatura. A 4°C, el CBR se incrementó a 5.20%, a 16°C subió a 5.90%, a 18°C alcanzó 6.50%, superando por primera vez el umbral mínimo requerido para considerarse estabilizado. A 24°C, el CBR llegó a 7.40%, y a 30°C se observó el mayor valor con 10.67%, lo que confirma que temperaturas más altas favorecen el proceso de estabilización del suelo. Un patrón similar se observa en el CBR al 95% de MDS, donde el suelo sin cal tenía un valor de 1.73%, pero tras la estabilización aumentó a 3.60% a 4°C, 4.12% a 16°C, 3.87% a 18°C, 4.80% a 24°C, y 8.36% a 30°C. Estos valores confirman que el CBR mejora con el aumento de temperatura, alcanzando su mayor rendimiento a 30°C.

La resistencia a compresión no confinada, que inicialmente en el suelo sin cal era de 0.67 kg/cm<sup>2</sup>, mostró una mejora tras la estabilización, aunque no logró superar el umbral de 3.51 kg/cm<sup>2</sup>. A 4°C, la resistencia aumentó a 1.81 kg/cm<sup>2</sup>, a 16°C a 1.98 kg/cm<sup>2</sup>, a 18°C a 2.03 kg/cm<sup>2</sup>, a 24°C a 2.16 kg/cm<sup>2</sup>, y a 30°C se registró una leve reducción a 2.10 kg/cm<sup>2</sup>. Si bien el suelo trató de mejorar su resistencia, en ningún caso alcanzó el valor mínimo para ser considerado base tratada, por lo que solo puede clasificarse como subrasante estabilizada.

Por tanto, la estabilización con cal en la calicata 2 logró mejorar significativamente la capacidad de soporte del suelo, pero la resistencia a compresión no alcanzó el umbral necesario para ser considerado base tratada. El CBR aumentó con la temperatura, superando el 6% a partir de 18°C y alcanzando su mejor desempeño a 30°C con 10.67%, lo que indica que la estabilización es más efectiva en temperaturas cálidas. Sin embargo, la resistencia a compresión no

confinada no alcanzó los 3.51 kg/cm<sup>2</sup> en ninguna temperatura, lo que confirma que este suelo solo puede ser clasificado como subrasante estabilizada.

**Tabla 34**

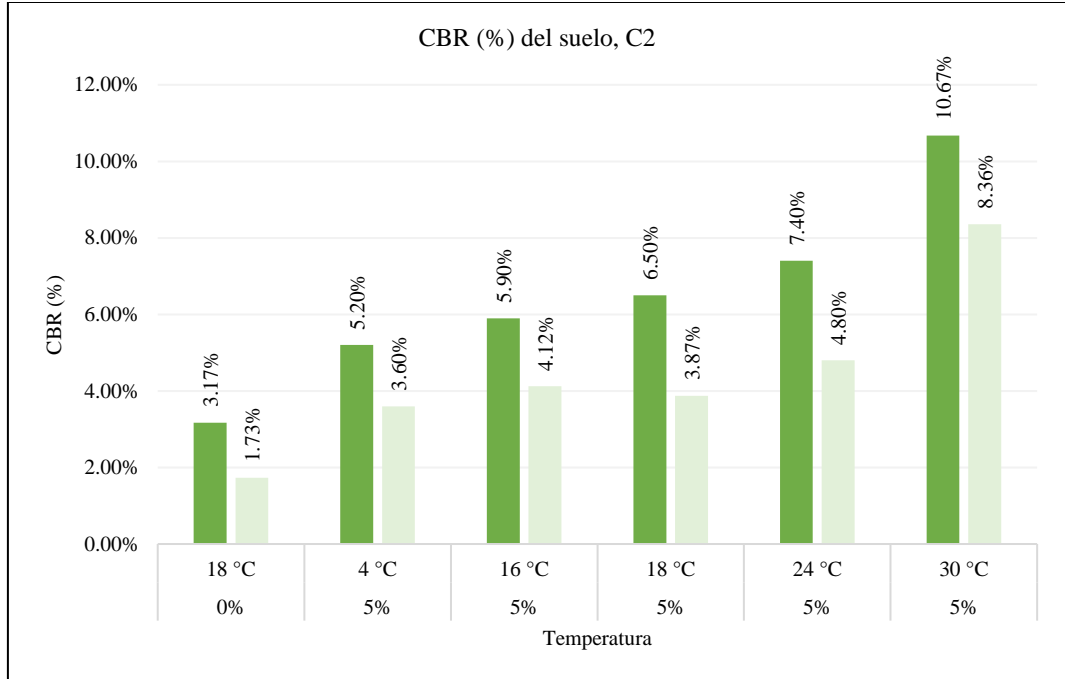
*Propiedades Mecánicas del Suelo Natural y el Suelo Tratado con Cal Sometido a Diferentes Temperaturas del Entorno Durante el Curado, C2 de la Carretera Campamento Túnel Conchano – Sivingan Bajo*

Porcentaje de cal	0%	5%	5%	5%	5%	5%
Temperatura	18 °C	4 °C	16 °C	18 °C	24 °C	30 °C
	Ambiental			Ambiental		
Humedad	23.10%			20.14%		
Grava 3" - N° 4	0.00%			0.00%		
Arena N° 4 - N° 200	27.80%			29.80%		
Arena gruesa	5.20%			5.20%		
Arena media	12.60%			12.40%		
Arena fina	10.00%			12.20%		
Finos	72.20%			70.20%		
LL	57.69%			48.73%		
LP	37.03%			37.03%		
IP	20.66%			11.70%		
Clasificación SUCS	MH			MH		
MDS	1.57 g/cm <sup>3</sup>			1.67 g/cm <sup>3</sup>		
OCH	16.20%			13.50%		
Expansión	8.61%	5.02%	5.05%	3.59%	5.05%	5.05%
CBR al 100% de MDS	3.17%	5.20%	5.90%	6.50%	7.40%	10.67%
CBR al 95% de MDS	1.73%	3.60%	4.12%	3.87%	4.80%	8.36%
Resistencia a compresión no confinada (kg/cm <sup>2</sup> )	0.67	1.81	1.98	2.03	2.16	2.10
M1	0.662	1.812	1.976	2.002	2.108	2.095
M2	0.683	1.781	1.931	2.052	2.171	2.112
M3	0.67	1.827	2.028	2.031	2.2	2.083

**Figura 67**

*CBR del suelo Estabilizado con 5% de Cal, C2 de la Carretera Campamento*

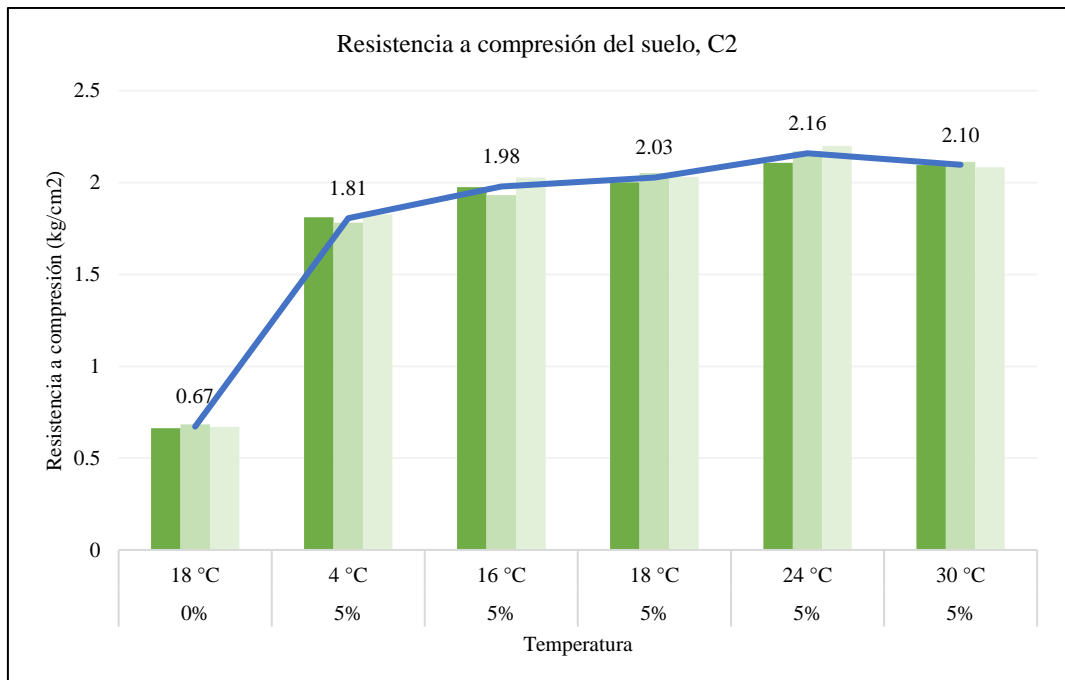
*Túnel Conchano – Sivingan Bajo*



**Figura 68**

*Resistencia a Compresión no Confinada del Suelo con 5% de Cal, C2 de la*

*Carretera Campamento Túnel Conchano – Sivingan Bajo*



## **4.2. Contrastación de hipótesis**

La estabilización del suelo con cal es una técnica ampliamente utilizada para mejorar las propiedades mecánicas de la subrasante, especialmente en suelos con alto contenido de finos y baja capacidad de soporte. Sin embargo, la eficiencia de esta estabilización puede verse influenciada por diversos factores, entre ellos la temperatura del entorno durante el curado. En este contexto, la presente investigación tuvo como objetivo evaluar y comparar el comportamiento mecánico del suelo tratado con cal a diferentes temperaturas de curado, con el fin de determinar en qué condiciones la estabilización cumple con los estándares establecidos en el Manual de Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos (MTC, 2014) para el CBR y en el Manual de Ensayos de Materiales (MTC, 2016) para la resistencia a compresión no confinada.

Para ello, se han evaluado los valores de CBR al 100% de MDS y la resistencia a compresión no confinada en dos calicatas (C1 y C2), bajo diferentes condiciones de temperatura de curado (4°C, 16°C, 18°C, 24°C y 30°C). Se busca determinar si estos valores superan los umbrales establecidos por el MTC (CBR  $\geq 6\%$  y resistencia  $\geq 345$  kPa o 3.51 kg/cm<sup>2</sup>) y si existen diferencias significativas entre los tratamientos aplicados.

### **4.2.1. Datos del comportamiento mecánico**

Los datos obtenidos en la investigación incluyen las mediciones de CBR al 100% de MDS y resistencia a compresión no confinada para cada temperatura de curado en ambas calicatas. Los resultados indican que el comportamiento mecánico mejora con la estabilización con cal, pero con diferencias entre los tipos de suelo y la temperatura de curado.

**Tabla 35***Datos para el Análisis Estadístico*

Calicata	Porcentaje de cal	Temperatura (°C)	CBR al 100% de MDS	CBR al 95% de MDS	Resistencia a compresión no confinada (kg/cm <sup>2</sup> )	M1	M2	M3
C1	0%	18 °C	20.37%	12.15%	1.18	1.183	1.155	1.189
C1	5%	4 °C	37.70%	25.70%	3.40	3.387	3.381	3.445
C1	5%	16 °C	40.20%	26.31%	3.49	3.458	3.519	3.507
C1	5%	18 °C	41.97%	27.66%	3.54	3.536	3.571	3.509
C1	5%	24 °C	45.93%	29.83%	3.65	3.653	3.655	3.645
C1	5%	30 °C	56.60%	33.11%	3.53	3.539	3.537	3.523
C2	0%	18 °C	3.17%	1.73%	0.67	0.662	0.683	0.67
C2	5%	4 °C	5.20%	3.60%	1.81	1.812	1.781	1.827
C2	5%	16 °C	5.90%	4.12%	1.98	1.976	1.931	2.028
C2	5%	18 °C	6.50%	3.87%	2.03	2.002	2.052	2.031
C2	5%	24 °C	7.40%	4.80%	2.16	2.108	2.171	2.2
C2	5%	30 °C	10.67%	8.36%	2.10	2.095	2.112	2.083

#### 4.2.2. *Hipótesis general planteada*

La hipótesis alternativa general de la investigación es:

**H1:** El comportamiento mecánico del suelo tratado con cal sometido a diferentes temperaturas durante el curado, subrasante de la carretera Campamento Túnel Conchano – Sivingan Bajo es mayor al 6% de CBR dado en el Manual de Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos (MTC, 2014), y a 345 kPa para resistencia a compresión no confinada en el Manual de Ensayos de Materiales (MTC, 2016).

Por tanto, la hipótesis nula, se establece como:

**H0:** El comportamiento mecánico del suelo tratado con cal sometido a diferentes temperaturas durante el curado en la subrasante de la carretera Campamento Túnel Conchano – Sivingan Bajo es menor o igual al 6% de CBR y menor o igual a 345 kPa (3.51 kg/cm<sup>2</sup>) para la resistencia a compresión no confinada.

#### 4.2.3. *Criterio de aceptación de la hipótesis*

Se estableció que la hipótesis alternativa ( $H_1$ ) sería aceptada si el valor de probabilidad (valor  $p$ ) obtenido en el análisis era menor al nivel de significancia de 0.05, lo que corresponde a un nivel de confianza del 95%. En caso contrario, se aceptaría la hipótesis nula ( $H_0$ ). Para aceptar la hipótesis alternativa ( $H_1$ ), los valores de CBR deben ser superiores al 6% y la resistencia a compresión no confinada debe superar los 3.51 kg/cm<sup>2</sup> en las distintas temperaturas de curado.

*Si valor  $p < \alpha = 0.05$ , se acepta  $H_1$*  (26)

*Si valor  $p \geq \alpha = 0.05$ , se acepta  $H_0$*  (27)

Adicionalmente, se han realizado pruebas estadísticas inferenciales, incluyendo el análisis de normalidad de datos, pruebas ANOVA y t-Student, para determinar si las diferencias observadas en las mediciones son estadísticamente significativas.

#### 4.2.4. Normalidad de los datos

Se realizó la prueba de normalidad (Anderson Darling) para determinar si los datos de CBR y resistencia a compresión no confinada siguen una distribución normal, los resultados indicaron que los datos presentan distribución normal, permitiendo el uso de pruebas paramétricas para el análisis inferencial.

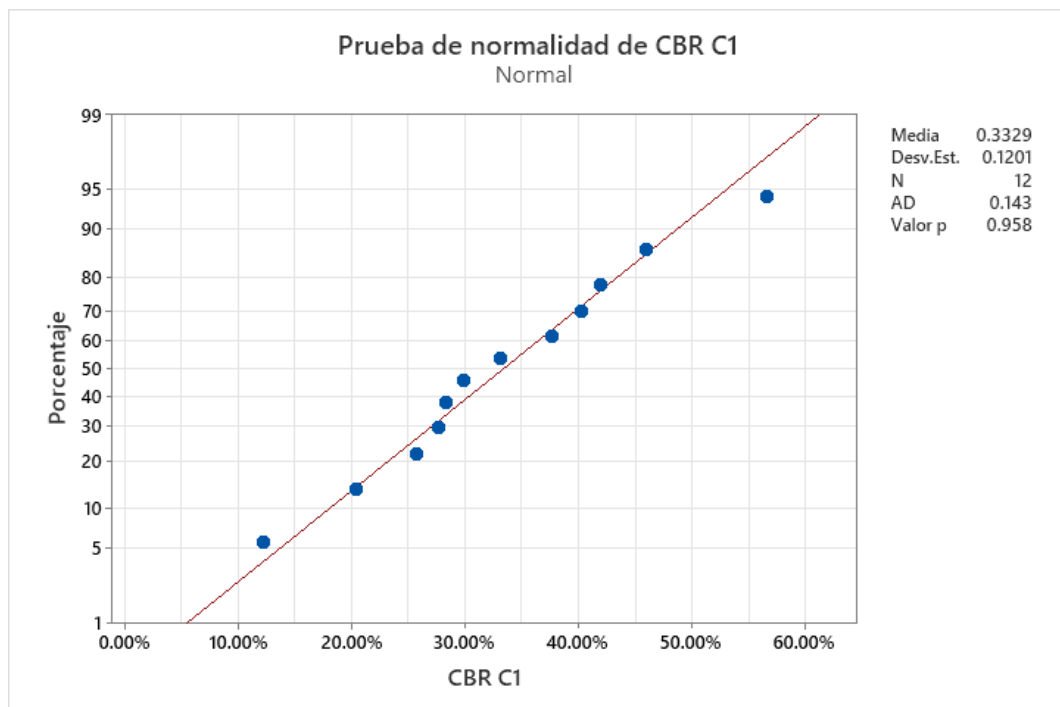
**Tabla 36**

*Análisis de Normalidad del CBR y Resistencia a Compresión no Confinada del Suelo Estabilizado con Cal a Diferentes Temperaturas*

Parámetro de estudio	Media	Dev. Est.	Número de datos (N)	AD Anderson Darling	Valor p
CBR calicata C1	0.3329	0.1201	12	0.143	0.958
CBR calicata C1	0.05443	0.02487	12	0.221	0.782
Resistencia a la compresión no confinada	2.462	1.027	12	0.674	0.058

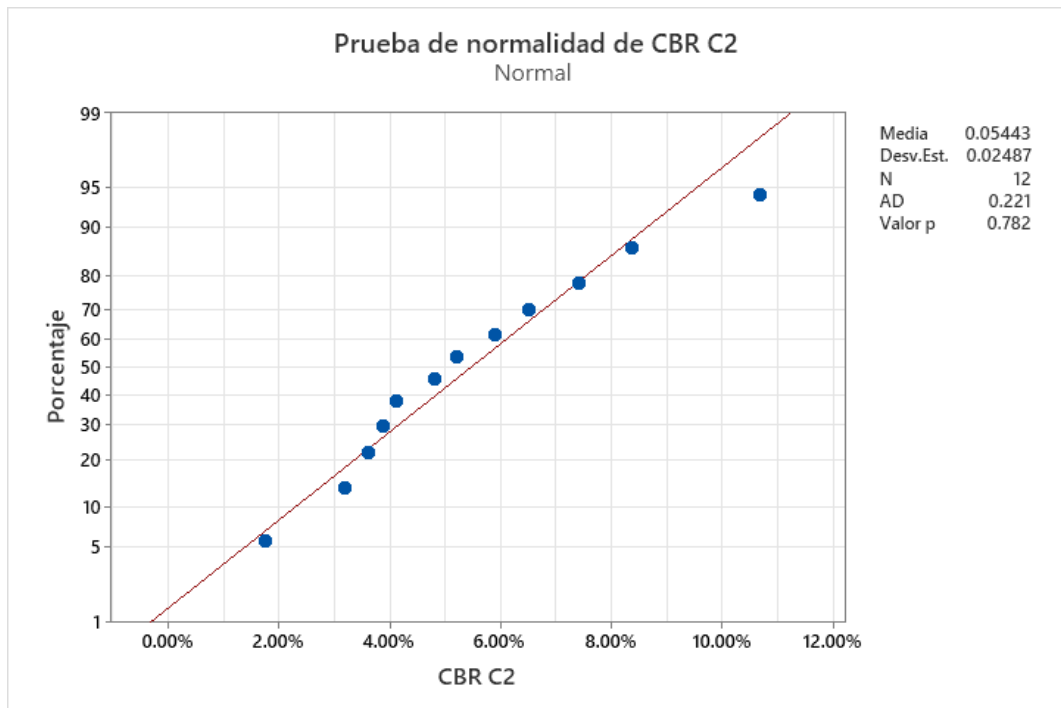
**Figura 69**

*Prueba de Normalidad de CBR C1*



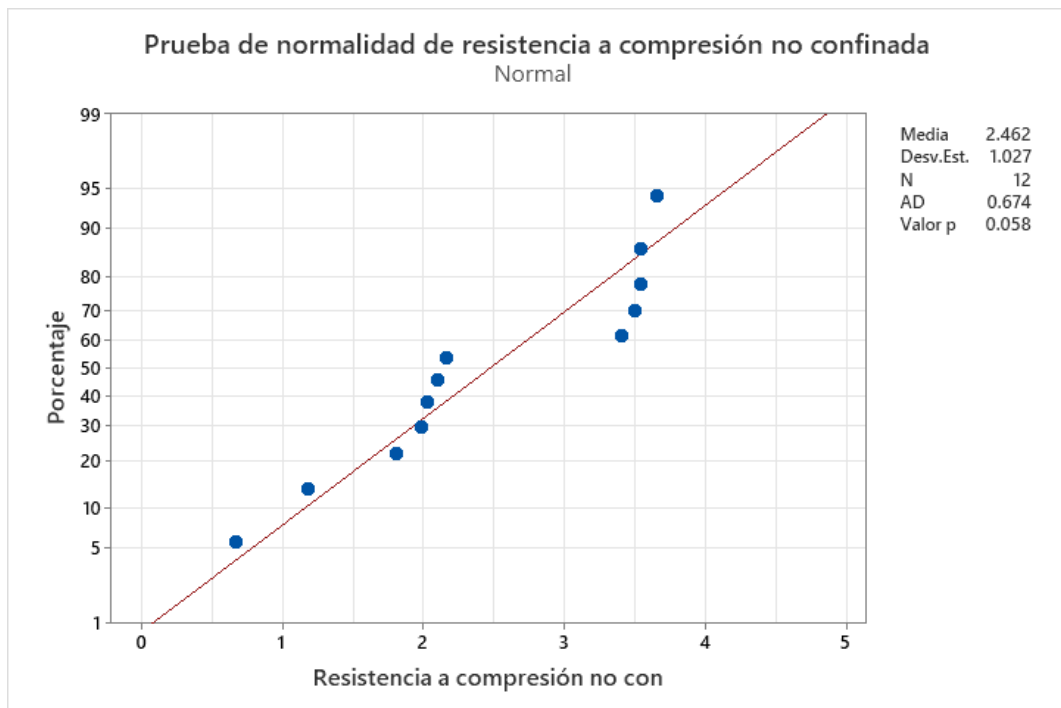
**Figura 70**

*Prueba de Normalidad de CBR C2*



**Figura 71**

*Prueba de Normalidad de Resistencia a Compresión no Confinada*



#### 4.2.5. Análisis descriptivo

En la calicata 1 (GC - grava arcillosa), el CBR superó ampliamente el 6% en todas las temperaturas de curado y la resistencia a compresión superó los 3.51 kg/cm<sup>2</sup> a partir de 18°C, lo que sugiere que este suelo puede ser considerado base tratada según el MTC (2016).

En la calicata 2 (MH - limo de alta plasticidad), aunque el CBR superó el 6% a partir de 18°C, la resistencia a compresión no alcanzó los 3.51 kg/cm<sup>2</sup> en ninguna temperatura, lo que indica que este suelo solo puede ser considerado subrasante estabilizada.

**Tabla 37**

*Estadísticas Descriptivas del CBR del Suelo de la Subrasante de la Carretera*

*Campamento Túnel Conchano – Sivingan Bajo*

Muestra	N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media	Límite inferior de 95% para $\mu$
CBR C1	12	0.3329	0.1201	0.0347	0.2707
CBR C2	12	0.05443	0.02487	0.00718	0.04154
CBR C1_100	6	0.4046	0.1187	0.0484	0.3070
CBR C2_100	6	0.0647	0.0250	0.0102	0.0441
CBR 0% cal	4	0.0935	0.0867	0.0434	-0.0085
CBR 5% cal	20	0.2137	0.1717	0.0384	0.1473
CBR 18 °C sin cal	4	0.0935	0.0867	0.0434	-0.0085
CBR 4 °C con cal	4	0.1805	0.1652	0.0826	-0.0139
CBR 16 °C con cal	4	0.1963	0.1758	0.0879	-0.0106
CBR 18 °C con cal	4	0.2000	0.1811	0.0905	-0.0131
CBR 24 °C con cal	4	0.2199	0.1952	0.0976	-0.0098
CBR 30 °C con cal	4	0.272	0.226	0.113	0.006

Nota:  $\mu$ : media de población de CBR C1; CBR C2; CBR C1\_100; CBR C2\_100; CBR 0% cal; CBR 5% cal; 18°C sin cal; 4 °C con cal; 16 °C con cal; 18 °C con cal; 24 °C con cal; 30 °C con cal.

**Tabla 38**

*Estadísticas Descriptivas de las Resistencia a Compresión No Confinada del Suelo de la Subrasante de la Carretera Campamento Túnel Conchano – Sivingan Bajo*

Muestra	N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media	Límite inferior de 95% para $\mu$
Resistencia C1 (kg/cm2)	18	3.133	0.904	0.213	2.762
Resistencia C2 (kg/cm2)	18	1.790	0.528	0.124	1.574
Resistencia con cal, C1	15	3.5243	0.0852	0.0220	3.4856
Resistencia con cal, C2	15	2.0139	0.1280	0.0331	1.9557
18 °C sin cal	6	0.924	0.276	0.113	0.696
4 °C con cal	6	2.606	0.875	0.357	1.885
16 °C con cal	6	2.736	0.831	0.339	2.053
18 °C con cal	6	2.784	0.828	0.338	2.103
24 °C con cal	6	2.905	0.817	0.334	2.233
30 °C con cal	6	2.815	0.787	0.321	2.168
18 °C sin cal, C1	3	1.1757	0.0181	0.0105	1.1451
4 °C con cal, C1	3	3.4043	0.0353	0.0204	3.3447
16 °C con cal, C1	3	3.4947	0.0323	0.0187	3.4402
18 °C con cal, C1	3	3.5387	0.0311	0.0179	3.4863
24 °C con cal, C1	3	3.65100	0.00529	0.00306	3.64208
30 °C con cal, C1	3	3.53300	0.00872	0.00503	3.51830
18 °C sin cal, C2	3	0.67167	0.01060	0.00612	0.65380
4 °C con cal, C2	3	1.8067	0.0235	0.0135	1.7671
16 °C con cal, C2	3	1.9783	0.0485	0.0280	1.8965
18 °C con cal, C2	3	2.0283	0.0251	0.0145	1.9860
24 °C con cal, C2	3	2.1597	0.0470	0.0272	2.0804
30 °C con cal, C2	3	2.09667	0.01457	0.00841	2.07210

Nota:  $\mu$ : media de población de Resistencia C1 (kg/cm2); Resistencia C2 (kg/cm2); Resistencia con cal, C1; Resistencia con cal, C2; 18 °C sin cal; 4 °C con cal; 16 °C con cal; 18 °C con cal; 24 °C con cal; 30 °C con cal; 18 °C sin cal, C1; 4 °C con cal, C1; 16 °C con cal, C1; 18 °C con cal, C1; 24 °C con cal, C1; 30 °C con cal, C1; 18 °C sin cal, C2; 4 °C con cal, C2; 16 °C con cal, C2; 18 °C con cal, C2; 24 °C con cal, C2; 30 °C con cal, C2.

#### 4.2.6. Análisis inferencial del CBR

##### a) Análisis ANOVA

Se aplicó el análisis de varianza (ANOVA) para evaluar si las diferencias en los valores de CBR entre las distintas temperaturas, porcentajes de cal, porcentaje de máxima densidad seca (MDS) y calicata son estadísticamente significativas. Los resultados mostraron que, existe una diferencia significativa en los valores de CBR según la temperatura de curado en ambas calicatas ( $p < 0.05$ ).

**Tabla 39**

*Factores que se han Verificado en el Análisis ANOVA del CBR del Suelo*

Factor	Tipo	Niveles	Valores
Porcentaje de cal	Fijo	2	0.00%; 5.00%
Temperatura (°C)	Fijo	5	4.00; 16.00; 18.00; 24.00; 30.00
MDS	Fijo	2	0.95; 1.00
Calicata	Fijo	2	C1; C2

**Tabla 40**

*Análisis ANOVA del CBR del Suelo*

Ho: No hay diferencia significativa en las mediciones de CBR del suelo para distintas temperaturas del entorno.

H1: Si hay diferencia significativa en las mediciones de CBR del suelo para distintas temperaturas del entorno.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Porcentaje de cal	1	0.02266	0.022663	6.38	0.023
Temperatura (°C)	4	0.02005	0.005012	1.41	0.0275
MDS	1	0.04032	0.040319	11.34	0.004
Calicata	1	0.46540	0.465401	130.95	0.000
Error	16	0.05687	0.003554		
Total	23	0.63076			

Nota: se acepta H1, si el valor p menor a 0.05.

## **b) Análisis t-student**

El análisis t-Student se ha utilizado para evaluar si los valores de CBR son significativamente mayores al umbral del 6% (0.06 en proporción decimal) establecido por el MTC (2014). La hipótesis nula ( $H_0$ ) establece que el CBR es igual a 6%, mientras que la hipótesis alternativa ( $H_1$ ) plantea que el CBR es mayor al 6%.

El criterio de decisión fue: Si el valor p (p-value) es menor a 0.05, se rechaza la hipótesis nula, lo que significa que el CBR es significativamente mayor al 6%. Si el valor p es mayor a 0.05, no se puede rechazar la hipótesis nula, lo que indica que no hay evidencia suficiente para afirmar que el CBR es mayor al 6%.

El suelo en C1 cumple con el criterio de estabilización según el MTC (2014), mientras que C2 no presenta evidencia suficiente para confirmar que su CBR sea superior al 6% (valor p de 0.00 para CBR C1 y valor p de 0.773 para CBR C2). El suelo en C1, al 100% de la MDS, cumple con los estándares del MTC (2014), mientras que en C2 no hay suficiente evidencia para afirmar que supera el 6% (valor p de 0.00 par CBR C1\_100% y valor p de 0.331 para CBR C2\_100%). El tratamiento con cal mejora significativamente el CBR, ya que el suelo sin estabilizar no muestra valores significativamente superiores al 6%, mientras que el suelo tratado con cal sí lo hace (valor p de 0.248 para el suelo sin cal y valor p de 0.00 para el suelo con 5% de cal).

Respecto a cómo afecta la temperatura la estabilización del suelo con cal, los resultados indican que el CBR del suelo sin cal a 18°C no es significativamente mayor al 6%, ya que el valor obtenido en la prueba ( $t = 0.77$ ,  $p = 0.248$ ) no permite rechazar la hipótesis nula. Esto sugiere que, en su estado natural, el suelo no

cuenta con una capacidad de soporte suficiente para cumplir con los estándares del MTC (2014).

En cuanto al suelo tratado con cal, a temperaturas bajas, como 4°C y 16°C, tampoco se observaron mejoras significativas en el CBR. En el primer caso ( $t = 1.46$ ,  $p = 0.120$ ) y en el segundo ( $t = 1.55$ ,  $p = 0.109$ ), los valores de  $p$  son mayores a 0.05, lo que indica que el suelo tratado con cal a estas temperaturas no presenta un incremento significativo en el CBR. Esto sugiere que, en condiciones de baja temperatura, la reacción entre la cal y el suelo no es lo suficientemente efectiva para mejorar de manera considerable la capacidad de soporte.

Sin embargo, al aumentar la temperatura a 18°C, se observa un cambio en el comportamiento del suelo estabilizado con cal. En este caso, la prueba t-Student arroja un valor  $t = 1.55$  con un  $p = 0.0110$ , lo que permite rechazar la hipótesis nula y concluir que el CBR a 18°C con cal es significativamente mayor al 6%. Este resultado confirma que a partir de esta temperatura la estabilización con cal comienza a ser efectiva en mejorar la capacidad de soporte del suelo.

A temperaturas superiores, como 24°C y 30°C, los resultados continúan mostrando una mejora significativa en el CBR del suelo tratado con cal. A 24°C, el valor obtenido en la prueba fue  $t = 1.64$ ,  $p = 0.0100$ , lo que indica que el CBR a esta temperatura supera significativamente el umbral del 6%. Finalmente, a 30°C, con un  $t = 1.88$  y  $p = 0.009$ , se confirma que el CBR del suelo tratado con cal sigue aumentando y se mantiene significativamente por encima del 6%.

Estos resultados demuestran que la estabilización con cal tiene una influencia positiva en la capacidad de soporte del suelo, pero su efectividad varía con la temperatura. A temperaturas bajas (4°C y 16°C), la cal no mejora significativamente el CBR, mientras que a partir de 18°C se observa un

incremento significativo. La mejor respuesta se obtiene a 24°C y 30°C, donde el CBR supera de manera significativa el umbral mínimo del 6%, lo que sugiere que la estabilización con cal es más eficiente en entornos con temperaturas moderadas a altas.

**Tabla 41**

*Análisis t-student del CBR del Suelo*

Hipótesis nula	$H_0: \mu = 0.06$	
Hipótesis alterna	$H_1: \mu > 0.06$	
<b>Muestra</b>	<b>Valor T</b>	<b>Valor p</b>
CBR C1_95% MDS	7.88	0.000
CBR C2_95% MDS	-0.78	0.773
CBR C1_100% MDS	7.11	0.000
CBR C2_100% MDS	0.46	0.331
CBR 0% cal	0.77	0.248
CBR 5% cal	4.00	0.000
CBR 18 °C sin cal	0.77	0.248
CBR 4 °C con cal	1.46	0.120
CBR 16 °C con cal	1.55	0.109
CBR 18 °C con cal	1.55	0.0110
CBR 24 °C con cal	1.64	0.0100
CBR 30 °C con cal	1.88	0.009

**4.2.7. Análisis inferencial de la resistencia a compresión no confinada**

**a) Análisis ANOVA**

El ANOVA para la resistencia a compresión no confinada mostró que, las diferencias de resistencia entre temperaturas fueron estadísticamente significativas ( $p < 0.05$ ). Así mismo, también hubo diferencias significativas entre las resistencias a compresión no confinada del suelo determinadas para las calicatas C1 y C2, y de acuerdo al porcentaje de cal incorporado, es decir muestras sin cal, y muestras de suelo con cal al 5%, lo que, garantiza que el uso de cal en el suelo afecta significativamente sus propiedades mecánicas.

**Tabla 42***Factores que se han Verificado en el Análisis ANOVA de Resistencia a**Compresión no Confinada del Suelo*

<b>Factor</b>	<b>Tipo</b>	<b>Niveles</b>	<b>Valores</b>
Porcentaje de cal	Fijo	2	0.00%; 5.00%
Temperatura (°C)	Fijo	5	4.00; 16.00; 18.00; 24.00; 30.00
Muestra	Fijo	3	1, 2, 3
Calicata	Fijo	2	C1; C2

**Tabla 43***Análisis ANOVA de la Resistencia a Compresión no Confinada del Suelo*

Ho: No hay diferencia significativa en las mediciones de resistencia a la compresión no confinada del suelo para distintas temperaturas del entorno.

H1: Si hay diferencia significativa en las mediciones de resistencia a la compresión no confinada del suelo para distintas temperaturas del entorno.

<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>SC Ajust.</b>	<b>MC Ajust.</b>	<b>Valor F</b>	<b>Valor p</b>
Porcentaje de cal	1	5.8751	5.87508	166.03	0.000
Temperatura (°C)	4	0.0919	0.02298	0.65	0.0362
Muestra	2	0.0025	0.00127	0.04	0.965
Calicata	1	16.6080	8.30402	234.67	0.000
Error	26	0.9201	0.03539		
Total	35	34.8515			

Nota: se acepta H1, si el valor p menor a 0.05.

### **b) Análisis t-student**

El análisis t-Student tiene como objetivo determinar si la resistencia a compresión no confinada del suelo tratado con cal y sometido a diferentes temperaturas de curado supera el umbral de 3.51 kg/cm<sup>2</sup> establecido en el Manual de Ensayos de Materiales del MTC (2016). La hipótesis nula (H<sub>0</sub>) establece que la resistencia a compresión es igual a 3.51 kg/cm<sup>2</sup>, mientras que la hipótesis alternativa (H<sub>1</sub>) plantea que la resistencia a compresión es mayor a 3.51 kg/cm<sup>2</sup>.

El criterio de decisión es: Si el valor p (p-value) es menor a 0.05, se rechaza  $H_0$ , lo que indica que la resistencia a compresión no confinada es significativamente mayor a 3.51 kg/cm<sup>2</sup>. Si el valor p es mayor a 0.05, no se rechaza la hipótesis nula, lo que significa que no hay evidencia suficiente para afirmar que la resistencia a compresión supera el umbral de 3.51 kg/cm<sup>2</sup>.

En ambas calicatas, la resistencia a compresión no supera significativamente el valor mínimo de 3.51 kg/cm<sup>2</sup>, lo que indica que ninguna de ellas puede considerarse base tratada sin tratamiento adicional (valor p de 0.953 para resistencia C1 y valor p de 1.00 para resistencia C2). Aunque la cal mejora algunas propiedades del suelo, no logra incrementar significativamente la resistencia a compresión en la calicata C2, con un valor p de 1.00, pero si en la calicata C1, con un valor p de 0.0263.

En ninguna temperatura la resistencia a compresión del suelo en conjunto de ambas calicatas supera significativamente el umbral de 3.51 kg/cm<sup>2</sup>, lo que indica que la cal no genera un incremento suficiente en la resistencia del suelo para considerarlo como base tratada. En cambio, en C1 a 24 °C y 30 °C con cal se obtienen valor p de 0.000 y 0.022, respectivamente, lo que confirma que, se rechaza la hipótesis nula, y se acepta la hipótesis alternativa, por lo que, solo en C1, a temperaturas de 24°C y 30°C, la resistencia a compresión supera significativamente el umbral de 3.51 kg/cm<sup>2</sup>. En todas las demás temperaturas y en la calicata 2, la resistencia a compresión sigue siendo menor a 3.51 kg/cm<sup>2</sup>, lo que indica que el suelo tratado con cal en esas condiciones no puede ser considerado base tratada.

**Tabla 44***Análisis t-student de la Resistencia a Compresión no Confinada del Suelo*

Hipótesis nula	$H_0: \mu = 3.51$	
Hipótesis alterna	$H_1: \mu > 3.51$	
<b>Muestra</b>	<b>Valor T</b>	<b>Valor p</b>
Resistencia C1 (kg/cm <sup>2</sup> )	-1.77	0.953
Resistencia C2 (kg/cm <sup>2</sup> )	-13.83	1.000
Resistencia con cal, C1	0.65	0.0263
Resistencia con cal, C2	-45.26	1.000
18 °C sin cal	-22.92	1.000
4 °C con cal	-2.53	0.974
16 °C con cal	-2.28	0.964
18 °C con cal	-2.15	0.958
24 °C con cal	-1.81	0.935
30 °C con cal	-2.16	0.959
18 °C sin cal, C1	-222.80	1.000
4 °C con cal, C1	-5.18	0.982
16 °C con cal, C1	-0.82	0.751
18 °C con cal, C1	1.60	0.126
24 °C con cal, C1	46.15	0.000
30 °C con cal, C1	4.57	0.022
18 °C sin cal, C2	-463.84	1.000
4 °C con cal, C2	-125.76	1.000
16 °C con cal, C2	-54.65	1.000
18 °C con cal, C2	-102.22	1.000
24 °C con cal, C2	-49.73	1.000
30 °C con cal, C2	-167.99	1.000

**4.2.8. Inferencia general**

En C1, H1 se acepta, mientras que, en C2, se rechaza parcialmente, ya que, aunque el CBR supera el 6% a partir de 18°C, la resistencia a compresión no alcanza el umbral de 3.51 kg/cm<sup>2</sup>; no obstante, se infiere de forma general que, la estabilización con cal mejora las propiedades mecánicas del suelo, pero su efectividad depende de la temperatura de curado y del tipo de suelo tratado.

### 4.3. **Discusión de resultados**

La subrasante de la carretera Campamento Túnel Conchano – Sivingan Bajo requiere estabilización, especialmente en la zona correspondiente a la calicata C2. Su alto contenido de finos, alta plasticidad, baja densidad seca y deficiente capacidad de soporte (CBR menor a 6%) hacen indispensable la aplicación de un tratamiento con cal para mejorar su desempeño mecánico. En ese contexto, Rios & Solano (2021) y Fernández & Manosalva (2022) han demostrado que la estabilización con cal incrementa significativamente el CBR y la resistencia a compresión no confinada en suelos de baja capacidad portante, lo que respalda la necesidad de implementar esta técnica en la carretera en estudio.

El contenido de humedad en las muestras de suelo de las calicatas C1 y C2 mostró una diferencia significativa, con valores de 16.73% y 23.10%, respectivamente. El mayor contenido de humedad en la calicata C2 sugiere una mayor susceptibilidad a la retención de agua, lo que podría influir negativamente en la estabilidad de la subrasante al aumentar la expansión y reducir su resistencia. Estos resultados son comparables con los reportados por Muhmed et al. (2022), quienes determinaron que la humedad influye significativamente en la resistencia de suelos arcillosos tratados con cal, y que valores elevados pueden comprometer la estabilidad estructural si no se estabilizan adecuadamente.

En términos de granulometría, la calicata C1 presentó un alto porcentaje de grava (52.35%), mientras que C2 no mostró presencia de este material y, en cambio, exhibió un elevado contenido de finos (72.20%). Esto indica que el suelo de C2 es más cohesivo y menos permeable, lo que lo hace propenso a expansiones y contracciones; esto concuerda con Ahouet et al. (2023), quienes identificaron

que los suelos con alto contenido de finos y limo arcilloso tienden a experimentar mayores variaciones volumétricas, afectando su capacidad de carga.

Respecto a los límites de consistencia, el índice de plasticidad (IP) de C1 fue de 8.94%, indicando una plasticidad media, mientras que en C2 alcanzó 20.66%, clasificándolo como un suelo de alta plasticidad, lo que sugiere una mayor susceptibilidad a deformaciones volumétricas. Estos valores refuerzan la clasificación SUCS de C1 como grava arcillosa (GC) y C2 como limo de alta plasticidad (MH). Estudios como los de Razali et al. (2023) han demostrado que los suelos con altos índices de plasticidad y arcillas de alta plasticidad requieren estabilización para mejorar su desempeño mecánico, especialmente cuando se exponen a cambios de humedad.

El análisis de compactación mostró que C1 presentó una mayor densidad seca máxima ( $1.97 \text{ g/cm}^3$ ) en comparación con C2 ( $1.57 \text{ g/cm}^3$ ), lo que indica que el suelo de C1 es más estable estructuralmente, mientras que C2 es más susceptible a deformaciones bajo carga. Estos resultados coinciden con los de Li et al. (2024), quienes determinaron que los suelos con menor densidad seca requieren estabilización para mejorar su compactación y reducir su tendencia al asentamiento.

En términos de capacidad de soporte, el ensayo CBR reveló que C1 tenía valores de 20.37% al 100% de la MDS y 12.15% al 95% de la MDS, lo que indica una adecuada capacidad de carga. Sin embargo, en C2, los valores fueron de 3.17% al 100% de la MDS y 1.73% al 95% de la MDS, muy por debajo del umbral mínimo de 6% establecido por el MTC (2014), lo que confirma que este suelo no es apto para subrasante sin estabilización. Resultados similares han sido reportados por Garcia (2022) y Angulo & Zavaleta (2021), quienes encontraron

que suelos con CBR inferiores a 6% requerían tratamiento con cal para alcanzar los valores recomendados.

En cuanto a la resistencia a la compresión no confinada, C1 presentó un valor de 1.176 kg/cm<sup>2</sup>, mientras que C2 alcanzó solo 0.672 kg/cm<sup>2</sup>, lo que indica que este último es más propenso a deformaciones y fallas estructurales bajo carga. Comparando estos resultados con Tunono & Fall (2024), se confirma que los suelos arcillosos tratados con cal pueden mejorar significativamente su resistencia, especialmente si se someten a condiciones de curado adecuadas.

La determinación del porcentaje de cal se realizó a través de dos métodos: el método tabular del Manual de Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos del MTC (2014) y el método del ábaco del Manual de Ensayos de Materiales del MTC (2016), descrito en la NTP 339.167 (2015). Ambas metodologías coincidieron en recomendar un 5% de cal para garantizar la estabilización de la subrasante, tomando como referencia la calicata C2, que representa la zona más crítica del tramo en estudio.

Estos resultados son consistentes con Ahouet et al. (2023), quienes determinaron que la adición de entre 3% y 6% de cal optimiza las propiedades mecánicas del suelo, incrementando significativamente la resistencia y la capacidad de soporte. Asimismo, Razali et al. (2023) encontraron que un 5% de cal era adecuado para estabilizar suelos lateríticos, mejorando su resistencia y reduciendo su plasticidad. De igual manera, Garcia (2022) reportó que la adición de 4% a 6% de cal aumentaba el CBR hasta en un 88%, confirmando que la proporción seleccionada en esta investigación es efectiva para suelos similares.

Tras la aplicación de 5% de cal en ambas calicatas, se observó una mejora significativa en la estabilidad y capacidad de soporte del suelo. Se analizaron

parámetros como contenido de humedad, granulometría, límites de consistencia, compactación, CBR y resistencia a la compresión no confinada.

El tratamiento con cal redujo el contenido de humedad en ambas calicatas, pasando de 16.73% a 14.89% en C1 y de 23.10% a 20.14% en C2. Esta reducción es atribuida a la reacción química entre la cal y el agua, que facilita la evaporación y mejora la trabajabilidad del suelo. Estudios como los de Muhmed et al. (2022) confirmaron que la cal es efectiva en la reducción del contenido de humedad de suelos arcillosos, optimizando su comportamiento mecánico.

El análisis granulométrico mostró ligeros cambios en la distribución de partículas. En C1, el contenido de finos disminuyó de 19.05% a 18.40%, mientras que en C2 se redujo de 72.20% a 70.20%. Esta disminución sugiere que la cal promueve la aglomeración de partículas finas, mejorando la cohesión del suelo. Resultados similares fueron reportados por Sánchez (2023), quien observó que la adición de cal a suelos arcillosos facilitaba la floculación y aglomeración de partículas, reduciendo su expansividad.

Uno de los efectos más importantes del tratamiento con cal fue la reducción del índice de plasticidad (IP). En C1, el IP pasó de 8.94% a 8.41%, mientras que en C2 disminuyó de 20.66% a 11.70%. Esta reducción es fundamental, ya que indica una menor susceptibilidad del suelo a cambios volumétricos por variaciones en la humedad. Tunono & Fall (2024) demostraron que la cal reduce significativamente el índice de plasticidad, lo que contribuye a la estabilidad del suelo tratado. Asimismo, Hernández (2021) encontró que la cal combinada con puzolanas disminuye la plasticidad del suelo y mejora su resistencia mecánica. En cambio, Ccansaya & Tello (2022) determinaron un incremento general en el IP del suelo con la adición de cal, no obstante, la

diferencia se debe a que, dichos autores utilizaron cal hidratada de baja calidad química, lo que, también les trajo consecuencias negativas en la capacidad de soporte, de allí, la importancia, de utilizar cales que cumplan con los lineamientos generales para su uso en estabilización de carreteras.

El tratamiento con cal incrementó la densidad seca máxima en ambas calicatas. En C1, la MDS aumentó de  $1.97 \text{ g/cm}^3$  a  $2.05 \text{ g/cm}^3$ , mientras que en C2 pasó de  $1.57 \text{ g/cm}^3$  a  $1.67 \text{ g/cm}^3$ . Este incremento indica que el suelo tratado con cal puede alcanzar una mayor densidad al compactarse, lo que mejora su capacidad de carga. Resultados similares fueron reportados por Fonseca (2023), quien encontró que la aplicación de 4.5% de cal mejoraba significativamente la densidad del suelo, reduciendo su porosidad y aumentando su CBR, y por Herrera & Miranda (2022) que determinaron que, con 12% de cal en el suelo aumentaban su MDS y el CBR del suelo hasta 15.5%.

El contenido óptimo de humedad (OCH) se redujo de 9.70% a 7.20% en C1 y de 16.20% a 13.50% en C2. Esta reducción implica que el suelo tratado requiere menos agua para alcanzar su máxima compactación, lo que facilita su manipulación en obra. Arevalo & Tananta (2022) encontraron tendencias similares en suelos estabilizados con cal, confirmando que este comportamiento es característico de suelos tratados con este material.

Uno de los resultados más relevantes fue el incremento en la capacidad de soporte del suelo medido mediante el ensayo CBR. En C1, el CBR al 100% de la MDS aumentó de 20.37% a 41.97%, mientras que en C2 se incrementó de 3.17% a 6.50%. A pesar de esta mejora, el suelo de C2 apenas alcanzó el umbral mínimo de 6% recomendado por el MTC (2014), lo que sugiere que, si bien la estabilización con cal mejoró sus propiedades, podría requerir tratamientos

adicionales. Hernández (2021) y Rios & Solano (2021) reportaron incrementos similares en el CBR de suelos tratados con cal, validando la efectividad de la dosificación utilizada en esta investigación.

La resistencia a la compresión no confinada también experimentó mejoras notables. En C1, la resistencia aumentó de 1.176 kg/cm<sup>2</sup> a 3.54 kg/cm<sup>2</sup>, superando el umbral de 3.51 kg/cm<sup>2</sup> requerido por el MTC (2014). Sin embargo, en C2 la resistencia pasó de 0.672 kg/cm<sup>2</sup> a 2.03 kg/cm<sup>2</sup>, sin alcanzar el mínimo requerido. Esto indica que, aunque la cal mejoró la resistencia del suelo, en C2 es posible que se necesiten otros métodos de estabilización adicionales, como el uso de cementos o aditivos complementarios. Estudios como los de Li et al. (2024) y Fernández & Manosalva (2022) han demostrado que la resistencia de suelos tratados con cal puede incrementarse aún más con la incorporación de subproductos industriales o cementantes.

Se confirma que los suelos de baja plasticidad responden mejor al tratamiento con cal. Hernández (2021) y Razali et al. (2023) concluyeron que los suelos lateríticos y arcillosos con menor índice de plasticidad presentan mejoras más significativas en su resistencia y capacidad de soporte tras la estabilización con cal. Este comportamiento es similar al observado en la calicata C1, donde el suelo, con una menor plasticidad, alcanzó valores adecuados de resistencia a compresión no confinada y CBR para ser considerado base tratada. En contraste, en la calicata C2, caracterizada por un alto contenido de finos y una mayor plasticidad, la mejora en resistencia fue limitada, lo que coincide con Li et al. (2024), quienes sugieren que en suelos altamente plásticos el uso de aditivos complementarios puede potenciar el efecto estabilizador de la cal.

La aplicación de 5% de cal es una solución efectiva para mejorar las propiedades mecánicas del suelo de la subrasante en la carretera Campamento Túnel Conchano – Sivingan Bajo. Sin embargo, se observa que, aunque la cal estabiliza de manera eficiente el suelo de C1, en C2 su capacidad de soporte y resistencia a la compresión no confinada aún son bajas para vías pavimentadas, pero cumplen los criterios de vías de tercera clase (afirmadas).

La capacidad de soporte del suelo tratado con cal se incrementa conforme aumenta la temperatura de curado, con su mejor desempeño a 30°C. Esto confirma la hipótesis de que la temperatura tiene un papel fundamental en la estabilización con cal, ya que favorece las reacciones químicas de hidratación y formación de compuestos cementantes, lo que incrementa la resistencia del suelo. Este comportamiento es consistente con Tunono & Fall (2024) y Al-Mukhtar et al. (2010), quienes demostraron que temperaturas más altas aceleran las reacciones puzolánicas y mejoran la resistencia mecánica de los suelos estabilizados con cal.

En C1, el CBR al 100% de MDS aumentó desde un valor inicial de 20.37% (suelo sin tratar) hasta 56.60% cuando el suelo fue curado a 30°C. A temperaturas más bajas, como 4°C, el CBR también mostró una mejora significativa, alcanzando 37.70%, aunque inferior a los valores obtenidos a temperaturas más altas. A 16°C y 18°C, el CBR se estabilizó en 40.20% y 41.97%, respectivamente, mientras que a 24°C aumentó a 45.93%. Este comportamiento sugiere que, aunque la estabilización con cal es efectiva a temperaturas ambientales moderadas, su eficiencia se maximiza en entornos cálidos. Estos resultados concuerdan con Duré et al. (2018), quienes demostraron que la resistencia a la compresión de suelos estabilizados con cal se duplica cuando el curado se realiza a temperaturas más altas (40°C en su estudio). Asimismo, Rao & Shivananda (2005) indicaron que la

temperatura ambiente juega un papel clave en la evolución de las reacciones suelo-cal, acelerando el desarrollo de la resistencia del suelo estabilizado.

Otro factor relevante es la expansión del suelo, que en C1 se mantuvo en 0.00% en todas las temperaturas, lo que indica una reducción total de la expansividad del suelo tras el tratamiento con cal. Esto refuerza las conclusiones de Nasrizar et al. (2010), quienes determinaron que el contenido óptimo de cal y la temperatura de curado tienen una relación directa en la reducción del potencial expansivo del suelo.

En C2, el comportamiento del suelo fue menos favorable en comparación con C1, aunque se observó una tendencia de mejora con el aumento de la temperatura. A 4°C, el CBR al 100% de MDS fue de 5.20%, un valor insuficiente para su uso como subrasante estabilizada según los criterios del MTC (2014). A 16°C, el CBR aumentó a 5.90%, mientras que a 18°C logró superar el umbral mínimo con 6.50%, lo que indica que, a temperaturas moderadas, el suelo tratado podría ser aceptable para su uso en vías afirmadas. A 24°C y 30°C, los valores de CBR continuaron en aumento, alcanzando 7.40% y 10.67%, respectivamente.

Estos resultados sugieren que la estabilización con cal en suelos de alta plasticidad, como los de C2, es menos eficiente en climas fríos, lo que coincide con Muhmed et al. (2022), quienes observaron que las arcillas altamente plásticas tratadas con cal requieren mayores temperaturas de curado para desarrollar resistencia mecánica suficiente. Asimismo, Bauzá (2015) encontró que suelos arcillosos estabilizados con cal muestran una mejora gradual en la densidad y resistencia a medida que aumenta la temperatura y el tiempo de curado.

En cuanto a la expansión del suelo, en C2 se observó una reducción significativa, pero no una eliminación total como en C1. A temperaturas de 4°C y

16°C, la expansión se mantuvo en torno al 5.05%, mientras que a 18°C se redujo a 3.59%. Sin embargo, a 30°C, la expansión no desapareció por completo, lo que sugiere que este suelo aún presenta cierta inestabilidad volumétrica incluso con el tratamiento de cal. Esto es consistente con Li et al. (2024), quienes indicaron que la adición de subproductos industriales, como cenizas volantes y yeso, puede mejorar aún más la estabilidad volumétrica de suelos estabilizados con cal.

Tunono & Fall (2024) determinaron que el aumento de la temperatura del entorno mejora significativamente la resistencia mecánica del suelo tratado con cal. Asimismo, Al-Mukhtar et al. (2010) evidenciaron que la tasa de reacciones puzolánicas se multiplica hasta seis veces cuando la temperatura de curado se incrementa de 20°C a 50°C. Estos hallazgos coinciden con los resultados obtenidos en la calicata C1, donde la resistencia a compresión y el CBR alcanzaron sus valores máximos a 24°C, reflejando el impacto positivo de una temperatura más alta en el proceso de estabilización.

Por otro lado, se corrobora que la estabilización con cal en climas fríos es menos eficiente. Rao & Shivananda (2005) encontraron que a bajas temperaturas las reacciones puzolánicas tardan más en activarse, lo que explica los bajos valores de CBR obtenidos en la calicata C2 a 4°C y 16°C. Además, Nasrizar et al. (2010) demostraron que el contenido de cal necesario para alcanzar una resistencia óptima varía en función de la temperatura de curado, lo que sugiere que en condiciones de baja temperatura podría requerirse una mayor proporción de cal o un tiempo de curado más prolongado para obtener resultados satisfactorios.

La temperatura de curado tiene un efecto significativo en la capacidad de soporte del suelo tratado con cal. En suelos de baja plasticidad, como C1, la estabilización con cal es altamente efectiva en todas las temperaturas, aunque su

desempeño mejora notablemente a temperaturas superiores a 18°C. En suelos de alta plasticidad, como C2, la estabilización con cal presenta limitaciones en climas fríos, ya que a temperaturas inferiores a 16°C el CBR sigue siendo insuficiente.

La resistencia a compresión no confinada del suelo tratado con cal mostró una tendencia al incremento conforme se aumentó la temperatura de curado en ambas calicatas, aunque con diferencias significativas entre ellas. En la calicata C1, la estabilización con cal permitió que el suelo superara el umbral de 3.51 kg/cm<sup>2</sup> a partir de los 18°C, alcanzando su mayor valor a 24°C (3.65 kg/cm<sup>2</sup>), mientras que en la calicata C2, a pesar de la mejora progresiva con la temperatura, la resistencia nunca alcanzó dicho umbral, quedando clasificada como una subrasante estabilizada en lugar de una base tratada.

Los resultados de la calicata C1 indican que el incremento de temperatura durante el curado favorece la reacción entre la cal y el suelo, promoviendo una mayor formación de productos cementantes que incrementan la resistencia mecánica. Esto es consistente con Tunono & Fall (2024), quienes evidenciaron que la aplicación de ciclos térmicos diarios mejoró la resistencia a compresión no confinada en suelos arcillosos marinos tratados con cal, resaltando la importancia de la temperatura en el desempeño del material estabilizado. Asimismo, el estudio de Razali et al. (2023) sobre suelos lateríticos tratados con cal también confirma la relación directa entre temperatura y resistencia mecánica, lo que refuerza la validez de los resultados obtenidos en la presente investigación.

Por otro lado, la calicata C2 presentó valores de resistencia a compresión inferiores en todas las condiciones de curado. A pesar de que la estabilización con cal mejoró la resistencia del suelo en comparación con su estado natural, el material no alcanzó la capacidad suficiente para considerarse base tratada. Este

comportamiento es similar al reportado por Muhmed et al. (2022), quienes observaron que la resistencia a compresión en arcillas altamente reactivas mejoraba con el contenido de humedad y temperatura, pero presentaba limitaciones en ciertos tipos de suelos con alto contenido de finos. Igualmente, Nasrizar et al. (2010) demostraron que la temperatura de curado influye en la cantidad de cal requerida para maximizar la resistencia, lo que explica por qué, en la calicata C2, los valores de resistencia fueron menores en comparación con C1.

Un aspecto relevante a destacar es la leve disminución de la resistencia en ambas calicatas cuando la temperatura de curado fue de 30°C. Este comportamiento sugiere que, aunque el aumento de temperatura mejora la reacción química del suelo con la cal, un exceso puede afectar negativamente la estabilidad estructural del suelo, posiblemente debido a una evaporación acelerada del agua de curado o a cambios en la microestructura del material estabilizado. Este fenómeno ha sido reportado por Duré et al. (2018), quienes indicaron que temperaturas de curado elevadas pueden reducir la expansión del suelo, pero también generar contracciones que afectan su resistencia a compresión.

En términos generales, la presente investigación confirma que la resistencia a compresión del suelo tratado con cal mejora significativamente con el aumento de la temperatura de curado, alcanzando valores óptimos en el rango de 18°C a 24°C, en concordancia con antecedentes como los de Al-Mukhtar et al. (2010) y Rao & Shivananda (2005), quienes reportaron que temperaturas más altas aceleran las reacciones puzolánicas y la formación de compuestos estabilizantes en el suelo tratado con cal.

Sin embargo, se evidencian limitaciones en suelos como los de la calicata C2, donde la estabilización con cal no logra alcanzar la resistencia mínima para

considerarse base tratada, lo que sugiere que en estos casos se deben evaluar técnicas adicionales de estabilización, como la combinación de cal con otros aditivos, tal como lo sugieren Li et al. (2024), quienes utilizaron subproductos industriales para optimizar la resistencia del suelo tratado con cal. Además, la influencia de la temperatura en la efectividad del tratamiento debe considerarse en la planificación de proyectos viales en zonas frías, dado que temperaturas menores a 16°C pueden limitar la mejora en la resistencia del suelo.

La comparación de las propiedades mecánicas entre el suelo natural y el suelo tratado con cal sometido a diferentes temperaturas de curado demostró mejoras significativas en los valores de resistencia y capacidad de soporte. Sin embargo, la magnitud de esta mejora varió dependiendo de la composición del suelo y la temperatura de curado. En la calicata C1, clasificada como grava arcillosa (GC), la estabilización con cal incrementó de manera notable el CBR y la resistencia a compresión no confinada, cumpliendo con los criterios del MTC para considerarse base tratada. Por otro lado, en la calicata C2, clasificada como limo de alta plasticidad (MH), aunque se evidenció un incremento en el CBR y en la resistencia a compresión, estos valores no fueron suficientes para cumplir con los umbrales mínimos exigidos para su uso como base tratada en vías pavimentadas, por lo que, solo puede ser subrasante estabilizada para vías de tercera clase (afirmadas), no obstante, esto es adecuado para la investigación porque la carretera Campamento Túnel Conchano – Sivingan Bajo es una vía de tercera clase.

La temperatura de curado tuvo un impacto determinante en la efectividad de la estabilización con cal. En ambas calicatas, las propiedades mecánicas mejoraron con el aumento de la temperatura, alcanzando su mejor desempeño a

24°C en C1 y a 30°C en C2. Esto coincide con Tunono & Fall (2024), quienes concluyeron que temperaturas ambientales más altas aceleran las reacciones químicas de la cal con el suelo, mejorando la resistencia mecánica. Asimismo, los estudios de Rao & Shivananda (2005) y Al-Mukhtar et al. (2010) demostraron que la velocidad de reacción de la cal con el suelo es mayor en temperaturas cálidas, generando una mayor formación de productos cementantes y, en consecuencia, un incremento en la resistencia del material tratado.

En la calicata C1, la resistencia a compresión no confinada del suelo sin tratar era de 1.18 kg/cm<sup>2</sup>, un valor insuficiente para ser considerado como base tratada. Tras el tratamiento con cal, la resistencia aumentó progresivamente con la temperatura, alcanzando su valor más alto a 24°C con 3.65 kg/cm<sup>2</sup>, y disminuyendo ligeramente a 3.53 kg/cm<sup>2</sup> a 30°C. Este comportamiento es similar a lo reportado por Duré et al. (2018), quienes observaron que temperaturas de curado elevadas mejoran la resistencia del suelo estabilizado, aunque un exceso puede generar efectos negativos debido a una rápida evaporación del agua de curado, afectando la estabilidad del material. Además, los resultados concuerdan con Nasrizar et al. (2010), quienes evidenciaron que existe un contenido óptimo de cal y una temperatura de curado específica para maximizar la resistencia del suelo tratado.

En cuanto al CBR en la calicata C1, los valores iniciales del suelo sin tratar fueron de 20.37% al 100% de MDS y 12.15% al 95% de MDS. Con la estabilización con cal, estos valores aumentaron significativamente, alcanzando su máximo rendimiento a 24°C con 45.93% y a 30°C con 56.60%. Estos valores superan ampliamente los criterios del MTC (2014) para suelos estabilizados. Estos resultados son consistentes con Razali et al. (2023) y Goicochea & Lugones

(2023), quienes reportaron incrementos significativos en el CBR con el uso de cal, especialmente a temperaturas más elevadas.

Por otro lado, la calicata C2 presentó un comportamiento diferente debido a su naturaleza de limo de alta plasticidad. La resistencia a compresión del suelo sin tratar era de 0.67 kg/cm<sup>2</sup>, lo que indica una capacidad estructural muy baja. Tras el tratamiento con cal, la resistencia aumentó, pero en ningún caso alcanzó el umbral mínimo de 3.51 kg/cm<sup>2</sup> requerido para base tratada. A 4°C, la resistencia alcanzó 1.81 kg/cm<sup>2</sup>, aumentando progresivamente hasta 2.16 kg/cm<sup>2</sup> a 24°C, para luego disminuir levemente a 2.10 kg/cm<sup>2</sup> a 30°C. Esta mejora es consistente con los resultados de Li et al. (2024) y Hernández (2021), quienes demostraron que la estabilización con cal puede incrementar la resistencia de suelos arcillosos, pero su efectividad depende de la granulometría y la plasticidad del material original.

En términos de capacidad de soporte, el CBR del suelo sin tratar en C2 era de 3.17% al 100% de MDS y 1.73% al 95% de MDS, valores significativamente bajos. Con la adición de cal, estos valores mejoraron progresivamente con la temperatura de curado. A 4°C, el CBR aumentó a 5.20%, alcanzando 7.40% a 24°C y un máximo de 10.67% a 30°C. Si bien estos valores reflejan una mejora en la capacidad de carga del suelo, siguen estando por debajo de los valores obtenidos en C1. Esto concuerda con los estudios de Ahouet et al. (2023) y Pérez & Rubio (2022), quienes encontraron que suelos de mayor plasticidad requieren aditivos complementarios o un porcentaje mayor de cal para lograr una mejora significativa en sus propiedades mecánicas.

Un aspecto importante a resaltar es la menor eficiencia de la estabilización con cal a bajas temperaturas. En ambas calicatas, los valores de resistencia y CBR a 4°C y 16°C fueron considerablemente inferiores en comparación con

temperaturas más altas. Esto sugiere que, en climas fríos, el tiempo de reacción de la cal es más lento, lo que limita la mejora en las propiedades mecánicas del suelo. Tunono (2022) y Muhmed et al. (2022) indicaron que la estabilización con cal es menos efectiva en suelos con temperaturas de curado bajas debido a la menor velocidad de reacción química y la reducida formación de enlaces cementantes.

La estabilización con cal mejora significativamente las propiedades mecánicas del suelo, pero su efectividad depende tanto de la temperatura de curado como de la composición del suelo. La calicata C1, con mayor proporción de grava y arena, respondió mejor al tratamiento con cal, alcanzando valores de resistencia y CBR adecuados para ser considerada base tratada a partir de los 18°C, con un desempeño óptimo a 24°C. En contraste, la calicata C2, con un alto contenido de finos y plasticidad, mostró mejoras en CBR, pero sin alcanzar la resistencia mínima requerida, lo que la limita a una subrasante estabilizada en lugar de una base tratada.

Estos hallazgos resaltan la importancia de considerar las condiciones ambientales en la estabilización de suelos con cal en proyectos de infraestructura vial. En climas fríos, es posible que el uso exclusivo de cal no sea suficiente y se requiera la combinación con otros estabilizantes, como lo sugieren Li et al. (2024) y Fernández & Manosalva (2022). Además, la temperatura de curado óptima identificada en esta investigación (24°C para C1 y 30°C para C2) proporciona una referencia clave para futuros estudios y aplicaciones en la estabilización de suelos en el distrito de Chota.

## CAPÍTULO V.

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1. Conclusiones

Al evaluar el comportamiento mecánico del suelo tratado con cal sometido a diferentes temperaturas durante el curado, subrasante de la carretera Campamento Túnel Conchano – Sivingan Bajo, Chota se ha determinado que:

- 1) La subrasante de la carretera Campamento Túnel Conchano – Sivingan Bajo requiere estabilización, especialmente en la zona correspondiente a la calicata C2. Este suelo presenta CBR de 3.17% al 100% de MDS y 1.73% al 95% de MDS, valores muy por debajo del mínimo 6% exigido por el MTC (2014). Además, su clasificación MH (limo de alta plasticidad), alto contenido de finos (72.20%) e IP de 20.66% lo hacen susceptible a expansiones y contracciones. Aunque C1 muestra mejores propiedades mecánicas, su resistencia a compresión de 1.176 kg/cm<sup>2</sup> sigue siendo insuficiente de acuerdo al MTC (2016), por lo tanto, se debe estabilizar con cal.
- 2) El 5% de cal es el porcentaje óptimo para la estabilización del suelo de la subrasante de la carretera Campamento Túnel Conchano – Sivingan Bajo, según los métodos del MTC (2014) y el MTC (2016). La aplicación de este porcentaje mejoró significativamente las propiedades mecánicas del suelo, reduciendo su índice de plasticidad (IP) de 20.66% a 11.70% en C2, aumentando la densidad seca máxima (MDS) en ambas calicatas y mejorando la capacidad de soporte (CBR de 3.17% a 6.50% en C2 y de 20.37% a 41.97% en C1). Sin embargo, en C2, la resistencia a compresión no confinada (2.03 kg/cm<sup>2</sup>) no alcanzó el umbral mínimo de 3.51 kg/cm<sup>2</sup> dado por el MTC (2016) para bases tratadas, por lo que, solo cumple como subrasante estabilizada.

- 3) La capacidad de soporte (CBR) del suelo tratado con cal aumenta con la temperatura de curado, alcanzando su mejor desempeño a 30°C. En C1, el CBR al 100% de MDS pasó de 20.37% a 56.60%, mientras que en C2 aumentó de 3.17% a 10.67%; sin embargo, en temperaturas frías (4°C y 16°C), el suelo en C2 no alcanzó el umbral mínimo de 6%, lo que indica que su estabilización con cal no es efectiva en climas fríos.
- 4) La resistencia a compresión no confinada del suelo tratado con cal aumenta con la temperatura de curado, alcanzando su mejor desempeño a 24°C. En C1, la resistencia pasó de 1.18 kg/cm<sup>2</sup> a 3.65 kg/cm<sup>2</sup>, superando el umbral de 3.51 kg/cm<sup>2</sup> a partir de los 18°C, lo que permite su clasificación como base tratada. En C2, la resistencia aumentó de 0.67 kg/cm<sup>2</sup> a 2.16 kg/cm<sup>2</sup>, pero no alcanzó el umbral mínimo, indicando que solo puede considerarse como subrasante estabilizada; a temperaturas frías (4°C y 16°C), la mejora fue insuficiente en ambos casos, especialmente en C2, lo que confirma que la estabilización con cal es menos efectiva en climas fríos.
- 5) La comparación entre el suelo natural y el suelo tratado con cal demuestra que la estabilización con 5% de cal mejora significativamente las propiedades mecánicas del suelo, especialmente en C1 (grava arcillosa - GC), donde el CBR y la resistencia a compresión no confinada alcanzaron valores que cumplen los criterios del MTC, en cambio, en C2 (limo de alta plasticidad - MH), si bien hubo un incremento en el CBR, la resistencia a compresión fue baja, sobre todo ante temperaturas frías (4°C y 16°C), donde la estabilización con cal fue menos efectiva, siendo así, la temperatura de curado tiene un impacto significativo en el desempeño del suelo tratado, con un rendimiento óptimo a 24°C en C1 y 30°C en C2.

## **5.2. Recomendaciones y/o sugerencias**

Dado que la subrasante de la carretera Campamento Túnel Conchano – Sivingan Bajo requiere estabilización, especialmente en la zona correspondiente a C2, se recomienda aplicar 5% de cal para mejorar sus propiedades mecánicas.

En suelos de alta plasticidad como C2, donde la resistencia a compresión no confinada sigue por debajo del umbral mínimo para bases tratadas, se sugiere evaluar la incorporación de otros estabilizantes complementarios, como cementos o polímeros, para optimizar la capacidad estructural del suelo tratado.

Dado que el CBR del suelo tratado con cal mejora con la temperatura, se sugiere ejecutar las obras de estabilización en condiciones climáticas favorables, preferiblemente a temperaturas superiores a 18°C. En climas fríos, donde la eficiencia del tratamiento disminuye, se sugiere el uso de métodos de control térmico, como la aplicación de agua temperada durante el curado, no obstante, esto debe ser verificado previamente en laboratorio.

Puesto que la resistencia a compresión no confinada del suelo tratado con cal se optimiza a temperaturas cercanas a 24°C, se recomienda planificar las obras de estabilización en periodos de temperatura adecuada. En climas fríos, donde la reacción suelo-cal es más lenta, se sugiere prolongar el tiempo de curado.

Para futuras investigaciones, se recomienda ampliar el estudio a diferentes tipos de suelos y condiciones climáticas, incluyendo la evaluación del efecto del curado prolongado y la influencia de la humedad ambiental en la estabilización con cal. Además, se sugiere realizar pruebas a escala de campo, implementando métodos de control de temperatura en la ejecución del curado, con el objetivo de validar los resultados obtenidos en laboratorio.

## CAPÍTULO VI.

### REFERENCIAS

- AENOR. (2016). *UNE-EN 459-1:2016. Cales para la construcción. Parte1: Definiciones, especificaciones y criterios de selección*. Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR). [https://www.academia.edu/24874009/Norma\\_UNE\\_escayola](https://www.academia.edu/24874009/Norma_UNE_escayola)
- AENOR. (2022). *UNE-EN 459-2:2022. Cales para la construcción. Parte2: Métodos de ensayo*. Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR). <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0068550>
- Ahouet, L., Okina, S. N., & Ekockaut, J. A. (2023). Effect of lime addition on the particle size fractions and microstructure of a clayey silt. *Arabian Journal of Geosciences*, 16(10), 548. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s12517-023-11625-5>
- Al-Mukhtar, M., Lasledj, A., & Alcover, J. F. (2010). Behaviour and mineralogy changes in lime-treated expansive soil at 20 C. *Applied clay science*, 50(2), 191-198. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.clay.2010.07.023>
- Amaya, M. E., Botero, E. J., & Ovando, E. S. (2019). Lime stabilisation of highly compressible surface from soils in ex-Lake Texcoco, Mexico. *Environmental Geotechnics*, 8(6), 416-427. <https://doi.org/https://doi.org/10.1680/jenge.18.00139>
- Anburuvel, A. (2023). The engineering behind soil stabilization with additives: a state-of-the-art review. *Geotechnical and Geological Engineering*, 1(1), 1-42. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s10706-023-02554-x>
- Angulo, M., & Zavaleta, C. N. (2021). *Estabilización de suelos arcillosos con cal para el mejoramiento de las propiedades físico – mecánicas como capa de rodadura en la prolongación Navarro Cauper, Distrito San Juan – Maynas – Iquitos, 2019*. [Tesis de grado, Universidad Científica del Perú]. <http://repositorio.ucp.edu.pe/handle/UCP/1220>
- Arevalo, R. D., & Tananta, J. H. (2022). *Mejoramiento de afirmado con adición de cal estructural en el camino vecinal SM 804 Alto Ponaza, Miraflores, distrito de Shamboyacu, Picota – San Martín*. [Tesis de grado, Universidad Científica del Perú]. <http://repositorio.ucp.edu.pe/handle/UCP/1891>

- ASTM C110. (2020). *Standard Test Methods for Physical Testing of Quicklime, Hydrated Lime, and Limestone*. American Society for Testing and Materials (ASTM). <https://www.astm.org/c0110-20.html>
- ASTM C25. (2019). *Standard Test Methods for Chemical Analysis of Limestone, Quicklime, and Hydrated Lime*. American Society for Testing and Materials (ASTM). <https://www.astm.org/c0025-19.html>
- Ávila, F., Puertas, E., & Gallego, R. (2022). Mechanical characterization of lime-stabilized rammed earth: Lime content and strength development. *Construction and Building Materials*, 350(1), 1-10. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.128871>
- Ayre, V. (2020). *Determinación del tamaño de los residuos de la explotación industrial del travertino para la obtención óptima de cal viva*. [Tesis de grado, Universidad Nacional del Centro del Perú]. <http://hdl.handle.net/20.500.12894/5861>
- Bauzá, J. D. (2015). *El tratamiento de los suelos arcillosos con cal. Comportamiento mecánico y evolución a largo plazo ante cambios de humedad*. [Tesis doctoral, Universidad de Sevilla]. <https://idus.us.es/handle/11441/32957>
- Beetham, P., Dijkstra, T., Dixon, N., Fleming, P., Hutchison, R., & Bateman, J. (2015). Lime stabilisation for earthworks: a UK perspective. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Ground Improvement*, 168(2), 81-95. <https://doi.org/https://doi.org/10.1680/grim.13.00030>
- Bell, F. G. (1996). Lime stabilization of clay minerals and soils. *Engineering geology*, 42(4), 223-237. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0013-7952\(96\)00028-2](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0013-7952(96)00028-2)
- Bono, R. (2012). *Diseños cuasi-experimentales y longitudinales*. Universitat de Barcelona. <http://hdl.handle.net/2445/30783>
- Bustamante, C. A. (2021). *Caracterización térmica y acústica del concreto simple ( $f'c=175 \text{ kg/cm}^2$ ) elaborado con distintas dosis de poliestireno, Chota, 2020*. [Tesis de grado, Universidad Nacional Autónoma de Chota]. <https://doi.org/https://hdl.handle.net/20.500.14142/190>
- Castañeda, J. (2019). *Lime Stabilization*. Simposio llevado a cabo en el XVI Congreso Panamericano de Mecánica de Suelos e Ingeniería Geotécnica, Cancún, México.
- Cauas, D. (2015). *Definición de las variables, enfoque y tipo de investigación*. Universidad Nacional de Colombia. <https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/36805674/1-Variables-libre.pdf?1425133381=&response-content->

disposition=inline%3B+filename%3Dvariables\_de\_Daniel\_Cauas.pdf&Expires=1695581963&Signature=gxF6XAJ5j7iK-

XV2~yd2VNMIN968VqT6lvyIxOzvbM2UMKEbGI9iJ7mzM7Cf9s28

- Ccansaya, R., & Tello, A. J. (2022). *Análisis comparativo entre los métodos de estabilización por sustitución y por adición de cal de obra, para el mejoramiento de una subrasante arcillosa en la carretera Canta - Huayllay KM 57-59*. [Tesis de grado para obtener el título profesional de Ingeniero Civil, Pontificia Universidad Católica del Perú]. <http://hdl.handle.net/20.500.12404/23352>
- Cherian, C., Bandipally, S., Arnepalli, D. N., Dhulipala, V. R., & Koropolu, R. N. (2016). Reappraisal of optimum lime content determination for lime stabilization of fine-grained soils. *6th Asian regional conference on geosynthetics—geosynthetics for infrastructure development*, 8(11), 1-16. [https://doi.org/https://www.researchgate.net/profile/Dali-Naidu-Arnepalli/publication/310356627\\_REAPPRAISAL\\_OF\\_OPTIMUM\\_LIME\\_CONTENT\\_DETERMINATION\\_FOR\\_LIME\\_STABILIZATION\\_OF\\_FINE-GRAINED\\_SOILS/links/582d9bd908ae138f1c018bc3/REAPPRAISAL-OF-OPTIMUM-LIME-CONTENT-DETERMINATION](https://doi.org/https://www.researchgate.net/profile/Dali-Naidu-Arnepalli/publication/310356627_REAPPRAISAL_OF_OPTIMUM_LIME_CONTENT_DETERMINATION_FOR_LIME_STABILIZATION_OF_FINE-GRAINED_SOILS/links/582d9bd908ae138f1c018bc3/REAPPRAISAL-OF-OPTIMUM-LIME-CONTENT-DETERMINATION)
- Culqui, M. A. (2017). *Influencia de la calidad de las calizas para la producción de cal viva en la calera La Conga del caserío de Sogorón Alto Distrito de la Encañada, Cajamarca 2017*. [Trabajo de grado, Universidad Privada del Norte]. <http://hdl.handle.net/11537/11358>
- Das, B. M. (2015). *Fundamentos de ingeniería geotécnica (Cuarta edición ed.)*. Cengage Learning.
- Das, G., Razakamanantsoa, A., Herrier, G., & Deneele, D. (2023). Physicochemical and Microstructural Evaluation in Lime-Treated Silty Soil Exposed to Successive Wetting-Drying Cycles Submitted to Different Testing Conditions. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 35(3), 1-10. [https://doi.org/https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0004636](https://doi.org/https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0004636)
- Duré, L., Bachetto, P., Leguizamón, O., Santacruz, R., Bittar, E., Samaniego, R., & Aquino, F. (2018). Efecto de la temperatura de cura en suelos dispersivos estabilizados con cal y reforzados con fibra de polipropileno en términos de resistencia y durabilidad. *XIX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, Geotecnia e Desenvolvimento Urbano*, 1(1), 1-13. <https://doi.org/https://www.researchgate.net/profile/Eduardo->

- Bittar/publication/330440388\_Efecto\_de\_la\_temperatura\_de\_curado\_en\_suelos\_dispersivos\_estabilizados\_con\_cal\_y\_reforzados\_con\_fibra\_de\_polipropileno\_en\_terminos\_de\_resistencia\_y\_durabilidad/links/5c401fe0458515a
- Fernández, D., & Manosalva, M. A. (2022). *Mejoramiento del suelo de fundación con adición de cal en la infraestructura vial Puerto Ciruelo, distrito de Huarango, Cajamarca, 2021*. [Tesis de grado, Universidad Nacional César Vallejo]. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/88773>
- Fonseca, K. M. (2023). *Estabilización de suelos con cal y cemento para tratamiento de subrasante de la carretera en el Distrito la Ramada Provincia de Cutervo – Cajamarca - Perú*. [Tesis de grado, Universidad Señor de Sipán]. <https://hdl.handle.net/20.500.12802/12100>
- García, A. L. (2022). *Estabilización de suelos con cal como una alternativa viable para la construcción y rehabilitación de caminos rurales en Colombia*. [Tesis de grado, Universidad Nacional Abierta y a Distancia]. <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/50824>
- Goicochea, C. E., & Lugones, M. H. (2023). *Uso de sedimentos de Chavimochic y Cal para la estabilización de suelos arenosos en el tramo desvió de Virú – puerto Morín – la libertad 2022*. [Tesis de pregrado para optar el título de Ingeniero Civil, Universidad Privada Antenor Orrego]. <https://hdl.handle.net/20.500.12759/10670>
- Grajales, T. (2000). *Tipos de investigación*. Cmaps. <https://cmapspublic2.ihmc.us/rid=1RM1F0L42-VZ46F4-319H/871.pdf>
- Hernández, A. (2021). *Comportamiento mecánico de un suelo arcilloso estabilizado con puzolanas y cal como material para capa sub base*. [Tesis de maestría en ingeniería de vías terrestres y movilidad, Universidad Autónoma de Querétaro]. <https://ri-ng.uaq.mx/handle/123456789/8846>
- Herrera, S. C., & Miranda, L. S. (2022). *Mejoramiento de suelos arcillosos, utilizando cal en la sub rasante de pavimentos, pasaje El Porvenir, sector el Parral, Jaén, Cajamarca 2022*. [Tesis de grado, Universidad César Vallejo]. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/107720>
- INACAL. (2015). *NTP 339.167. SUELOS. Método de ensayo normalizado para la resistencia a la compresión no confinada de suelos cohesivos*. Instituto Nacional de Calida (INACAL).
- INACAL. (17 de enero de 2019). *NTP 334.168 CALES. Cal hidráulica puzolánica para propósitos estructurales. Requisitos*. Instituto Nacional de Calidad (INACAL).

- INACAL. (2019). *NTP 339.127. SUELOS. Método de ensayo para determinar el contenido de humedad de un suelo. 1ª Ed.* Instituto Nacional de Calidad (INACAL).
- INACAL. (2019). *NTP 339.128. SUELOS. Método de ensayo para el análisis granulométrico. 1ª Ed.* Instituto Nacional de Calidad (INACAL).
- INACAL. (2019). *NTP 339.129. SUELOS. Método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico, e índice de plasticidad de suelos. 1ª Ed.* Instituto Nacional de Calidad (INACAL).
- INACAL. (2019). *NTP 339.141. SUELOS. Método de ensayo para la compactación del suelo en laboratorio utilizando una energía modificada (2 700 kN-m/m<sup>3</sup> (56 000 pie-lbf/pie<sup>3</sup>)). 1ª Ed.* Instituto Nacional de Calidad (INACAL).
- INACAL. (2019). *NTP 339.145. SUELOS. Método de ensayo de CBR (Relación de Soporte de California) de suelos compactados en el laboratorio. 1ª Ed.* Instituto Nacional de Calidad (INACAL).
- INACAL. (2021). *NTP 334.125 CALES. Cal viva y cal hidratada para estabilización de suelos. Especificaciones. 3a Ed.* Instituto Nacional de Calidad (INACAL).
- Ishibashi, I., & Hazarika, H. (2015). *Soil mechanics fundamentals*. CRC Press.
- James, J., & Sivakumar, V. L. (2022). An Appraisal on the Parameters Influencing Lime Stabilization of Soils. *Journal of Materials and Engineering Structures «JMES»*, 9(2), 221-236.  
<https://doi.org/https://revue.ummt0.dz/index.php/JMES/article/view/3049>
- Johny, R., Abraham, B. M., & Sridharan, A. (2023). Effect of surcharge loads during curing of lime-stabilised Cochin marine clay. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Ground Improvement*, 1(1), 1-43.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1680/jgrim.22.00051>
- Li, C., Wang, S., Ding, J., Zhang, S., & Gao, M. (2024). Mechanical and microstructural properties of lime-treated excavated soil improved with different industry by-products. *Construction and Building Materials*, 419(1), 1-10.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2024.135507>
- Liang, Z., Zhang, A., Ren, W., Hu, H., & Wang, Y. (2023). Investigating the curing time effect on water retention property and microstructure of lime-treated Ili loess. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 82(7), 1-13.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s10064-023-03267-4>

- Liu, Y., Wang, Q., Liu, S., ShangGuan, Y., Fu, H., Ma, B., & Yuan, X. (2019). Experimental investigation of the geotechnical properties and microstructure of lime-stabilized saline soils under freeze-thaw cycling. *Cold Regions Science and Technology*, 161(1), 32-42. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.coldregions.2019.03.003>
- Llano, E. P. (2021). *Efecto del intemperismo sobre las propiedades fisicoquímicas, el desempeño y la durabilidad de suelos viales aditivados con estabilizantes químicos*. [Tesis de doctorado en Ingeniería de Materiales, Universidad de Antioquia]. <https://hdl.handle.net/10495/22113>
- Marin, N. K. (2023). *Influencia de la Aplicación de Cloruro de Sodio en la Estabilización de Suelos Arcillosos para Uso como Subrasante Mejorada del Pavimento de la Carretera Cajamarca - Huacariz 2021*. [Tesis de grado para optar el título profesional de Ingeniero Civil, Universidad Nacional de Cajamarca]. <http://hdl.handle.net/20.500.14074/5793>
- Mercado, J. L. (2021). *Diseño de pavimentos flexibles. Especialización en ingeniería de pavimentos*. Universidad Militar Nueva Granada. <https://es.slideshare.net/slideshow/diseo-de-pavimentos-flexibles-clases-1-a-3pdf/259123015#1>
- Merlos, F. A., Silva, J. V., Baudron, F., & Hijmans, R. J. (2023). Estimating lime requirements for tropical soils: Model comparison and development. *Geoderma*, 432(1), 1-10. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2023.116421>
- Moale, A. B., & Rivera, E. J. (2019). *Estabilización química de suelos arcillosos con cal para su uso como subrasante en vías terrestres de la localidad de Villa Rica*. [Tesis de grado, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC)]. <http://hdl.handle.net/10757/648846>
- Montejo, A., Montejo, A., & Montejo, A. (2018). *Estabilización de suelos*. Ediciones de la U. [https://books.google.com.pe/books?id=MzSjDwAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=propiedades+f%C3%ADsico+mec%C3%A1nicas+del+suelo+vial&hl=es&newbks=1&newbks\\_redir=0&sa=X&ved=2ahUKEwjgLGOhJeLAXVXHrkGHYj7BrcQ6AF6BAgMEAM#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.pe/books?id=MzSjDwAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=propiedades+f%C3%ADsico+mec%C3%A1nicas+del+suelo+vial&hl=es&newbks=1&newbks_redir=0&sa=X&ved=2ahUKEwjgLGOhJeLAXVXHrkGHYj7BrcQ6AF6BAgMEAM#v=onepage&q&f=false)
- MTC. (2014). *Manual de carreteras: Suelos, geología, geotecnia y pavimentos. Sección suelos y pavimentos*. Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC).

- MTC. (2014). *Manual de carreteras: Suelos, geología, geotecnia y pavimentos. Sección Suelos y Pavimentos*. Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC).
- MTC. (2015). *Manual de Carreteras: Especificaciones Técnicas Generales para Construcción R.D.N° 22-2013-MTC/14*. Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC).
- MTC. (2016). *Manual de ensayos de materiales*. Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC).
- Muhmed, A., Mohamed, M., & Khan, A. (2022). The Impact of Moisture and Clay Content on the Unconfined Compressive Strength of Lime Treated Highly Reactive Clays. *Geotechnical and Geological Engineering*, 40(12), 5869-5893. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s10706-022-02255-x>
- MVCS. (2012). Norma CE.020 Estabilización de suelos y taludes. En C. y. Ministerio de Vivienda, *Reglamento Nacional de Edificaciones* (págs. 1-18). Instituto de la Construcción y Gerencia. [https://cdn-web.construccion.org/normas/rne2012/rne2006/files/titulo2/05\\_CE/017-2012-CE020.pdf](https://cdn-web.construccion.org/normas/rne2012/rne2006/files/titulo2/05_CE/017-2012-CE020.pdf)
- Nasrizar, A. A., Muttharam, M., & Llamparuthi, K. (2010). Effect of placement water content on strength of temperature cured lime treated expansive soil. *Ground Improvement and Geosynthetics*, 1(1), 174-180. [https://doi.org/https://doi.org/10.1061/41108\(381\)23](https://doi.org/https://doi.org/10.1061/41108(381)23)
- Nasrizar, A. A., Muttharam, M., & Llamparuthi, K. (2010). Role of lime content on soil-lime reaction under thermal curing. *Proceedings of Indian Geotechnical Conference-2010, GEOTrendz*, 18(1), 1-4. <https://doi.org/https://gndec.ac.in/~igs/ldh/conf/2010/articles/t030.pdf>
- Nguyen, T. T., Cui, Y. J., Ferber, V., Herrier, G., Ozturk, T., Piler, F., & Tang, A. M. (2019). Effect of freeze-thaw cycles on mechanical strength of lime-treated fine-grained soils. *Transportation Geotechnics*, 21(1), 1-34. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.trgeo.2019.100281>
- NLA. (2006). *Mixture Design and testing Procedures for lime Stabilized Soil [Folleto]*. National Lime Association. <https://www.lime.org/publications/free-downloads/>
- Parra, M. L., & Briceño, I. I. (2013). Aspectos éticos en la investigación cualitativa. *Revista De Enfermería Neurológica*, 12(3), 118-121. <https://doi.org/https://doi.org/10.51422/ren.v12i3.167>

- Pérez, L., & Rubio, K. Y. (2022). *Mejoramiento de afirmado con adición de cal estructural en el camino vecinal SM 107 Alfonso Ugarte, Nuevo Alianza – Nuevo Piura – Sector Contamana – Picota – San Martín*. [Tesis de grado, Universidad Científica del Perú]. <http://repositorio.ucp.edu.pe/handle/UCP/1892>
- Rao, S. M., & Shivananda, P. (2005). Role of curing temperature in progress of lime-soil reactions. *Geotechnical & Geological Engineering*, 23(1), 79-85. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s10706-003-3157-5>
- Razali, R., Rashid, A. S., Lat, D. C., Horpibulsuk, S., Roshan, M. J., Rahman, N. S., & Rizal, N. H. (2023). Shear strength and durability against wetting and drying cycles of lime-stabilised laterite soil as subgrade. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 132(1), 1-10. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.pce.2023.103479>
- Rios, H. A., & Solano, B. A. (2021). *Estudio exploratorio de estabilización de una subrasante de suelo arcilloso con cal viva como material estabilizante en el A.A.H.H Las Colinas, calle Lagunas - San Juan Bautista - 2021*. [Tesis para optar al título profesional de Ingeniero Civil, Universidad Científica del Perú]. <http://repositorio.ucp.edu.pe/handle/UCP/1379>
- Rodríguez, A. J. (2021). *EQUILIBRIO QUÍMICO y EQUILIBRIO EN SOLUCIONES ACUOSAS Deducción de la constante de equilibrio. - Interpretación de la constante de equilibrio. - Equilibrio homogéneo y heterogéneo. - Principio de Le Chatelier Fuerzas de los ácidos bases. - Auto ionización*. [Monografía de pregrado, Universidad Nacional de Educación Enrique Guzmán y Valle]. <https://repositorio.une.edu.pe/handle/20.500.14039/7363>
- RPP. (29 de julio de 2017). 12 cosas que hacen del Perú un país único. *Radio Programas del Perú (RPP)*, págs. 1-3. <https://rpp.pe/mundo/actualidad/las-10-cosas-que-hacen-del-peru-un-pais-unico-noticia-1067252#:~:text=Clima.,consecuentemente%2C%20de%20flora%20y%20fauna>
- Sánchez, A. (2023). *Influencia de los residuos del proceso de producción de cal en el mejoramiento del CBR de suelos arcillosos Chota*. [Tesis de grado para optar el título de Ingeniero Civil, Universidad Nacional Autónoma de Chota]. <http://hdl.handle.net/20.500.14142/334>

- Tamayo, M. (2007). Tipo de Investigación. *Abouhamad, Apuntes de investigación en ciencias sociales*, 52, 48-52. <https://doi.org/http://virtual.urbe.edu/tesispub/0035065/cap03.pdf>
- Tunono, C. (2022). *Testing of the Thermo-Hydro-Mechanical-Chemical (THMC) Behavior of Lime-Treated Subgrade Marine Clays Subjected to Environmental Stresses*. [Thesis submitted, Université d'Ottawa/University of Ottawa]. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.20381/ruor-28624>
- Tunono, C., & Fall, M. (2023). THMC Behavior of Lime-Stabilized Clay Subgrade Under Daily Thermal Cycles: Column Experiments. *Geotechnical and Geological Engineering*, 1(1), 1-30. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s10706-023-02596-1>
- Tunono, C., & Fall, M. (2024). THMC Behavior of Lime-Stabilized Clay Subgrade Under Daily Thermal Cycles: Column Experiments. *Geotechnical and Geological Engineering*, 42(2), 915-944. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s10706-023-02596-1>
- USACE. (1984). *Soil Stabilization for Pavements Mobilization Construction*. U. S. Army Corps of Engineers (USACE). <https://www.publications.usace.army.mil/USACE-Publications/Engineer-Manuals/u43544q/73746162/>
- Vega-Malagón, G., Ávila-Morales, J., Vega-Malagón, A. J., Camacho-Calderón, N., Becerril-Santos, A., & Leo-Amador, G. E. (2014). Paradigmas en la investigación. Enfoque cuantitativo y cualitativo. *European Scientific Journal*, 10(15), 523-528. <https://doi.org/https://core.ac.uk/reader/236413540>
- Weather Spark. (2023). *El clima y el tiempo promedio en todo el año en Chota*. Weather Spark: <https://es.weatherspark.com/y/19979/Clima-promedio-en-Chota-Per%C3%BA-durante-todo-el-a%C3%B1o#:~:text=Durante%20el%20transcurso%20del%20a%C3%B1o,m%C3%A1s%20de%2024%20%C2%B0C>.
- Wu, Y., & Wu, A. (1997). *Diseño robusto utilizando los métodos Taguchi*. Ediciones Díaz de Santos.



## *Anexo B. Panel fotográfico*

Fotografía 1. Vista de la Calera El Progreso



Fotografía 2. Vista de la cal dentro de la calera El Progreso



Fotografía 3. Vista de la carretera Campamento Túnel Conchano – Sivingan Bajo



Fotografía 4. Toma de puntos GPS en la carretera Campamento Túnel Conchano – Sivingan Bajo



Fotografía 5. Excavación de la calicata 1 (C1) en la carretera Campamento Túnel Conchano – Sivingan Bajo



Fotografía 6. Vista de la calicata 1 (C1) en la carretera Campamento Túnel Conchano – Sivingan Bajo



Fotografía 7. Toma de muestra en la calicata 1 (C1) en la carretera Campamento Túnel Conchano – Sivingan Bajo



Fotografía 8. Excavación de la calicata 2 (C2) en la carretera Campamento Túnel Conchano – Sivingan Bajo



Fotografía 9. Vista de la calicata 2 (C2) en la carretera Campamento Túnel Conchano – Sivingan Bajo



Fotografía 10. Toma de muestra en la calicata 2 (C2) en la carretera Campamento Túnel Conchano – Sivingan Bajo



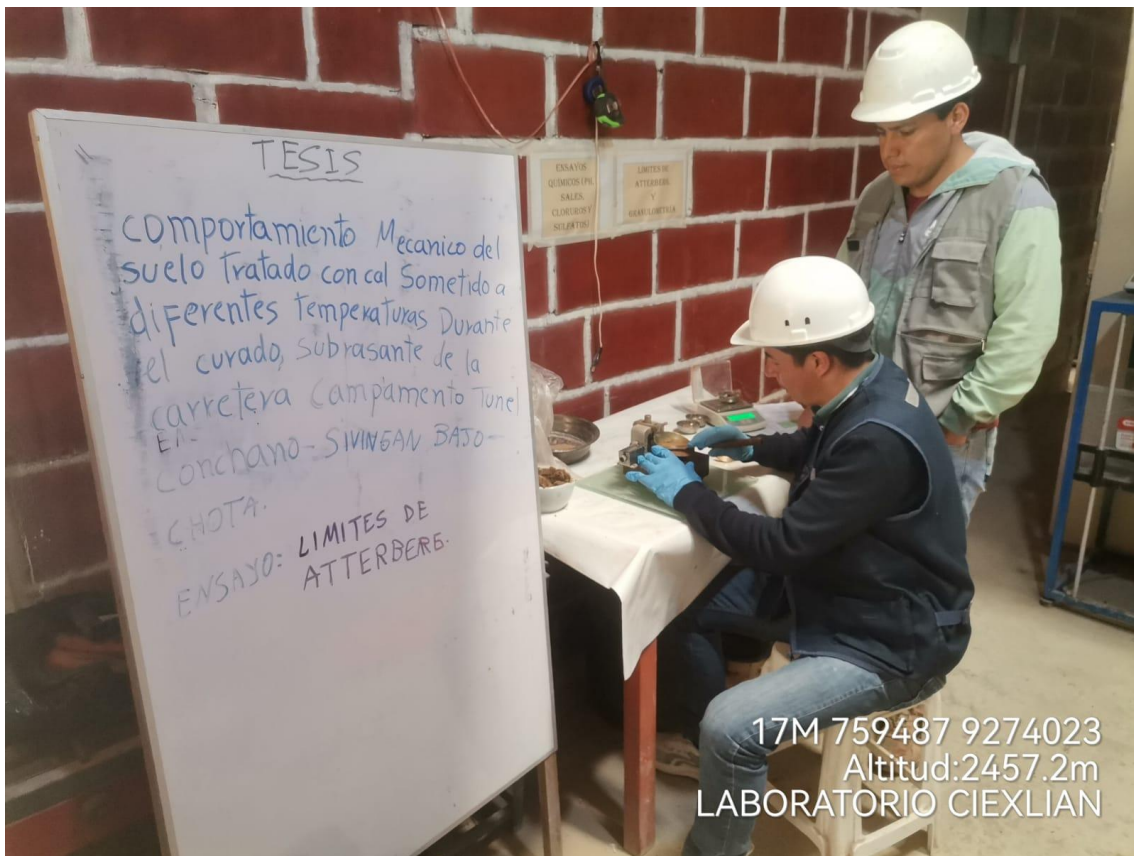
Fotografía 11. Realización del ensayo de contenido de humedad del suelo



Fotografía 12. Realización del ensayo de granulometría del suelo



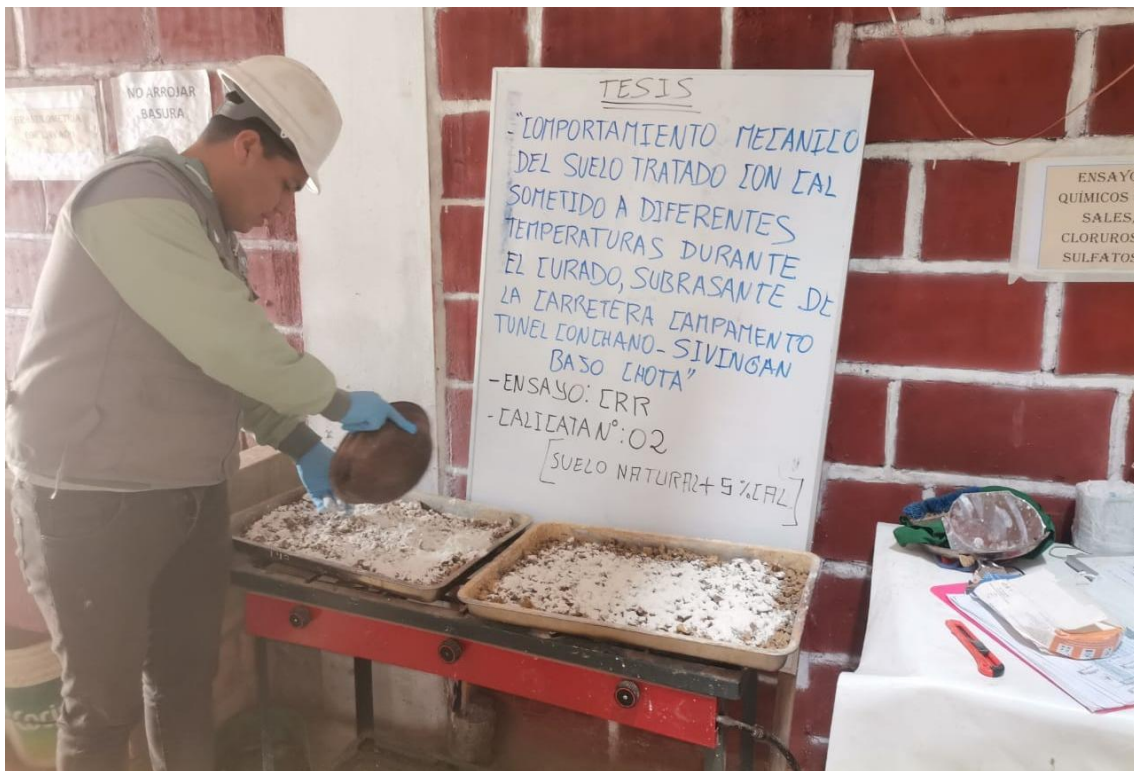
Fotografía 13. Realización de ensayo de límites de consistencia en el suelo



Fotografía 14. Realización del ensayo de Proctor modificado del suelo



Fotografía 15. Realización del ensayo de CBR del suelo: Preparación de mezcla



Fotografía 16. Realización del ensayo de CBR del suelo: Compactación del suelo



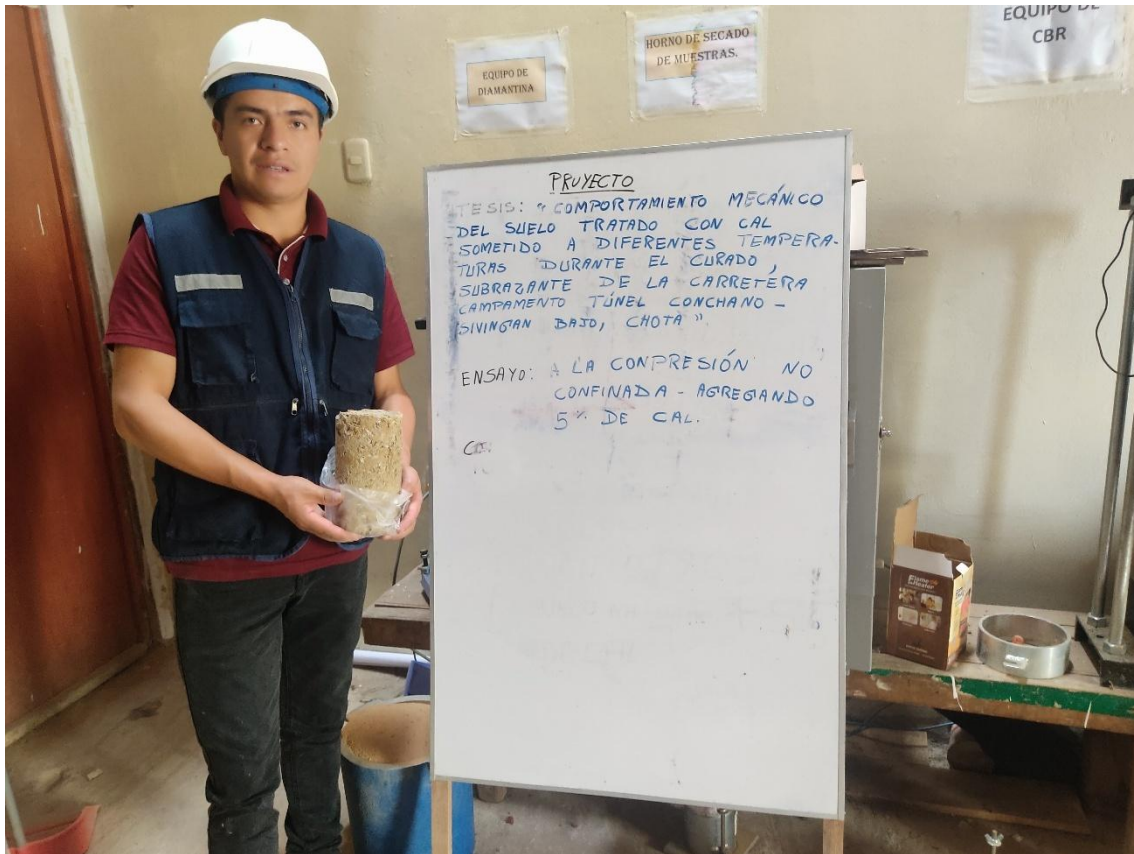
Fotografía 17. Realización del ensayo de CBR del suelo: Expansión del suelo



Fotografía 18. Preparación de muestras para ensayo de compresión no confinada



Fotografía 19. Muestras para ensayo a compresión no confinada: Suelo cal



Fotografía 20. Muestras para ensayo a compresión no confinada: Suelo cal sometido a diferentes temperaturas



Fotografía 21. Realización de ensayo a compresión no confinada al suelo cal a temperatura de 30 °C



Fotografía 22. Realización de ensayo a compresión no confinada al suelo cal a temperatura de 24 °C



Fotografía 23. Realización de ensayo a compresión no confinada al suelo cal a temperatura de 16 °C



Fotografía 24. Realización de ensayo a compresión no confinada al suelo cal a temperatura de 4 °C



Fotografía 25. Curado y control de temperatura de las probetas de suelo – cal



Fotografía 26. Curado y control de temperatura de las probetas de suelo – cal



### *Anexo C. Revisión documental*

**(Antecedentes que, a pesar de tener más de 05 años de antigüedad, son importantes guías metodológicas del estudio)**

Duré et al. (2018) en su artículo científico “Efecto de la temperatura de cura en suelos dispersivos estabilizados con cal y reforzados con fibra de polipropileno en términos de resistencia y durabilidad” tuvo como objetivo analizar el suelo arcillo limoso con LL de 27% e IP de 12% de la ciudad de Filadelfia estabilizado con 5%, 8% y 11% de cal y 0.4% de fibra de polipropileno sometidos a tiempos de curado de 7 días y 28 días, sometidos a temperatura ambiente ( $20\pm 2$  °C) y a temperatura de  $40\pm 2$  °C para ser sometidos a ensayos de compresión y expansión. Determinando que, la temperatura de curado ejerce influencia sobre la resistencia a compresión simple del material, duplicando los valores de resistencia a compresión para el suelo cal curado a temperatura ambiente; así mismo, la expansión del suelo se reduce al incrementar el contenido de cal pasando de 3.22% para el suelo natural a 0.73%, 0.26%, 0.26% para el suelo con 5, 8 y 11% de cal, no obstante, la expansión vuelve a acrecentarse al incrementar la temperatura de curado. Siendo así, concluyó que, la resistencia y durabilidad de estos suelos cementados están controlados por la relación vacíos/cal ante las dos temperaturas de curado.

Bauzá (2015) tuvo como objetivo estabilizar el suelo arcilloso con 0%, 2% y 3% de cal viva, para analizar el efecto de los cambios de humedad y temperatura en su evolución a largo plazo. El suelo estudiado en España era clasificado como M7 con 68% de partículas arcillosas y 67% de LL, según la norma UNE. Al tratar el suelo con cal se reduce la plasticidad, se incrementa la densidad máxima de 1.46 a 1.52 g/cm<sup>3</sup>, y se reduce la humedad óptima de 25.5% a 22.5%, para el suelo natural y con 3% de cal, respectivamente. Así mismo, la expansión del suelo se reduce al aumentar los días de curado, pero este efecto conlleva para el caso de pequeñas adiciones un cierto retardo en

el tiempo, de manera que para el 2% de cal aún se aprecian hinchamientos a 3 días de curado, aunque en magnitud limitada del 0.91%. La resistencia a compresión simple del suelo cal se reduce al aumentar la humedad del suelo varía de 520 KPa a 550 kPa y luego a 500 KPa cuando la humedad inicia con 18%, se incrementa al 25% y luego continua incrementándose hasta 32%, siendo así, concluyó que, el agua coadyuba a que la mezcla aumente su cohesión y resistencia a compresión, pero si esta humedad es mayor a la necesaria solo reduce la resistencia del suelo-cal, así mismo, si el clima es cálido como para tener una humedad baja la resistencia también se ve afectada.

Al-Mukhtar et al. (2010) en su artículo científico “Comportamiento y cambios de mineralogía en suelos expansivos tratados con cal a 20 °C” tuvieron como objetivo analizar los cambios de comportamiento en suelos expansivos tratados con cal a 20 °C. Utilizaron suelo arcillosos de “Société Française des Bentonites et Dérivés”, determinaron que el aumento de la temperatura de curado de 20 °C a 50 °C resultó en una multiplicación de la tasa de reacciones puzolánicas por 6, resultando en una gran ganancia de resistencia no confinada, así mismo, 5% de cal es suficiente para una reacción de intercambio catiónico en el suelo a cortos plazo. Por lo que, concluyeron que elevadas temperaturas de curado aceleran las reacciones puzolánicas que tienen lugar en el suelo con cal.

Nasrizar et al. (2010) en su artículo científico “Papel del contenido de cal en la reacción suelo-cal bajo curado térmico” tuvieron como objetivo analizar el contenido de cal en la reacción suelo-cal curado térmico. El suelo analizado fue algodón negro de Chennai, al cual se le añadió porcentajes de cal de 3%, 5%, 7% y 9% curados a 5°C, 30°C y 50°C durante períodos de curado de 7, 14, 28 y 90 días. Los resultados muestran que el aumento del contenido de cal incrementa la resistencia hasta un cierto contenido de cal y a partir de ahí la resistencia se reduce. El contenido óptimo de cal para aumentar la

resistencia depende de la temperatura de curado. Concluyeron que, la temperatura de curado también influenciaba el contenido de cal requerido para producir la máxima resistencia, a los 7 días.

Rao & Shivananda (2005) en su artículo científico “Papel de la temperatura de curado en el progreso de las reacciones cal-suelo” utilizaron un suelo de algodón negro expansivo para evaluar si la temperatura ambiente influye en el progreso de las reacciones cal-suelo. Las mezclas de cal y suelo que contenían adiciones de cal por encima del Óptimo de Modificación de Cal (o valor de Consumo Inicial de Cal) del suelo expansivo de algodón negro se curaron durante períodos que oscilaron entre 1 hora y 400 días a 25°C. La temperatura de curado de 25°C es representativa de las temperaturas medias que se dan en las regiones semiáridas de Karnataka, India. El progreso in situ del tratamiento con cal se monitoreó mediante el uso de mediciones de conductividad eléctrica y pH. La tendencia a la disminución de la conductividad y el pH de las mezclas de cal y suelo 4 y 7 sugirió que la actividad puzolánica comenzó después de 1 día de curado a 25°C. Relativamente, un estudio anterior realizado por otros investigadores había informado que la actividad puzolánica no comienza antes de 7 días de curado a 11,5 °C para adiciones de cal por encima del valor óptimo de modificación de cal de la arcilla hinchable. Combinando los resultados de estudios a 25°C y 11,5°C, parece que temperaturas ambiente más altas aceleran el progreso de las reacciones cal-suelo. Concluyeron que la temperatura ambiente juega un papel vital en el progreso de las reacciones puzolánicas con temperaturas de curado más altas que aceleran el progreso de las reacciones cal-suelo.

## Anexo D. Documentación

### D.1. Certificado de calidad de la cal



Ensayos Físicos, Químicos y de Mecánica de Suelos,  
Concreto y Pavimentos, Análisis Químicos de Minerales y Agua,  
Estudio de: Mecánica de Suelos y Rocas, Concreto y Pavimentos.  
Impacto Ambiental, Construcción de Edificios, Obras de Ingeniería Civil.  
PROYECTOS – ASesoría Y CONSULTORÍA  
RPM: \*656626 CELULAR: 976026956 TELÉFONO: 364793

#### **CERTIFICADO DE CALIDAD**

Nombre del Material : CAL HIDRATADA  
Solicita : Inversiones 3MB srl.  
RUC : 20495700071  
Dirección : Car. Bambamarca Chota Km 04 Bambamarca Hualgayoc  
Cajamarca  
Lote : 020523  
Fecha de Emisión : 08/05/23

#### **1- ESPECIFICACIONES:**

##### **ANÁLISIS QUÍMICO**

DETERMINACION	RESULTADO
Cal activa Ca (OH) <sub>2</sub> + CaO %	92.80
CaO Disponible %	66.40
Agua Libre(H <sub>2</sub> O) %	3.70
Gravedad especifica %	2.34

##### **ANÁLISIS FÍSICO**

Granulometria		Resultados
Retenido Malla 30	%	0.02
Retenido Malla 200	%	0.93
Pasa Malla 200	%	99.05
Color		Blanco Humo Blanco Gris

#### **2- OBSERVACIONES:**

MÉTODO AASTHO 216 (ASTM C 91)  
GRANULOMETRÍA AASTHO 216 (ASTM C 977)

Precauciones de Manipuleo: Al manipular usar equipo de protección personal  
(guantes, anteojos, respirador)  
Precauciones de Almacenaje: Almacenar en lugares secos y techados.

  
Ing. Hugo Moquecho Estrella  
JEFE DE LABORATORIO  
CIP. 27664

## D.1. Ficha técnica de la cal



### FICHA TÉCNICA GENERAL SUPER CAL VIVA FINA

**Código:** CALMOSA-DCC-0025  
**Actualización:** 03/05/2019  
**Revisión:** 01  
**Versión:** 3.0  
**PRODUCTO:** PTHIDSCVIVA-25KG

#### DATOS GENERALES DEL PRODUCTO

- I. **Nombre del Producto:**  
Cal Viva Fina / Óxido de Calcio
- II. **Nombre Comercial:**  
Super Cal Viva Fina
- III. **Descripción General del producto:**  
SÚPER CAL VIVA 200 FINA, es un polvo muy fino, que se obtiene como resultado de la captación de las finas que se generan en el proceso de trituración de la Cal Viva Granulada que sale del horno, luego de la calcinación a 900- 1200 °C, en horno vertical, del carbonato de calcio natural (caliza), debidamente procesada y seleccionada.
- IV. **Materia Prima:**  
Piedra Caliza (Mineral Natural)
- V. **Origen de la Materia Prima:**  
Cordillera de Chongón y Colonche (Provincia del Guayas)  
Riqueza Garantizada: 90% - 95%
- VI. **Usos**  
En la industria azucarera en el proceso de limpieza del jugo de caña  
Proceso de potabilización de agua / Encalado y desinfección de piscinas camaroneras. / Tratamiento de pozos sépticos y alcantarillas. / Curtiembre de pieles. / Elaboración de jabones. Conjuntamente con carbonato de calcio fino, en la neutralización de suelos agrícolas ácidos (como regulador y estabilizador de PH del suelo agrícola) / Como desinfectante en las explotaciones avícolas, porcinas, cuniculas y otros (abonos orgánicos), en la minería.
- VII. **Presentación**  
Sacos laminados de polipropileno 25 Kg.

#### ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

- VIII. **Formula Química:**  $\text{CO}_3\text{Ca}$
- IX. **Composición:** Carbonato de Calcio
- X. **Características Físico-Químicas del producto**

PARÁMETROS	CONTROL
CaO Total	61.8 % min.
CaO Aprovechable	59.0 % min.
Ca (OH) <sub>2</sub>	81.5 % min.

PARÁMETROS DE GRANULOMETRIA	
# de Malla	Retenido
100	5.0% máx.
200	10.5% máx.
325	14.0 % máx.

<b>Humedad</b>	0.2 % máx.
----------------	------------

[www.calmosacorp.com](http://www.calmosacorp.com)

MÁS INFORMACIÓN: 0994111482

D.3. Documentos que acreditan la realización de ensayos físico mecánicos del suelo en laboratorio externo



## UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA

Ley de Creación N° 29531

LICENCIADA CON RESOLUCIÓN DE CONSEJO DIRECTIVO N° 160-2018-SUNEDU/CD  
COORDINACIÓN DE LA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA

"Año del bicentenario, de la consolidación de nuestra independencia, y de la  
conmemoración de las heroicas batallas de Junín y Ayacucho"



Chota, 20 de setiembre del 2024

### CARTA N°074- 2024-UNACH-CFCI-ENCHV

Jovenes:

Ever Ivan Sánchez Vásquez y José Ronaldo Estela Tan.  
tesistas

**ASUNTO** : Autorización concedida.

**Referencia** : FUT N°386-2024.

Me dirijo a usted para expresarle mi saludo cordial y manifestarle que cuenta con mi autorización para llevar a cabo sus ensayos de mecánica de suelos en el laboratorio CIEXLIAN S.R.L, ubicado en Psje. Cruz Ramirez N° 155- ciudad de Chota, quedando bajo su responsabilidad presentar los documentos que expresan los resultados encontrados, en papel membretado con el logo de la empresa, debidamente firmados por el responsable técnico del laboratorio y visado por el dueño y/o representante legal de la empresa.

Sin otro particular, expreso las muestras de mi especial consideración y estima personal


Atentamente,

DR.ING. ELMER NATIVIDAD CHÁVEZ VÁSQUEZ  
COORDINADOR DE LA FCI  
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE CHOTA

#### D.4. Certificados de INDECOPI e INACAL del laboratorio CIEXLIAN

**CERTIFICADOS DE INDECOPI Y CALIBRACIÓN DE EQUIPOS**

**CIEXLIAN**  
*Construyendo sueños*

  
CIEXLIAN Y LABORATORIO  
CIEXLIAN  
Ing. Hermes Rojas Tiravanti  
REG. CIP. 348840



PERÚ

Presidencia  
del Consejo de Ministros

INDECOPI



Firmado digitalmente por:  
CHUEZ SALAZAR Sergio Jean Piere FAU  
20133940533 herd  
Fecha: 30/05/2023 12:36:45-0500

# Registro de la Propiedad Industrial

Dirección de Signos Distintivos

## CERTIFICADO N° 00147604

La Dirección de Signos Distintivos del Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual – INDECOPI, certifica que por mandato de la Resolución N° 012890-2023/DSD - INDECOPI de fecha 26 de mayo de 2023, ha quedado inscrito en el Registro de Marcas de Servicio, el siguiente signo:

Signo : La denominación CIEXLIAN CONSTRUYENDO SUEÑOS y logotipo (se reivindica colores), conforme al modelo

Clase : 42 de la clasificación Internacional.

Solicitud : 0000770-2023

Titular : CIEXLIAN S.R.L.

País : Perú

Vigencia : 26 de mayo de 2033

Distingue : Servicios científicos y tecnológicos, así como servicios de investigación y diseño en estos ámbitos; servicios de análisis e investigación industriales; diseño y desarrollo de equipos informáticos y de software

CIEXLIAN Y LABORATORIO  
Ing. Hermés Rojas Tiravanani  
REG. CIP. 348840



Pág. 1 de 1

Esta es una copia auténtica imprimible de un documento electrónico archivado por Indecopi, aplicando lo dispuesto por el Art. 25 de D.S. 070-2013-PCM y la Tercera Disposición Complementaria Final del D.S. 026-2016-PCM. Su autenticidad e integridad pueden ser contrastadas a través de la siguiente dirección web.

<https://enlinea.indecopi.gob.pe/verificador>

Id Documento: qjgww2y00y



**Fecha de emisión** 2024/08/10  
**Solicitante** CIEXLIAN S.R.L.  
**Dirección** JR. SAN MARTIN NRO. 860 CENTRO CHOTA  
CAJAMARCA - CHOTA - CHOTA -  
CAJAMARCA , Chota , Chota  
**Instrumento de medición** COPA CASAGRANDE  
**Identificación** NO INDICA  
**Marca** ARSOU  
**Modelo** CSA902  
**Serie** 900269  
**Mecanismo** MANUAL  
**Ranurador** BRONCE  
**Procedencia** PERÚ  
**Ubicación** Laboratorio de suelos  
**Lugar de calibración** Instalaciones del cliente  
**Fecha de calibración** 2024/08/10

**Método/Procedimiento de calibración**

La calibración se efectuó por comparación directa tomando como referencia el procedimiento PC-012 Sta. Ed. , "Procedimiento de Calibración de Pie de Rey", del Instituto Nacional de la Calidad - INACAL y la Norma del MTC 110.

Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a patrones nacionales o internacionales, que realizan las unidades de medida de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI)

Los resultados son válidos en el momento de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento recalibrar sus instrumentos a intervalos regulares, los cuales deben ser establecidos sobre la base de las características propias del instrumento, sus condiciones de uso, el mantenimiento realizado y conservación del instrumento de medición o de acuerdo a reglamentaciones vigentes.

ARSOU GROUP S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento después de su calibración, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración declarados en este documento.

Este certificado no podrá ser reproducido o difundido parcialmente, excepto con autorización previa por escrito de ARSOU GROUP S.A.C.



CIEXLIAN Y LABORATORIO  
CIEXLIAN  
Ing. Hermes Rojas Tiravanti  
REG. CIP. 348840

ARSOU GROUP S.A.C.  
  
Josep Andres Arevalo Flores  
METROLOGIA

**ARSOU GROUP S.A.C.**

Asoc. Viv. Las Flores de San Diego Mz C Lote 01, San Martín de Porres, Lima, Perú  
Telf: +51 301-1680 / Cel: +51 928 196 793 / Cel: +51 925 151 437  
ventas@arsougroup.com  
www.arsougroup.com



Patrones e Instrumentos auxiliares

Trazabilidad	Patrón Utilizado	Certificado de Calibración
DSI PERU AUTOMATION EIRL	Pie de Rey digital	L-0063-2023

Condiciones ambientales durante la calibración

Temperatura Ambiental	Inicial: 22 °C	Final: 22 °C
Humedad Relativa	Inicial: 41 %hr	Final: 41 %hr

Resultados

IMAGEN N° 01

Dimensiones	Aparato de Limite Liquido							Ranurador		
	Conjunto de la Cazuela			N	Base			Extremo Curvado		
	A	B	C		K	L	M	a	b	c
Descripción	Radio de la Copa	Espesor de la Copa	Profundidad de la Copa	Copa desde la guía del elevador hasta la base	Espesor	Largo	Ancho	Espesor	Borde Cortante	Ancho
Métrico, mm	54	2.0	27	47	50	150	125	10.0	2.0	13.5
Tolerancia, mm	2	0.1	1	1.5	5	5	5	0.1	0.1	0.1
Inglés, pulg.	2.13	0.079	1.063	1.850	2	5.90	4.92	0.39	0.08	0.53
Tolerancia, pulg.	0.08	0.004	0.4	0.6	0.2	0.2	0.2	0.004	0.004	0.004

TABLA N° 01

CAZUELA

DESCRIPCIÓN	DATO PROMEDIO (mm)	TOLERANCIA (mm)	RESULTADO
ESPEJOR	2.03	+/- 0.1	OK
PROFUNDIDAD	27.15	+/- 1	OK



CIEXLIAN Y LABORATORIO  
CIEXLIAN  
Ing. Hermes Rojas Tiravanti  
REG. CIP 348840

ARSOU GROUP S.A.C.  
  
Joshep Andres Arevalo Flores  
METROLOGÍA

ARSOU GROUP S.A.C.

Asoc. Viv. Las Flores de San Diego Mz C Lote 01, San Martín de Porres, Lima, Perú  
Telf: +51 301-1680 / Cel: +51 928 196 793 / Cel: +51 925 151 437  
ventas@arsougroup.com  
www.arsougroup.com



TABLA N° 02

BASE

DESCRIPCIÓN	DATO PROMEDIO (mm)	TOLERANCIA (mm)	RESULTADO
GUÍA DEL ELEVADOR	47.36	+/- 1.5	OK
ESPESOR	50.62	+/- 5	OK
LARGO	151.03	+/- 5	OK
ANCHO	126.11	+/- 5	OK
HUELLA	6.12	+/- 13	OK

TABLA N° 03

RANURADOR

DESCRIPCIÓN	DATO PROMEDIO (mm)	TOLERANCIA (mm)	RESULTADO
CALIBRADOR CUADRADO	10.05	+/- 0.2	OK
ESPESOR	10.02	+/- 0.1	OK
BORDE CORTANTE	2.06	+/- 0.1	OK
ANCHO	13.51	+/- 0.1	OK

**Observaciones**

1. Antes de la calibración no se realizó ningún tipo de ajuste.
2. (\*) Código indicado en una etiqueta adherida al instrumento.
3. Con fines de identificación se colocó una etiqueta autoadhesiva con la indicación "CALIBRADO"



Fin de documento

CREXIAN Y LABORATORIO  
Ing. Hermes Rojas Tiravanti  
REG. CIP. 348840

ARSOU GROUP S.A.C.  
Josép Andres Arevalo Flores  
METROLOGÍA

**ARSOU GROUP S.A.C.**

Asoc. Viv. Las Flores de San Diego Mz C Lote 01, San Martín de Porres, Lima, Perú  
Telf: +51 301-1680 / Cel: +51 928 196 793 / Cel: +51 925 151 437  
ventas@arsougroup.com  
www.arsougroup.com



**Arsou Group**  
Laboratorio de Metrología

**Fecha de emisión** 2024/09/27

**Solicitante** CIEXLIAN S.R.L.

**Dirección** JR. SAN MARTIN NRO. 860 CENTRO CHOTA  
CAJAMARCA - CHOTA - CHOTA -  
CAJAMARCA , Chota , Chota

**Instrumento de medición** **PRENSA CBR CON CELDA DE CARGA**

Identificación NO INDICA

Marca Prensa ARSOU

Modelo NO INDICA

Serie 500040

Celda de Carga TIPO S

Modelo NO INDICA

Indicador DIGITAL

Modelo NO INDICA

Procedencia PERÚ

**Ubicación** Laboratorio de suelos  
**Lugar de calibración** Instalaciones del cliente

**Fecha de calibración** 2024/09/27

**Método/Procedimiento de calibración**

El procedimiento toma como referencia a la norma ISO 7500-1 "Metallic materials - Verification of static uniaxial testing machines", Se aplicaron dos series de carga al Sistema Digital mediante la misma prensa. En cada serie se registraron las lecturas de las cargas.


Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a patrones nacionales o internacionales, que realizan las unidades de medida de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI)

Los resultados son válidos en el momento de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento recalibrar sus instrumentos a intervalos regulares, los cuales deben ser establecidos sobre la base de las características propias del instrumento, sus condiciones de uso, el mantenimiento realizado y conservación del instrumento de medición o de acuerdo a reglamentaciones vigentes.

ARSOU GROUP S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento después de su calibración, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración declarados en este documento.

Este certificado no podrá ser reproducido o difundido parcialmente, excepto con autorización previa por escrito de ARSOU GROUP S.A.C.



  
CIEXLIAN Y LABORATORIO  
CIEXLIAN  
Ing. Hermes Rojas Tiravanti  
REG. CIP. 348840

ARSOU GROUP S.A.C.  
  
Josep Andres Arevalo Flores  
METROLOGIA

**ARSOU GROUP S.A.C.**

Asoc. de viv. Las Flores de San Diego Mz C Lote 01, San Martin de Porres, Lima, Perú  
Telf: +51 301-1680 / Cel: +51 928 196 793 / Cel: +51 925 151 437  
ventas@arsougroup.com  
www.arsougroup.com



Patrones e Instrumentos auxiliares

Trazabilidad	Patrón Utilizado	Certificado de Calibración
Patrones de referencia de PUCP	FORCE TRANSDUCER	INF-LE N° 039-23

Condiciones ambientales durante la calibración

Temperatura Ambiental	Inicial: 21 °C	Final: 21 °C
Humedad Relativa	Inicial: 57 %hr	Final: 57 %hr

Resultados

**TABLA N° 01**  
**CALIBRACION DE CELDA DE CARGA**

SISTEMA DIGITAL "A" Kg	SERIES DE VERIFICACIÓN PATRON ( Kg)				PROMEDIO "B" Kg	ERROR Ep %	RPTBLD Rp %
	SERIE (1) Kg	SERIE (2) Kg	ERROR %	ERROR (2) %			
500	503	502	0.60	0.4	502.5	0.5	0.14
1000	1006	1003	0.60	0.3	1004.5	0.45	0.21
1500	1506	1501	0.4	0.07	1503.5	0.23	0.24
2000	2001	2003	0.05	0.15	2002.0	0.10	0.07
2500	2503	2502	0.12	0.08	2502.5	0.10	0.03
3000	3005	3002	0.17	0.07	3003.5	0.12	0.07
3500	3506	3507	0.17	0.2	3506.5	0.19	0.02
4000	4004	4002	0.1	0.05	4003.0	0.08	0.04

NOTAS SOBRE CALIBRACION

1. - La Calibración se hizo según el Método C de la norma ISO 7500-1
- 2.- Ep y Rp son el Error Porcentual y la Repetibilidad definidos en la citada Norma:  

$$Ep = ((A-B) / B) * 100$$

$$Rp = Error( 2) - Error(1)$$
3. - La norma exige que Ep y Rp no excedan el +/- 1.0 %



**CEXILIAN Y LABORATORIO**  
**CEXILIAN**  
 Ing. Hermés Rojas Tiravanti  
 REG. CIP. 348840

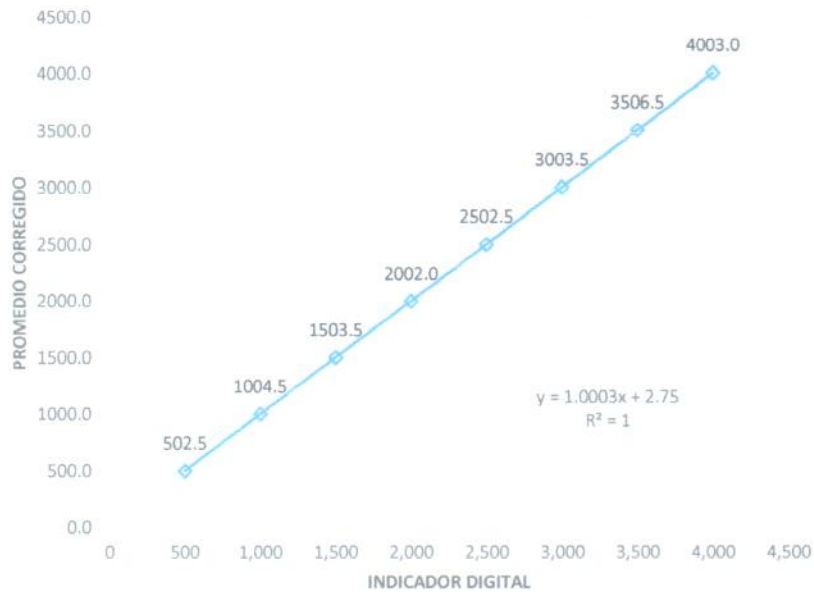
**ARSOU GROUP S.A.C.**  
  
 Joseph Andres Arevalo Flores  
 METROLOGÍA

**ARSOU GROUP S.A.C.**

Asoc. de viv. Las Flores de San Diego Mz C Lote 01, San Martín de Porres, Lima, Perú  
 Telf: +51 301-1680 / Cel: +51 928 196 793 / Cel: +51 925 151 437  
 ventas@arsougroup.com  
 www.arsougroup.com

Gráfica (Coeficiente de correlación y Ecuación de Ajuste)

GRAFICO N° 01



Ecuación de ajuste:

Donde:  $y = 1,0003x + 2,75$

Coeficiente Correlación  $R^2 = 1$

X : Lectura de la pantalla (kg)

Y : fuerza promedio (kg)



**Observaciones**

1. Antes de la calibración no se realizó ningún tipo de ajuste.
2. La incertidumbre de la medición ha sido calculada para un nivel de confianza de aproximadamente del 95 % con un factor de cobertura  $k=2$ .
3. (\*) Código indicado en una etiqueta adherida al instrumento.
4. Con fines de identificación se colocó una etiqueta autoadhesiva con la indicación "CALIBRADO"

Fin de documento

CIEPLAN Y LABORATORIO  
 Ing. Hermes Rojas Tiravanti  
 REG. CIP. 348840

ARSOU GROUP S.A.C.  
  
 José Andrés Arevalo Flores  
 METROLOGÍA

**ARSOU GROUP S.A.C.**

Asoc. de viv. Las Flores de San Diego Mz C Lote 01, San Martín de Porres, Lima, Perú

Tel: +51 301-1680 / Cel: +51 928 196 793 / Cel: +51 925 151 437

ventas@arsougroup.com

www.arsougroup.com



# Arsou Group

Laboratorio de Metrología

Fecha de emisión	2024/09/23
Solicitante	CIEXLIAN S.R.L.
Dirección	JR. SAN MARTIN NRO. 860 CENTRO CHOTA CAJAMARCA - CHOTA - CHOTA - CAJAMARCA , Chota , Chota
Instrumento de medición	<b>TERMÓMETRO AMBIENTAL</b>
Identificación	NO INDICA
Marca	NO INDICA
Modelo	HTC-1
Serie	105124
Indicador	DIGITAL
Alcance	-10 °C a 50°C
Resolución	0.1 °C
Sensor	SONDA
Procedencia	CHINA
Ubicación	Laboratorio de suelos
Lugar de calibración	Laboratorio de ARSOU GROUP S.A.C.
Fecha de calibración	2024/09/23

#### Método/Procedimiento de calibración

Calibración efectuada según procedimiento PC-017 2da. Ed. 2012 ,  
"Procedimiento para la Calibración de Termómetros Digitales", del Instituto  
Nacional de la Calidad - INACAL.

Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a patrones nacionales o internacionales, que realizan las unidades de medida de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI)

Los resultados son válidos en el momento de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento recalibrar sus instrumentos a intervalos regulares, los cuales deben ser establecidos sobre la base de las características propias del instrumento, sus condiciones de uso, el mantenimiento realizado y conservación del instrumento de medición o de acuerdo a reglamentaciones vigentes.

ARSOU GROUP S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento después de su calibración, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración declarados en este documento.

Este certificado no podrá ser reproducido o difundido parcialmente, excepto con autorización previa por escrito de ARSOU GROUP S.A.C.



CIEXLIAN LABORATORIO  
Ing. Hermes Rojas Tiravanti  
REG. CIP. 348840

ARSOU GROUP S.A.C.  
  
Joseph Andres Arevalo Flores  
METROLOGÍA

#### ARSOU GROUP S.A.C.

Asoc. Viv. Las Flores de San Diego Mz C Lote 01, San Martin de Porres, Lima, Perú  
Telf: +51 301-1680 / Cel: +51 928 196 793 / Cel: +51 925 151 437  
ventas@arsougroup.com  
www.arsougroup.com



Patrones e Instrumentos auxiliares

Trazabilidad	Patrón Utilizado	Certificado de Calibración
CADENT S.A.C.	Termómetro con 12 sondas TIPO K	0610-LT-2024

Condiciones ambientales durante la calibración

Temperatura Ambiental	Inicial: 19 °C	Final: 19 °C
Humedad Relativa	Inicial: 74 %hr	Final: 74 %hr

Resultados

TEMPERATURA

	Indicación del Termómetro °C	Temperatura Convencionalmente Patrón	Corrección °C
N° 01	19.8	19.8	0
N° 02	20.1	20.2	0.1
N° 03	19.8	19.8	0

G

Corrección en la Lectura (°C)  $\pm 0.1$

La temperatura convencionalmente verdadera (TCV) resulta de la relación:  
TCV = Indicación del termómetro + corrección

Observaciones

1. Antes de la calibración no se realizó ningún tipo de ajuste.
2. La incertidumbre de la medición ha sido calculada para un nivel de confianza de aproximadamente del 95 % con un factor de cobertura  $k=2$ .
3. (\*) Código indicado en una etiqueta adherida al instrumento.
4. Con fines de identificación se colocó una etiqueta autoadhesiva con la indicación "CALIBRADO"



Fin de documento

CIEXLIAN Y LABORATORIO  
CIEXLIAN  
Ing. Hermán Rojas Tiravanti  
REG. CIP. 348840

ARSOU GROUP S.A.C.  
  
Joseph Andres Arevalo Flores  
METROLOGÍA

ARSOU GROUP S.A.C.

Asoc. Viv. Las Flores de San Diego Mz C Lote 01, San Martín de Porres, Lima, Perú  
Telf: +51 301-1680 / Cel: +51 928 196 793 / Cel: +51 925 151 437  
ventas@arsougroup.com  
www.arsougroup.com



**Arsou Group**  
Laboratorio de Metrología

**Fecha de emisión** 2024/09/05

**Solicitante** CIEXLIAN S.R.L.

**Dirección** JR. SAN MARTIN NRO. 860 CENTRO CHOTA  
CAJAMARCA - CHOTA - CHOTA -  
CAJAMARCA , Chota , Chota

**Instrumento de medición** **BALANZA**

Identificación NO INDICA

Intervalo de indicación 30000 g

División de escala 1 g  
Resolución

División de verificación 1 g  
(e)

Tipo de indicación Digital

Marca / Fabricante PATRICKS

Modelo NO INDICA

N° de serie 70047

Procedencia CHINA

**Ubicación** Laboratorio de suelos

**Lugar de calibración** Laboratorio de ARSOU GROUP S.A.C.

**Fecha de calibración** 2024/09/05

**Método/Procedimiento de calibración**

"Procedimiento para la Calibración de Balanzas de Funcionamiento no Automático Clase III y IIII" (PC-001) del SNM-INDECOPI, 3era edición Enero 2009 y la Norma Metrológica Peruana "Instrumentos de Pesaje de Funcionamiento No Automático (NMP 003:2009)

Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a patrones nacionales o internacionales, que realizan las unidades de medida de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI)

Los resultados son válidos en el momento de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento recalibrar sus instrumentos a intervalos regulares, los cuales deben ser establecidos sobre la base de las características propias del instrumento, sus condiciones de uso, el mantenimiento realizado y conservación del instrumento de medición o de acuerdo a reglamentaciones vigentes.

ARSOU GROUP S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento después de su calibración, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración declarados en este documento.

Este certificado no podrá ser reproducido o difundido parcialmente, excepto con autorización previa por escrito de ARSOU GROUP S.A.C.



CIEXLIAN Y LABORATORIO  
CIEXLIAN  
Ing. Hermán Rojas Tiravanti  
REG. CIP. 348840

ARSOU GROUP S.A.C.  
Josep Andres Arevalo Flores  
METROLOGÍA

**ARSOU GROUP S.A.C.**

Asoc. Viv. Las Flores de San Diego Mz C Lote 01, San Martín de Porres, Lima, Perú  
Telf: +51 301-1680 / Cel: +51 928 196 793 / Cel: +51 925 151 437  
ventas@arsougroup.com  
www.arsougroup.com



**Patrones e Instrumentos auxiliares**

Trazabilidad	Patrón Utilizado	Certificado de Calibración
PESATEC PERÚ S.A.C.	Juego de Pesas de 1mg a 1kg	1045-MPES-C-2023
PESATEC PERÚ S.A.C.	Juego de Pesas de 1g a 1kg	1044-MPES-C-2023
PESATEC PERÚ S.A.C.	Pesa Patrón de 5kg	1046-MPES-C-2023
PESATEC PERÚ S.A.C.	Pesa Patrón de 10 kg	1047-MPES-C-2023
PESATEC PERÚ S.A.C.	Pesa Patrón de 20kg	1048-MPES-C-2023

**Condiciones ambientales durante la calibración**

Temperatura Ambiental Inicial: 16 °C Final: 16 °C  
Humedad Relativa Inicial: 80 %hr Final: 80 %hr

**Resultados**

**ENSAYO DE REPETIBILIDAD**

Medición N°	Carga L1= 15000 g			Carga L1= 30000 g		
	I (g)	ΔL (g)	E (g)	I (g)	ΔL (g)	E (g)
1	15000	0.005	-0.002	30000	-0.001	0.002
2	15000	0.008	-0.003	30000	-0.003	0.005
3	15000	0.006	-0.003	30000	0.004	0.006
4	15000	0.007	0.009	30000	0.006	0.009
5	15000	0.008	0.006	30000	0.008	-0.002
6	15000	0.005	0.011	30000	0.005	-0.003
7	15000	0.004	0.012	30000	0.002	-0.005
8	15000	0.012	-0.009	30000	0.006	0.006
9	15000	0.009	-0.007	30000	-0.004	0.007
10	15000	0.008	0.004	30000	-0.002	0.007

Carga (g)	Diferencia Máxima Encontrada (g)	Error Máximo Permitido (g)
15000	0	1
30000	0	5



CHELLAN LABORATORIO  
Ing. Hermes Rojas Tiravanhi  
REG. CIP. 348840

ARSOU GROUP S.A.C.  
  
Josep Andrés Arevalo Flores  
METROLOGÍA



**ENSAYO DE EXCENTRICIDAD**

Posición de la Carga	Determinación de E <sub>0</sub>				Determinación de E <sub>0</sub>				
	Carga Mín <sup>(1)</sup> (g)	I (g)	ΔL (g)	E <sub>0</sub> (g)	Carga L (g)	I (kg)	ΔL (g)	E (g)	E <sub>c</sub> (g)
1	500	500	0.002	0.003	10000	10001	0.004	0.001	-0.002
2		500	0.006	0.002		10000	0.002	0.005	-0.003
3		500	0.004	-0.002		10000	0.006	0.003	0.004
4		500	0.005	-0.003		10001	0.005	0.004	-0.001
5		500	0.003	0.007		10000	0.003	0.002	-0.001

**ENSAYO DE PESAJE**

Carga L (g)	Crecientes				Decrecientes				EMP <sup>(2)</sup> (±g)
	I (g)	ΔL (g)	E (g)	E <sub>c</sub> (g)	I (g)	ΔL (g)	E (g)	E <sub>c</sub> (g)	
1	1	0.004	0.001	0.002					
5	5	0.006	0.001	0.003	5	0.006	-0.002	0.004	0.1
10	10	0.008	-0.002	0.008	10	0.004	0.003	0.009	0.1
50	50	0.011	0.002	-0.005	50	0.002	0.004	0.006	0.1
100	100	0.009	0.004	-0.002	100	0.007	0.005	-0.001	0.1
500	500	0.005	0.006	0.007	500	0.006	-0.003	0.007	0.2
1000	1000	0.002	-0.005	0.006	1000	0.009	0.004	-0.002	0.2
5000	5000	0.003	0.008	0.005	5000	0.004	0.006	0.006	0.5
10000	10000	0.004	0.003	0.003	10000	0.003	0.005	0.008	0.5
20000	20001	0.009	0.002	0.008	20001	0.006	0.004	0.014	0.5
30000	30000	0.013	0.006	0.011	30000	0.008	0.002	0.018	0.5

**Leyenda**

I: Indicación de la balanza

ΔL: Carga Incrementada

E: Error encontrado

E<sub>0</sub>: Error en cero

E<sub>c</sub>: Error corregido

EMP: Error máximo permitido

**INCERTIDUMBRE EXPANDIDA Y LECTURA CORREGIDA**

Incertidumbre expandida de medición  $U_R = 2^* \sqrt{0.40167 \text{ g}^2 + 0.000000003543 \text{ R}^2}$

Lectura Corregida  $R_{\text{corregida}} = R + 0.000060109 \text{ R}$

R: Indicación de lectura de balanza : ( g )



**Observaciones**

1. Antes de la calibración no se realizó ningún tipo de ajuste.
2. Los EMP para esta balanza, corresponden para balanzas en uso de funcionamiento no automático de clase de exactitud II según la Norma Metrología Peruana NMP 003:2009
3. La incertidumbre de la medición ha sido calculada para un nivel de confianza de aproximadamente del 95 % con un factor de cobertura k=2 .
4. (\*) Código indicado en una etiqueta adherida al instrumento.
5. Con fines de identificación se colocó una etiqueta autoadhesiva con la indicación "CALIBRADO"

Fin de documento

**ARSOU GROUP S.A.C.**

*P. Arevalo*  
Joseph Andrés Arevalo Flores  
METROLOGÍA

ARSOU GROUP S.A.C.

Asoc. Viv. Las Flores de San Diego Mz C Lote 01, San Martín de Porres, Lima, Perú

Tel: +51 301-1680 / Cel: +51 928 196 793 / Cel: +51 925 151 437

ventas@arsougroup.com

www.arsougroup.com

*Hermes Rojas Tiravanti*  
CEXILAN Y LABORATORIO  
CEXILAN  
Ing. Hermes Rojas Tiravanti  
REG. CP. 348840



## LABORATORIO DE MASA LM-2227-2024

**Solicitante** CIEXLIAN S.R.L.

**Dirección** JR. SAN MARTIN NRO. 860 CENTRO CHOTA  
CAJAMARCA - CHOTA - CHOTA

**Equipo** BALANZA PORTÁTIL DE 600GR X 0.01GR  
**Marca** PYS EQUIPOS  
**Modelo** DJ602C  
**Serie** N/I  
**Procedencia** China

**Capacidad Máxima** 620 g g  
**División De Escala** 0.01 g g  
**Divis.De Verificación** 0.01 g g  
**Clase** II  
**Tipo** Electrónico  
**Capacidad Mínima** 0.2 g  
**Variación de  $\Delta T$  Local** 1 °C

Los resultados del certificado son válidos sólo para el objeto calibrado y se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones y no deben utilizarse como certificado de conformidad con normas de producto.

Se recomienda al usuario recalibrar el instrumento a intervalos adecuados, los cuales deben ser elegidos con base en las características del trabajo realizado, el mantenimiento, conservación y el tiempo de uso del instrumento.

**Identificación** No indica  
**Fecha de calibración** 2024-06-19  
**Lugar** LABORATORIO DE MASA DE PYS  
EQUIPOS E.I.R.L.  
Calle 8, Mz. D1 Lt. 24 Urb. Virgen Del Rosario -  
San Martín de Porres - Lima

P Y S EQUIPOS E.I.R.L. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento o equipo después de su calibración, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.

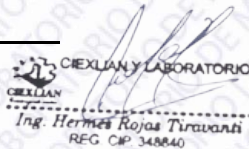
**Método utilizado** Método de comparación según el PC-018 2da edición, junio 2009:  
"Procedimiento para la calibración o caracterización de medios isotermicos con aire como medio termóstatico" publicada por el snm/INDECOPI.

Este certificado de calibración es trazable a patrones nacionales o internacionales, los cuales realizan las unidades de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

El certificado de calibración sin firma y sello carece de validez.



Revisado y firmado digitalmente por:  
Eler Pozo S.  
Dpto. Metrología



Calibrado y firmado digitalmente por:  
Javier Negron C.  
Dpto. Metrología



## Trazabilidad

Trazabilidad	Patrón utilizado	Cert. De Calibración
Patrones de referencia corporación 2m & n	Pesa 1gr - 2kg M2	336-CM-M-2022
Patrones de referencia METROIL	Termohigrómetro digital con incertidumbres 0.3°C / 2.8%	1AT-080-2022

## Resultados de medición


### Inspección visual

<b>Ajuste de cero</b>	Tiene	<b>Escala</b>	No tiene
<b>Oscilación libre</b>	Tiene	<b>Cursor</b>	No tiene
<b>Plataforma</b>	Tiene	<b>Nivelación</b>	Tiene
<b>Sistema de traba</b>	No Tiene		

### Ensayo de repetibilidad

	Inicial	Final
Temperatura (°C)	24.4	24.4
Humedad Relativa (%)	65	65

Medición Nº	300 g			Medición Nº	600 g		
	Carga L1 I (g)	$\Delta L$ (g)	E (g)		Carga L2 I (g)	$\Delta L$ (g)	E (g)
1	300.00	0.007	-0.0020	1	600.00	0.007	-0.002
2	300.00	0.007	-0.0020	2	600.01	0.009	0.006
3	300.00	0.007	-0.0020	3	600.01	0.008	0.007
4	300.00	0.007	-0.0020	4	600.01	0.008	0.007
5	300.00	0.007	-0.0020	5	600.01	0.008	0.007
6	300.00	0.007	-0.0020	6	600.01	0.009	0.006
7	300.00	0.007	-0.0020	7	600.01	0.008	0.007
8	300.00	0.007	-0.0020	8	600.01	0.008	0.007
9	300.00	0.007	-0.0020	9	600.01	0.008	0.007
10	300.00	0.007	-0.0020	10	600.01	0.008	0.007
<b>Diferencia Máxima</b>		0.00		<b>Diferencia Máxima</b>		0.0	
<b>E.M.P.</b>		0.03		<b>E.M.P.</b>		0.03	

  
 CIELLAN y LABORATORIO  
 Ing. Hermés Rojas Tiravanani  
 REG. CIP. 348840



**Ensayo De Excentricidad**

2	5
3	4
1	

	Inicial	Final
Temperatura (°C)	24.4	24.5
Humedad Relativa (%)	65	65

N°	Determinación del Error en Cero Eo				Determinación del Error Corregido Ec					E. M. P. ± (g)
	Carga Mínima*	l (g)	ΔL (g)	Eo (g)	Carga L (g)	l (g)	ΔL (g)	E (g)	Ec (g)	
1	(g)	0.10	0.007	-0.002	200	200.00	0.008	-0.003	-0.001	0.02
2	0.10	0.10	0.008	-0.003		200.01	0.009	0.006	0.009	0.02
3		0.10	0.007	-0.002		200.00	0.007	-0.002	0.000	0.02
4		0.10	0.007	-0.002		199.99	0.005	-0.010	-0.008	0.02
5		0.10	0.007	-0.002		200.00	0.007	-0.002	0.000	0.02

**Ensayo De Pesaje**

	Inicial	Final
Temperatura (°C)	24.5	24.5
Humedad Relativa (%)	65	65

N°	Carga L (g)	Crecientes				Decreciente				E. M. P. ± (g)
		l (g)	ΔL (g)	E (g)	Ec (g)	l (g)	ΔL (g)	E (g)	Ec (g)	
1	0.10	0.10	0.008	-0.003						0.010
2	0.20	0.20	0.007	-0.002	0.00	0.20	0.008	-0.003	0.000	0.010
3	1.00	1.00	0.008	-0.003	0.00	1.00	0.007	-0.002	0.001	0.010
4	10.00	10.00	0.007	-0.002	0.00	10.00	0.007	-0.002	0.001	0.010
5	20.00	20.00	0.007	-0.002	0.00	20.00	0.007	-0.002	0.001	0.010
6	50.00	50.01	0.009	0.006	0.01	50.01	0.007	0.008	0.011	0.010
7	100.00	100.01	0.008	0.007	0.01	100.00	0.007	-0.002	0.001	0.020
8	150.00	150.00	0.007	-0.002	0.00	150.00	0.007	-0.002	0.001	0.020
9	200.00	200.00	0.007	-0.002	0.00	200.00	0.007	-0.002	0.001	0.020
10	400.00	400.01	0.008	0.007	0.01	400.01	0.008	0.007	0.010	0.030
11	600.00	600.01	0.008	0.007	0.01	600.01	0.008	0.007	0.010	0.030

Donde:

- l : Indicación de la balanza
- ΔL : Carga adicional
- Eo : Error en cero
- R : Lectura de la balanza posterior a la calibración (g)
- E : Error del instrumento
- Ec : Error corregido

**LECTURA CORREGIDA E INCERTIDUMBRE DE LA BALANZA**

$$\begin{aligned} \text{Lectura corregida} &= R + 0.00003103 \times R \\ \text{Incertidumbre expandida} &= 2 \times \sqrt{0.000026 \text{ g}^2 + 0.00000000067 \times R^2} \end{aligned}$$

**Incertidumbre**

La incertidumbre expandida que resulta de multiplicar la incertidumbre típica combinada por el factor de cobertura k=2 que, para una distribución normal, corresponde a una probabilidad de cobertura de

**FIN DEL DOCUMENTO**

*Anexo E. Estudio de tráfico*









ESTUDIO DE TRÁFICO CARRETERA CAMPAMENTO TUNEL CONCHANO - SIVINGAN BAJO

RESPONSABLE: JOSÉ RONALDO ESTELA TAN      ESTACIÓN 02: Campamento Túnel Conchano      COORDENADAS UTM      SENTIDO: S →  
 EVER IVAN SÁNCHEZ VÁZQUEZ      CÓDIGO DE ESTACIÓN: E01      Este: 759184.33      Norte: 9275764.21 m S      ← E

ESTACIÓN: 01      **MÉRCOLES**      CONTEO Y CLASIFICACIÓN VEHICULAR      FECHA: 18/06/2025

Hora	Sentido	VEHÍCULOS LIGEROS						VEHÍCULOS PESADOS										TOTAL	%					
		Auto	Station Wagon	CAMIONETAS			Micro	BUS		CAMIÓN			SEMI TRAYLER				TRAYLER							
				Pick Up	Panel	Rural Combi		2 E	>=3 E	2 E	3 E	4 E	2S1/2S2	2S3	3S1/3S2	>= 3S3	2T2			2T3	3T2	>=3T3		
DIAGRA. VEH.																								
0-1	E																					0	0.0%	
	S																						0	0.0%
1-2	E																						0	0.0%
	S																						0	0.0%
2-3	E																						0	0.0%
	S																						0	0.0%
3-4	E																						0	0.0%
	S																						0	0.0%
4-5	E																						0	0.0%
	S																						0	0.0%
5-6	E																						0	0.0%
	S																						0	0.0%
6-7	E																						4	5.3%
	S	1	1	2		1					1												4	6.0%
7-8	E	1	1	1		1					2												6	7.9%
	S		2	2		3				1													8	11.9%
8-9	E	1	1	1		2																	6	7.9%
	S		3	2		2				1													8	11.9%
9-10	E	1	1	1		2																	6	7.9%
	S		2	2		2																	4	6.0%
10-11	E		1			2				1													5	6.6%
	S	2		2		2				1													8	11.9%
11-12	E	1	1			2																	5	6.6%
	S					3				2													5	7.5%
12-13	E	1	2			1				1													6	7.9%
	S			2						1													3	4.5%
13-14	E	2	1	2		1				1													8	10.5%
	S		2	2		2				1													6	9.0%
14-15	E	3	1	2		2				2													10	13.2%
	S		1	1																			3	4.5%
15-16	E			2						1													4	5.3%
	S	2	1	2		1				1													7	10.4%
16-17	E		2	1		2				1													7	9.2%
	S	2	1	1		1				2													7	10.4%
17-18	E			1		2				1													4	5.3%
	S	1	1							1													3	4.5%
18-19	E		1	1		2																	4	5.3%
	S	1																					1	1.5%
19-20	E	1																					1	1.3%
	S																						0	0.0%
20-21	E																						0	0.0%
	S																						0	0.0%
21-22	E																						0	0.0%
	S																						0	0.0%
22-23	E																						0	0.0%
	S																						0	0.0%
23-24	E																						0	0.0%
	S																						0	0.0%
Parcial	E	11	13	13		20				11			8										76	100.0%
	S	9	14	18		12				11			3										67	100.0%
TOTAL AMBOS SENT.		20	27	31		32				22			11										143	100.0%
		0.13986	0.1888112	0.2167832		0.223776				0.153846			0.076923										0	100.0%









ESTUDIO DE TRÁFICO CARRETERA CAMPAMENTO TUNEL CONCHANO - SIVINGAN BAJO

RESPONSABLE: JOSÉ RONALDO ESTELA TAN      ESTACIÓN 02: Campamento Túnel Conchano      COORDENADAS UTM      SENTIDO: S →  
 EVER IVAN SÁNCHEZ VÁZQUEZ      CÓDIGO DE ESTACIÓN: E01      Este: 759184.33      Norte: 9275764.21 m S      E ←

RESUMEN DE CONTEO VEHICULAR

ESTACIÓN: 01

UBICACIÓN: Campamento Túnel Conchano

Día	Sentido	VEHÍCULOS LIGEROS							VEHÍCULOS PESADOS												TOTAL	%
		Auto	Station Wagon	CAMIONETAS			Micro	BUS		CAMIÓN			SEMI TRAYLER				TRAYLER					
				Pick Up	Panel	Rural Combi		2 E	>=3 E	2 E	3 E	4 E	2S1/2S2	2S3	3S1/3S2	>= 3S3	2T2	2T3	3T2	>=3T3		
DIAGRA. VEH.																						
D1	E	16	14	18	4	24	-	-	-	6	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	84	8.1%
	S	13	13	20	3	21	-	-	-	1	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	73	7.1%
D2	E	12	16	9	-	18	-	-	-	6	-	5	-	-	-	-	-	-	-	-	66	6.4%
	S	18	13	11	-	19	-	-	-	9	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	74	7.2%
D3	E	18	10	12	-	17	-	-	-	5	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	66	6.4%
	S	16	12	17	-	16	-	-	-	8	-	7	-	-	-	-	-	-	-	-	76	7.4%
D4	E	11	13	13	-	20	-	-	-	11	-	8	-	-	-	-	-	-	-	-	76	7.4%
	S	9	14	18	-	12	-	-	-	11	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	67	6.5%
D5	E	23	14	16	-	17	-	-	-	5	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	79	7.7%
	S	20	13	16	1	13	-	-	-	5	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	72	7.0%
D6	E	17	6	13	-	32	-	-	-	3	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	74	7.2%
	S	18	18	9	-	12	-	-	-	6	-	6	-	-	-	-	-	-	-	-	69	6.7%
D7	E	11	18	17	3	23	-	-	-	7	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	81	7.9%
	S	13	26	12	-	21	-	-	-	2	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	74	7.2%
TOTAL	E	108	91	98	7	151	-	-	-	43	-	28	-	-	-	-	-	-	-	-	526	51.0%
	S	107	109	103	4	114	-	-	-	40	-	28	-	-	-	-	-	-	-	-	505	49.0%

**Factores de corrección de vehículos ligeros por unidad de peaje - Promedio (2010-2016)**

FORMATO Nº 1.1 A

Nº	Peaje	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total
		Ligeros FC	Ligeros FC	Ligeros FC	Ligeros FC	Ligeros FC	Ligeros FC	Ligeros FC	Ligeros FC	Ligeros FC	Ligeros FC	Ligeros FC	Ligeros FC	Ligeros FC
1	AGUAS CALIENTES	0.9394	0.8663	1.1161	1.0973	1.1684	1.1945	0.9458	0.8773	0.9386	1.0294	1.0292	0.9845	1.0000
2	AGUAS CLARAS	1.0204	1.0668	1.1013	1.0449	0.9979	0.9863	0.8917	0.9168	1.0069	1.0155	1.0712	0.8127	1.0000
3	AMBO	0.7822	0.8431	0.8697	0.7549	0.7755	0.7823	0.7479	0.9820	1.0329	0.9842	0.9966	0.8835	1.0000
4	ATICO	0.8849	0.7376	1.0576	1.0168	1.1538	1.1764	0.9711	0.9893	1.0821	1.0845	1.1559	0.9021	1.0000
5	AYAVIRI	0.9913	0.9287	1.0870	1.0730	1.1003	1.0878	0.9449	0.9108	0.9242	1.0455	1.0348	0.9733	1.0000
6	CAMANA	0.5935	0.4934	1.0509	1.2563	1.3886	1.3961	1.2549	1.2278	1.3076	1.2658	1.2303	0.8494	1.0000
7	CANCAS	0.8722	0.8703	1.0694	1.1121	1.1631	1.2130	0.9722	0.9150	1.0516	1.0161	1.0259	0.8914	1.0000
8	CARACOTO	1.0576	0.9886	1.0999	1.0550	1.0578	1.0471	0.9900	0.8677	0.9953	0.9895	1.0077	0.7648	1.0000
9	CASARACRA	1.1441	1.1924	1.2529	0.9991	1.0245	0.9240	0.8401	0.8801	1.0508	0.9739	1.1465	0.8656	1.0000
10	CATAC	1.0992	1.0589	1.3534	1.0405	1.0772	1.0762	0.8316	0.8717	0.9632	0.9514	1.1169	0.9747	1.0000
11	CCASACANCHA	1.0321	1.0692	1.1050	1.0611	1.0719	1.0565	0.9517	0.9133	0.8930	0.9959	0.9734	0.7789	1.0000
12	CHACAPAMPA	1.0342	0.9781	0.9986	1.0653	1.0693	1.2488	1.0419	0.9217	0.9818	0.9211	1.0968	0.9676	1.0000
13	CHALHUAPUQUIO	1.1804	1.2304	1.2157	1.0487	1.0103	1.0467	0.7867	0.8314	1.0145	0.9547	1.0196	0.9379	1.0000
14	CHICAMA	0.9891	0.9536	1.0369	1.0347	1.0520	1.0477	0.9368	0.9915	1.0553	1.0166	1.0421	0.7493	1.0000
15	CHILCA	0.6041	0.5736	0.7824	1.0624	1.5470	1.6110	1.3032	1.4238	1.5046	1.2451	1.1887	0.6261	1.0000
16	CHULLQUI	1.0428	1.0728	1.0509	1.0163	1.0500	0.9407	0.9832	0.9316	0.9915	0.9207	1.2832	0.8829	1.0000
17	CHULUCANAS	1.0210	1.0629	1.1565	1.1355	1.0650	1.0374	0.9771	0.9150	0.9843	0.9479	0.9145	0.7502	1.0000
18	CIUDAD DE DIOS	0.9338	0.9146	1.1930	1.0736	1.0024	1.0271	0.9071	0.9185	1.0902	0.8660	1.0664	0.6549	1.0000
19	CORCONA	1.1416	1.1681	1.2623	1.0206	0.9748	1.0336	0.7786	0.8795	1.0065	0.9892	1.1933	0.8888	1.0000
20	CRUCE BAYOVAR	0.9033	0.8846	1.0933	1.0974	1.1592	1.1950	0.8640	0.9864	1.1644	0.9986	1.0861	0.6673	1.0000
21	CUCULLI	0.9988	1.0350	1.1242	1.1174	1.1070	0.9545	0.9574	0.9186	0.9449	0.9671	0.9672	1.0218	1.0000
22	DESIVIO OLMOS	0.9736	1.0105	1.1312	1.1600	1.1451	1.0896	0.9427	0.8716	0.9919	0.9562	1.0093	0.7176	1.0000
23	DESIVIO TALARA	0.8889	0.8761	1.0496	1.0840	1.1438	1.1754	0.9465	0.9935	1.1153	1.0280	1.0362	0.8201	1.0000
24	EL FISCAL	0.8940	0.8401	1.0559	1.0613	1.0717	1.1269	1.0109	0.9938	1.0838	1.0772	1.0791	0.8290	1.0000
25	EL PARAISO	0.9205	0.9105	1.0517	0.9657	1.1149	1.1469	0.9012	0.9733	1.1060	1.0310	1.0929	0.7531	1.0000
26	FORTALEZA	0.9181	0.8373	1.0150	1.0162	1.1492	1.1835	0.8765	1.0108	1.1687	1.0754	1.1540	0.6525	1.0000
27	HUACRAPUQUIO	0.8954	0.9256	0.8519	0.7865	1.1592	1.1492	0.8705	0.9487	0.9945	0.9710	1.1529	0.8270	1.0000
28	HUARMEY	0.9035	0.9244	1.1291	1.1310	1.2668	1.1960	0.8634	0.9658	1.1330	1.0542	1.1438	0.6719	1.0000
29	ICA	0.8952	0.8816	1.0171	1.0174	1.1066	1.1329	0.9323	0.9830	1.0531	0.9755	1.1795	0.8886	1.0000
30	ILAVE	1.0094	0.9590	0.9766	1.0121	1.1366	1.1846	0.9693	0.7789	1.0459	1.0628	1.1372	0.9867	1.0000
31	ILO	0.8298	0.8229	1.0127	1.0787	1.0722	1.1206	1.1008	1.0550	0.9804	1.0440	1.0342	0.8332	1.0000
32	JAHUAY - CHINCHA	0.8933	0.8732	1.0316	0.9075	1.1200	1.1826	0.9369	0.9922	1.1421	1.0329	1.0528	0.4477	1.0000
33	LOMA LARGA BAJA	1.0542	1.2728	1.3705	1.2397	1.1376	1.0325	0.8263	0.9065	0.9251	0.8919	0.8810	0.7535	1.0000
34	LUNAHUANA	1.0078	1.0300	1.0448	0.9515	1.0102	1.1445	0.8265	0.9416	1.1121	0.9751	1.0782	1.0732	1.0000
35	MACUSANI	1.0451	1.0018	1.0480	1.0861	1.1085	1.1300	0.9928	0.9432	1.0228	0.9617	1.0240	0.7588	1.0000
36	MARCONA	0.9662	0.8961	0.9852	1.0088	1.0983	1.0530	1.0341	1.0196	1.0333	1.0271	1.0027	0.7889	1.0000
37	MATARANI	0.4710	0.3895	0.9813	1.5079	1.7155	1.6697	1.6168	1.5740	1.5939	1.4242	1.3091	0.7821	1.0000
38	MENOCUCHO	0.9317	1.0027	1.0511	1.0791	1.0349	1.0573	0.9502	0.9064	1.0854	0.8523	0.7838	0.5208	1.0000
39	MOCCE	1.0278	0.9771	1.0470	1.0650	1.0408	0.9962	0.9898	0.9054	1.0213	1.0118	1.0013	0.6605	1.0000
40	MONTALVO	0.9048	0.8791	1.0475	1.0354	1.1059	1.0509	1.0488	1.0071	1.0687	1.0353	1.0353	0.8310	1.0000
41	MORROPE	0.9513	0.9141	1.0811	1.1244	1.1424	1.1751	0.8926	0.9687	1.0920	0.9715	1.0545	0.6746	1.0000
42	MOYOBAMBA	1.0850	1.0698	1.0813	1.0651	1.0168	0.9738	0.9435	0.9373	0.9761	0.9702	0.9891	0.8038	1.0000
43	NAZCA	0.9661	0.9054	1.0447	1.0679	1.0734	1.0837	0.9221	0.9299	1.0191	1.0129	1.0678	1.0237	1.0000
44	PACANGUILLA	0.9367	0.9280	1.0694	1.0717	1.1095	1.1596	0.9319	0.9569	1.1054	1.0141	1.0390	0.8663	1.0000
45	PACRA	1.0292	1.0010	1.0522	0.9639	1.1074	1.0791	0.8941	0.9429	1.0130	0.9989	1.0593	0.9694	1.0000
46	PAITA	0.8338	0.8399	0.9955	1.0884	1.1366	1.1292	1.0983	1.0805	1.0034	1.0469	1.0315	0.7241	1.0000
47	PAMPA CUELLAR	1.0470	0.8406	1.0891	1.0786	1.1541	1.1507	0.9423	0.7893	1.0577	1.0224	1.0477	0.8316	1.0000
48	PAMPA GALERA	0.9682	1.0250	1.1275	1.1108	1.0497	1.0842	0.8216	0.7799	1.0466	1.0741	1.1328	0.8288	1.0000
49	PAMPAMARCA	0.9676	0.9879	1.0838	1.0298	1.1090	1.0882	0.8872	0.9048	0.8396	0.9118	0.9069	0.8363	1.0000
50	PATAHUASI	1.0587	0.9424	1.1593	1.0874	1.1136	1.1136	0.9016	0.7985	1.0365	0.9748	1.0193	0.8250	1.0000
51	PEDRO RUIZ	0.9743	1.0357	1.1043	1.1210	1.1162	1.0422	0.9404	0.9088	0.9643	0.9746	1.0028	0.7673	1.0000
52	PICHIRHUA	1.0429	1.1004	1.1389	1.0572	1.0324	1.0052	0.9096	0.8779	0.9784	0.9987	1.0072	0.7769	1.0000
53	PIURA SULLANA	1.1032	1.0808	1.1780	1.0977	1.0636	1.0475	0.9646	0.9472	0.9953	0.9479	0.9443	0.7354	1.0000
54	PLANCHON	1.0522	1.0822	1.0719	1.0640	1.0586	1.0147	0.9340	0.9113	0.9516	0.9578	1.0475	0.7584	1.0000
55	POMAHUACA	0.9923	0.9975	1.1424	1.1909	1.1430	1.0907	0.9262	0.8476	0.9921	0.9880	1.0076	0.7033	1.0000
56	PONGO	1.0334	1.0848	1.0806	1.0886	1.0567	1.0028	0.9826	0.9141	0.9728	0.9669	0.9699	0.8065	1.0000
57	POZO REDONDO	0.9235	0.8502	1.0219	1.0682	1.1022	1.0689	1.0385	1.0403	1.1089	1.0396	1.0052	0.8472	1.0000
58	PUNTA PERDIDA	0.9849	0.8010	1.1299	1.2158	1.4581	1.4051	0.8099	0.5874	1.1694	1.0552	1.2693	1.0738	1.0000
59	QUIJILLA	1.1371	1.1635	1.2501	1.0385	1.0168	1.0572	0.8120	0.8670	0.9850	0.9894	1.1196	0.8197	1.0000
60	RUMICHACA	1.0728	0.9436	1.0297	0.8578	1.2202	1.1942	0.8757	0.8975	1.0346	1.0713	1.1703	0.9911	1.0000
61	SAN ANTON								1.1261	1.0559	0.9635	1.0337	0.8809	1.0000
62	SAN GABAN	1.0500	0.9816	1.0785	1.0904	1.1222	1.0984	0.9730	0.9088	0.9405	0.9236	0.9675	0.8185	1.0000
63	SAN LORENZO	0.9766	1.0535	1.1195	1.1258	1.1044	1.0287	0.8775	0.9294	0.9572	0.9531	1.0553	0.7550	1.0000
64	SANTA LUCIA	1.0119	0.8481	1.1341	1.1083	1.1142	1.1636	0.9390	0.7603	1.0670	1.0127	1.0654	0.8428	1.0000
65	SAYLLA	1.0247	0.9848	1.1232	1.0935	1.0634	1.0650	0.9819	0.9125	0.9189	0.9852	0.9876	0.9300	1.0000
66	SERPENTIN DE PASAMAYO	1.0952	1.0572	1.0806	1.0634	1.0649	1.0634	0.9685	0.8150	1.0387	1.0592	1.0482	0.9383	1.0000
67	SICUYANI	1.0307	0.8251	1.0268	1.0855	1.1303	1.1529	0.9101	0.7631	1.0878	1.0585	1.1855	1.0308	1.0000
68	SOCOS	1.2201	0.9974	0.9997	0.8936	1.0904	1.0721	0.9417	0.9564	1.0115	1.0043	1.0295	0.9394	1.0000
69	TAMBOGRANDE	0.9319	0.9595	1.0447	1.1058	1.0969	1.0611	1.0462	1.0492	1.0252	0.8999	0.9612	0.8933	1.0000
70	TOMASIRI	0.9857	0.9170	1.0642	1.0853	1.1028	1.0928	1.0370	0.9984	0.9003	1.0377	1.0434	0.7758	1.0000
71	TUNAN	1.0782	1.0585	1.1034	1.1013	1.0405	1.0399	0.8655	0.8521	0.9794	0.9803	1.1159	0.9908	1.0000
72	UNION PROGRESO	1.0447	1.0363	1.0948	1.0397	1.0254	1.0172	0.9599	0.9337	0.9674	1.0156	1.0481	0.7614	1.0000
73	UTCUBAMBA	1.2615	1.0304	1.0861	1.0957	1.0591	1.0235	0.9403	0.8986	0.9387	0.9686	0.9829	0.7404	1.0000
74	VARIANTE DE PASAMAYO	0.9446	0.931											

## Factores de corrección de vehículos pesados por unidad de peaje - Promedio (2010-2016)

FORMATO Nº 1.1 B

Código	Peaje	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total	
		Pesados	Pesados	Pesados	Pesados	Pesados	Pesados	Pesados	Pesados	Pesados	Pesados	Pesados	Pesados	Pesados	Pesados
		FC	FC	FC	FC	FC	FC	FC	FC	FC	FC	FC	FC	FC	FC
1	AGUAS CALIENTES	1.0234	0.9771	1.0540	1.0631	1.0703	1.1254	0.9831	0.9574	0.9655	0.9434	0.9429	0.9922	1.0000	
2	AGUAS CLARAS	1.0497	1.0164	0.9941	1.0038	0.9878	0.9823	0.9940	0.9597	0.9819	1.0086	1.0042	0.8920	1.0000	
3	AMBO	0.7967	0.7869	0.8193	0.7762	0.7945	0.7905	0.7890	1.0495	1.0086	0.9572	0.9482	0.9447	1.0000	
4	ÁTICO	1.0402	0.9961	1.0326	1.0478	1.0392	1.0365	1.0288	0.9862	0.9828	0.9573	0.9313	0.9458	1.0000	
5	AYAVIRI	1.0377	1.0057	1.0835	1.0533	1.0511	1.0319	0.9884	0.9505	0.9335	0.9456	0.9485	0.9933	1.0000	
6	CAMANA	0.9370	0.8802	1.0410	1.0753	1.0804	1.0953	1.0782	1.0099	1.0099	0.9947	0.9786	0.8325	1.0000	
7	CANCAS	1.0490	0.9888	1.0151	1.0452	1.0584	1.0381	1.0041	0.9824	1.0019	0.9551	0.9433	0.9563	1.0000	
8	CARACOTO	1.0489	1.0165	1.0879	1.0415	1.0743	1.0541	0.9982	0.9041	0.9575	0.9453	0.9765	0.8133	1.0000	
9	CASARACRA	1.1123	1.0819	1.1121	0.9769	0.9865	0.9782	0.9872	0.9672	0.9731	0.9521	1.0674	0.9416	1.0000	
10	CÁTAC	1.0538	1.0807	1.1606	1.0756	1.0119	0.9642	0.9591	0.9372	0.9719	0.9644	0.9958	0.9684	1.0000	
11	CCASACANCHA	1.0985	1.0820	1.0974	1.0774	1.0216	0.9848	0.9688	0.9568	0.9552	0.9509	0.9198	0.7875	1.0000	
12	CHACAPAMPA	1.1253	0.9872	0.9856	1.0061	1.0477	1.0441	1.0496	0.9939	0.9340	0.9529	0.9523	1.0257	1.0000	
13	CHALHUAPUQUIO	1.0741	1.0868	1.0814	1.0640	1.0533	0.9822	0.9411	0.9321	0.9569	0.9455	0.9498	0.9948	1.0000	
14	CHICAMA	0.9742	0.9595	1.0327	1.0799	1.0586	1.0428	1.0427	0.9889	0.9895	0.9814	0.9459	0.7964	1.0000	
15	CHILCA	0.9471	0.9731	1.0202	1.0429	1.0652	1.0551	1.0341	0.9979	0.9991	0.9830	0.9674	0.8073	1.0000	
16	CHULLQUI	0.9571	0.9658	1.0534	1.0776	1.0809	1.0402	1.0171	0.9865	0.9731	0.9169	1.2400	0.9257	1.0000	
17	CHULUCANAS	1.0042	0.9705	1.1344	1.1580	1.0939	1.0464	1.0225	0.9536	0.9890	0.9195	0.8980	0.7996	1.0000	
18	CIUDAD DE DIOS	0.9412	0.9568	1.1245	1.0109	0.9763	1.0522	1.0638	1.0509	1.0687	0.8375	0.8101	0.6639	1.0000	
19	ORCONA	1.1221	1.0894	1.1031	0.9536	0.9648	0.9756	0.9759	0.9653	0.9769	0.9739	1.0900	0.9561	1.0000	
20	CRUCE BAYOVAR	0.9925	0.9617	1.0163	1.0654	1.0473	1.0635	1.0368	0.9979	1.0155	0.9779	0.9314	0.7892	1.0000	
21	CUCULI	0.9544	1.0489	1.1882	1.1610	1.0781	0.9789	0.9835	0.9222	0.9034	0.9413	0.9400	1.0895	1.0000	
22	DESIVIO OLMOS	1.0670	1.0554	1.0607	1.0567	1.0520	1.0192	0.9857	0.9187	0.9394	0.9510	0.8440	0.8400	1.0000	
23	DESIVIO TALARA	1.0234	0.9763	1.0148	1.0405	1.0343	1.0196	1.0096	0.9862	1.0060	0.9840	0.9643	0.9566	1.0000	
24	EL FISCAL	0.9793	0.9154	1.0173	1.0391	1.0246	1.1024	1.0633	1.0320	1.0256	0.9910	0.9728	0.8304	1.0000	
25	EL PARAISO	1.0139	0.9909	1.0354	1.0501	1.0370	1.0203	1.0117	0.9785	0.9568	0.9754	0.9592	0.8049	1.0000	
26	FORTALEZA	1.0095	0.9646	1.0035	1.0378	1.0432	1.0527	1.0371	0.9852	0.9989	0.9807	0.9610	0.7830	1.0000	
27	HUACRAPUQUIO	0.8680	0.9011	0.8423	0.7848	0.9228	1.1603	1.0254	0.9226	0.9778	0.9218	1.1194	0.9334	1.0000	
28	HUARMEY	1.0626	1.0429	1.1171	1.1586	1.1478	1.0300	0.9937	0.9497	0.9638	0.9479	0.9288	0.7750	1.0000	
29	ICA	0.9862	0.9844	1.0316	1.0471	1.0536	1.0587	1.0384	0.9804	0.9489	0.9352	1.0246	0.8853	1.0000	
30	ILAVE	1.0287	0.9435	0.9580	1.0108	1.0332	1.0505	1.0763	0.8865	1.0774	1.0774	1.0866	1.1077	1.0000	
31	ILO	1.0669	1.0457	1.0755	0.9887	1.0028	1.0483	1.0198	1.0030	0.9598	0.9650	0.9476	0.8449	1.0000	
32	JAHUAY - CHINCHA	1.0249	0.9973	1.0339	1.0479	1.0542	1.0382	1.0310	0.9626	0.9677	0.9390	0.9390	0.4681	1.0000	
33	LOMA LARGA BAJA	0.9984	1.0881	1.2082	1.2064	1.1264	1.0819	0.9625	0.9904	0.9475	0.9315	0.9058	0.7844	1.0000	
34	LUNAHUANA	1.1157	1.0802	1.0493	1.0496	0.9891	1.0416	0.9823	0.9305	0.9768	0.9344	0.9505	1.0360	1.0000	
35	MACUSANI	1.0472	1.0557	1.0808	1.0272	1.1020	1.0260	1.0251	0.9430	0.9199	0.9216	0.9320	0.8424	1.0000	
36	MARCONA	1.0211	0.9817	0.9389	1.0037	1.1061	1.0323	1.0444	1.0595	1.0602	0.9693	0.9652	0.8165	1.0000	
37	MATARANI	0.9769	0.8851	1.0520	1.0660	1.0756	1.0200	1.0076	1.0345	0.9879	0.9887	0.9761	0.8394	1.0000	
38	MENOCUCHO	1.0902	1.0710	1.1233	1.0356	0.9978	0.9628	0.9467	0.9518	1.0001	0.8032	0.7510	0.6242	1.0000	
39	MOCCE	0.9589	0.9880	1.0560	1.1377	1.0767	0.9655	1.0381	0.9850	0.9950	0.9641	0.9495	0.6739	1.0000	
40	MONTALVO	0.9749	0.9489	1.0168	1.0360	1.0138	1.0964	1.0793	1.0412	1.0186	0.9900	0.9696	0.8286	1.0000	
41	MORROPE	0.9853	0.9582	1.0108	1.0690	1.0412	1.0481	1.0383	1.0113	1.0140	0.9789	0.9444	0.7873	1.0000	
42	MOYOBAMBA	1.0394	1.0126	1.0017	1.0501	1.0243	0.9980	0.9971	0.9593	0.9650	0.9824	0.9764	0.8706	1.0000	
43	NAZCA	1.0512	1.0102	1.0291	1.0329	1.0337	1.0279	0.9978	0.9575	0.9266	0.9266	1.0810	1.0810	1.0000	
44	PACANGUILLA	0.9774	0.9487	1.0090	1.0641	1.0495	1.0596	1.0523	0.9901	0.9939	0.9811	0.9523	0.8040	1.0000	
45	PACRA	1.0868	1.0277	1.0319	1.0367	1.0279	0.9996	0.9696	0.9510	0.9944	0.9504	0.9933	1.0005	1.0000	
46	PAITA	1.0781	1.0144	1.0791	1.1787	1.1043	1.0823	1.1406	1.0573	0.9480	0.9039	0.8388	0.7955	1.0000	
47	PAMPA CUELLAR	1.1278	1.1060	1.0743	1.0196	1.1381	1.0914	0.9853	0.9499	0.9494	0.8790	0.8946	0.8184	1.0000	
48	PAMPA GALERA	1.0903	1.0946	0.9337	1.0554	1.0345	1.0078	0.9802	0.9332	0.9554	0.9417	0.9377	0.8104	1.0000	
49	PAMPAMARCA	1.0692	1.0541	1.0691	1.0606	1.0664	1.0201	0.9938	0.9473	0.7723	0.7828	0.7751	0.8073	1.0000	
50	PATAHUASI	1.0842	1.0620	1.0935	1.0743	1.0716	1.0642	1.0134	0.9309	0.9448	0.8908	0.9068	0.7907	1.0000	
51	PEDRO RUIZ	1.0395	1.0270	1.0141	1.0435	1.0091	0.9897	1.0051	0.9512	0.9635	0.9802	0.9788	0.8808	1.0000	
52	PICHIRHUA	1.0749	1.0717	1.0921	1.0739	1.0482	1.0267	0.9978	0.9372	0.9326	0.9460	0.9215	0.7813	1.0000	
53	PIURA SULLANA	1.0777	1.0635	1.1221	1.0607	1.0386	1.0120	1.0199	0.9693	0.9711	0.9363	0.9711	0.7840	1.0000	
54	PLANCHON	1.3438	1.2774	1.1203	1.2187	1.0792	1.0400	0.9561	0.8949	0.8533	0.8878	0.9470	0.7937	1.0000	
55	POMAHUACA	1.0921	1.0391	1.0626	1.0829	1.0577	1.0278	0.9851	0.9081	0.9596	0.9608	0.9436	0.8043	1.0000	
56	PONGO	1.1352	1.0876	1.0772	1.0246	0.9968	0.9762	0.9396	0.9093	0.9267	0.9780	0.9737	0.9432	1.0000	
57	POZO REDONDO	1.0265	0.9947	1.0212	1.0323	1.0463	1.0444	0.9966	0.9978	1.0416	1.0080	0.9479	0.8953	1.0000	
58	PUNTA PERDIDA	1.1241	1.1208	1.0721	1.0308	1.3098	1.1524	0.9881	0.9410	0.9228	0.8658	0.9105	0.9502	1.0000	
59	QUIJILLA	1.1612	1.0951	1.0804	0.9231	0.9335	0.9738	0.9523	0.9509	0.9766	0.9979	1.1258	0.9767	1.0000	
60	RUMICHACA	1.0818	1.0268	1.0299	1.0168	1.0400	0.9999	0.9851	0.9211	0.9717	0.9617	1.0142	1.0086	1.0000	
61	SAN ANTON								1.0513	1.0045	0.9507	1.0325	0.9682	1.0000	
62	SAN GABAN	1.0987	1.0538	1.1783	1.1125	1.1375	1.0887	1.2293	0.8892	0.8511	0.8426	0.9370	0.8556	1.0000	
63	SAN LORENZO	1.4046	1.3695	1.3441	1.2260	1.1596	1.0369	0.9617	0.9140	0.8716	0.8117	0.8314	0.7406	1.0000	
64	SANTA LUCIA	1.0470	1.0248	1.0863	1.0801	1.0723	1.0987	1.0265	0.9249	0.9396	0.9085	0.9206	0.7987	1.0000	
65	SAYLLA	1.0655	1.0234	1.0782	1.0621	1.0384	1.0339	0.9836	0.9496	0.9489	0.9527	0.9402	0.9677	1.0000	
66	SERPENTIN DE PASAMAYO	1.0230	1.0047	1.0391	1.0460	1.0344	1.0180	1.0079	0.9814	0.9903	0.9671	0.9547	0.8073	1.0000	
67	SICUYANI	1.1224	1.0194	1.0416	1.0932	1.1379	1.1370	1.0892	1.0167	1.0202	0.9074	0.9111	0.9537	1.0000	
68	SOCOS	1.0895	1.0107	1.0057	1.0133	1.0501	0.9948	0.9791	0.9561	0.9911	0.9711	1.0190	0.9775	1.0000	
69	TAMBOGRANDE	0.5981	0.7330	1.1320	1.4600	1.4249	1.2833	1.3179	1.3397	1.1955	1.0221	0.9193	0.7364	1.0000	
70	TOMASIRI	0.9707	0.9200	1.0234	1.0693	1.0587	1.0722	1.0633	1.0043	0.9636	0.9993	0.9996	0.8396	1.0000	
71	TUNAN	1.0667	1.0665	1.0946	1.0642	0.9824	0.9383	0.9359	0.9286	0.9760	0.9695	1.0221	1.0081	1.0000	
72	UNION PROGRESO	1.1490	1.1263	1.0698	1.0555	1.0314	1.0245	0.9767	0.9104	0.9079	0.9712	0.9732	0.7871	1.0000	
73	UTCUBAMBA	1.1972	1.0395	1.0281	1.0362	1.0103	0.9780	0.9674	0.9217	0.9488	0.9731	0.9745	0.8352	1.0000	

Tasa de Crecimiento de Vehículos Ligeros	
	TC
Amazonas	0.62%
Ancash	0.59%
Apurímac	0.59%
Arequipa.	1.07%
Ayacucho	1.18%
<b>Cajamarca.</b>	<b>0.57%</b>
Callao	1.56%
Cusco.	0.75%
Huancavelica.	0.83%
Huánuco.	0.91%
Ica.	1.15%
Junín.	0.77%
La Libertad	1.26%
Lambayeque.	0.97%
Lima Provincia	1.45%
Lima.	1.45%
Loreto.	1.30%
Madre de Dios	2.58%
Moquegua	1.08%
Pasco.	0.84%
Piura.	0.87%
Puno.	0.92%
San Martín.	1.49%
Tacna.	1.50%
Tumbes.	1.58%
Ucayali	1.51%

Tasa de Crecimiento de Vehículos Pesados	
	PBI
Amazonas	3.42%
Ancash	1.05%
Apurímac	6.65%
Arequipa.	3.37%
Ayacucho	3.60%
<b>Cajamarca.</b>	<b>1.29%</b>
Cusco.	4.43%
Huancavelica.	2.33%
Huánuco.	3.85%
Ica.	3.54%
Junín.	3.90%
La Libertad	2.83%
Lambayeque.	3.45%
Callao	3.41%
Lima Provincia	3.07%
Lima.	3.69%
Loreto.	1.29%
Madre de Dios	1.98%
Moquegua	0.27%
Pasco.	0.36%
Piura.	3.23%
Puno.	3.21%
San Martín.	3.84%
Tacna.	2.88%
Tumbes.	2.60%
Ucayali	2.77%

Información al 2017.

Nota: Los valores presentados, son susceptibles a ser actualizados periódicamente por la OPMI-MTC, sin incurrir en actualización de la Ficha Técnica Estándar.



**RESPONSABLE:** JOSÉ RONALDO ESTELA TAN  
EVER IVAN SÁNCHEZ VÁZQUEZ

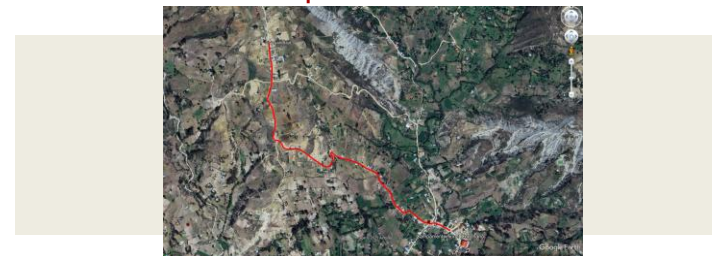
**ESTACIÓN 01:** Campamento Túnel Conchano  
**CÓDIGO DE ESTACIÓN:** E01

**COORDENADAS UTM**  
Este: 759184.33 m E  
Norte: 9275764.21 m S

**1. GENERALIDADES**

<b>Departamento:</b>	Cajamarca
<b>Provincia:</b>	Chota
<b>Distrito:</b>	Chota
<b>Horizonte del proyecto (en años):</b>	10 años

**Croquis de la estación**

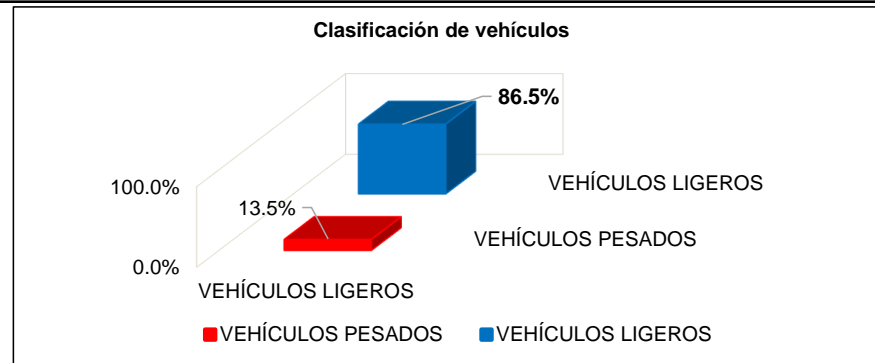
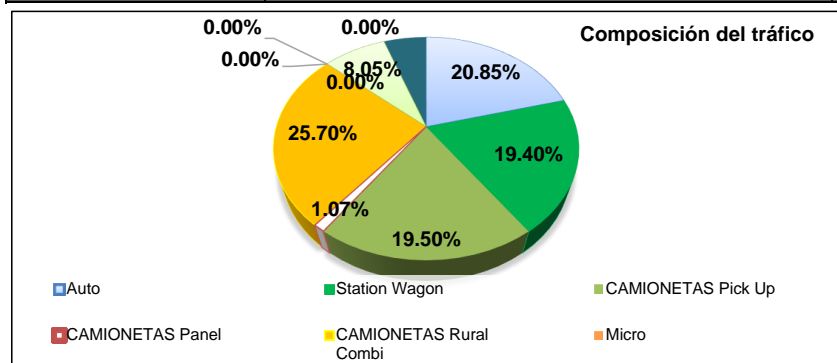


**1.1 Determinación del tráfico actual**

i) Resumir los conteos de tránsito a nivel del día y tipo de vehículo

**RESUMEN DE CONTEO VEHICULAR**

Dia	Fecha	VEHÍCULOS LIGEROS							VEHÍCULOS PESADOS												TOTAL		
		Auto	Station Wagon	CAMIONETAS			Micro	BUS		CAMIÓN			SEMI TRAYLER			TRAYLER							
				Pick Up	Panel	Rural Combi		2 E	>=3 E	2 E	3 E	4 E	2S1/2S2	2S3	3S1/3S2	>= 3S3	2T2	2T3	3T2	>=3T3			
D1	15/06/2025	29	27	38	7	45	-	-	-	7	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	157
D2	16/06/2025	30	29	20	-	37	-	-	-	15	-	9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	140
D3	17/06/2025	34	22	29	-	33	-	-	-	13	-	11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	142
D4	18/06/2025	20	27	31	-	32	-	-	-	22	-	11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	143
D5	19/06/2025	43	27	32	1	30	-	-	-	10	-	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	151
D6	20/06/2025	35	24	22	-	44	-	-	-	9	-	9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	143
D7	21/06/2025	24	44	29	3	44	-	-	-	7	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	155
<b>TOTAL</b>		215	200	201	11	265	-	-	-	83	-	56	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,031
<b>PORCENTAJE</b>		86.5%							13.5%														





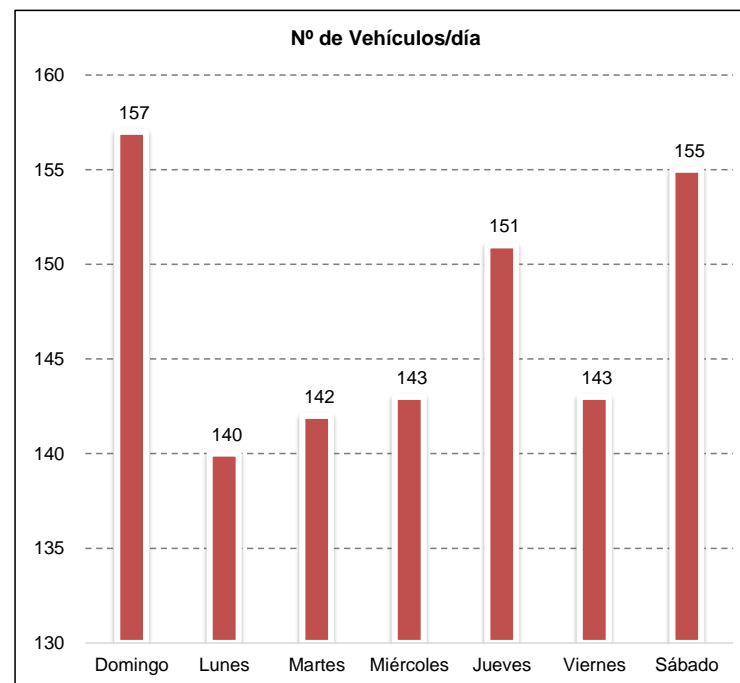
**RESPONSABLE:** JOSÉ RONALDO ESTELA TAN  
EVER IVAN SÁNCHEZ VÁZQUEZ

**ESTACIÓN 01:** Campamento Túnel Conchano  
**CÓDIGO DE ESTACIÓN:** E01

**COORDENADAS UTM**  
Este: 759184.33 m E  
Norte: 9275764.21 m S

Tipo de vehículos		Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	TOTAL	
VEHÍCULOS LIGEROS	Auto	29	30	34	20	43	35	24	29	
	Station Wagon	27	29	22	27	27	24	44	200	
	CAMIONETAS	Pick Up	38	20	29	31	32	22	29	201
		Panel	7	-	-	-	1	-	3	11
		Rural Combi	45	37	33	32	30	44	44	265
	Micro	-	-	-	-	-	-	-	-	-
VEHÍCULOS PESADOS	BUS	2 E	-	-	-	-	-	-	-	-
		>=3 E	-	-	-	-	-	-	-	-
	CAMIÓN	2 E	7	15	13	22	10	9	7	83
		3 E	-	-	-	-	-	-	-	-
		4 E	4	9	11	11	8	9	4	56
	SEMI TRAYLER	2S1/2S2	-	-	-	-	-	-	-	-
		2S3	-	-	-	-	-	-	-	-
		3S1/3S2	-	-	-	-	-	-	-	-
		>= 3S3	-	-	-	-	-	-	-	-
	TRAYLER	2T2	-	-	-	-	-	-	-	-
		2T3	-	-	-	-	-	-	-	-
3T2		-	-	-	-	-	-	-	-	
>=3T3		-	-	-	-	-	-	-	-	
<b>TOTAL</b>		<b>157</b>	<b>140</b>	<b>142</b>	<b>143</b>	<b>151</b>	<b>143</b>	<b>155</b>	<b>845</b>	

**Variación diaria del tráfico vehicular actual  
(Junio 2025)**





RESPONSABLE: JOSÉ RONALDO ESTELA TAN  
EVER IVAN SÁNCHEZ VÁZQUEZ

ESTACIÓN 01: Campamento Túnel Conchano  
CÓDIGO DE ESTACIÓN: E01

COORDENADAS UTM  
Este: 759184.33 m E  
Norte: 9275764.21 m S

ii) Determinar los factores de corrección estacional de una estación de peaje cercano al camino

F.C.E. Vehículos ligeros: **0.955** Ver 1.1 FC  
F.C.E. Vehículos pesados: **0.979** Ver 1.1 FC

**IMDA**

iii) Aplicar la siguiente fórmula, para un conteo de 7 días

Donde:  $IMD_S$  = Índice Medio Diario Semanal de la Muestra Vehicular Tomada  
 $IMDA$  = Índice Medio Anual  
 $V_i$  = Volumen Vehicular diario de cada uno de los días de conteo  
 $FC$  = Factores de Corrección Estacional

$$IMD_S = \frac{\sum V_i}{7}$$

$$IMDA = IMD_S * FC$$

Tipo de vehículos		Tráfico Vehicular en dos Sentidos por Día							TOTAL	$IMD_S$	FC	$IMDA$	Distribución (%)	
		Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	SEMANA					
VEHÍCULOS LIGEROS	Auto	29	30	34	20	43	35	24	215	31	0.955	30	20.7	
	Station Wagon	27	29	22	27	27	24	44	200	29	0.955	28	19.3	
	CAMIONETAS	Pick Up	38	20	29	31	32	22	29	201	29	0.955	28	19.3
		Panel	7	-	-	-	1	-	3	11	2	0.955	2	1.4
		Rural Combi	45	37	33	32	30	44	44	265	38	0.955	37	25.5
	Micro	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.955	0	0.0
VEHÍCULOS PESADOS	BUS	2 E	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.979	0	0.0
		>=3 E	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.979	0	0.0
	CAMIÓN	2 E	7	15	13	22	10	9	7	83	12	0.979	12	8.3
		3 E	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.979	0	0.0
		4 E	4	9	11	11	8	9	4	56	8	0.979	8	5.5
	SEMI TRAYLER	2S1/2S2	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.979	0	0.0
		2S3	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.979	0	0.0
		3S1/3S2	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.979	0	0.0
		>= 3S3	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.979	0	0.0
	TRAYLER	2T2	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.979	0	0.0
		2T3	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.979	0	0.0
		3T2	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.979	0	0.0
>=3T3		-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.979	0	0.0	
TOTAL		157	140	142	143	151	143	155	1,031	147		145	100.0	



RESPONSABLE: JOSÉ RONALDO ESTELA TAN  
EVER IVAN SÁNCHEZ VÁZQUEZ

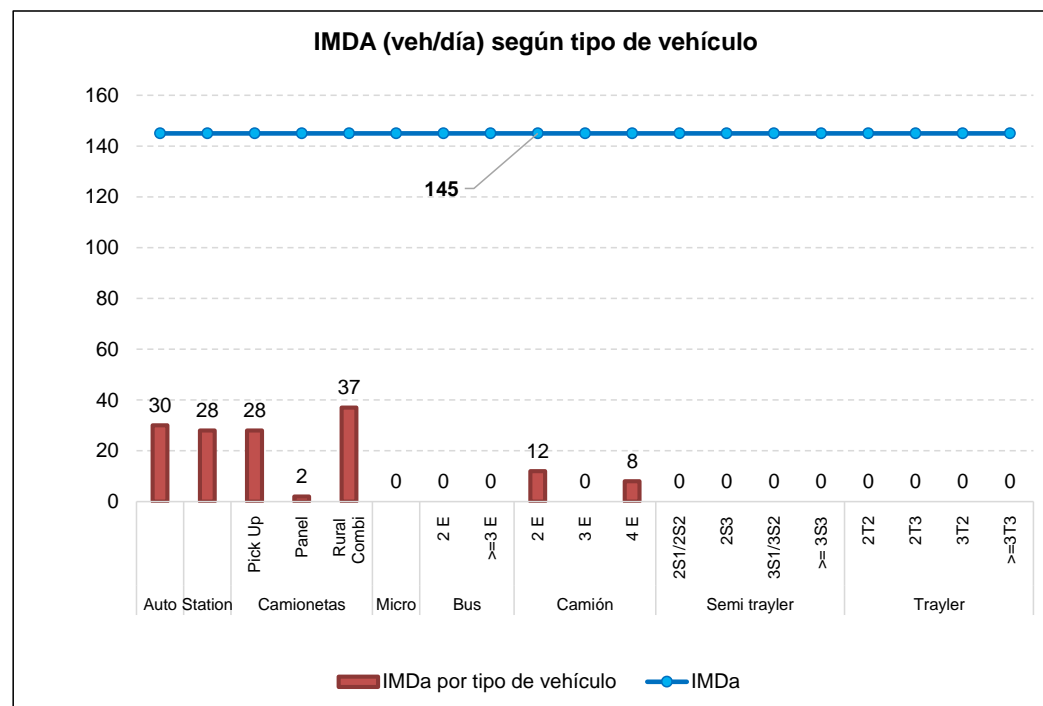
ESTACIÓN 01: Campamento Túnel Conchano  
CÓDIGO DE ESTACIÓN: E01

COORDENADAS UTM  
Este: 759184.33 m E  
Norte: 9275764.21 m S

## 2. ANALISIS DE LA DEMANDA

### 2.1 Demanda Actual

Tráfico Actual por Tipo de Vehículo				
Tipo de vehículos		IMD	Distribución (%)	
VEHÍCULOS LIGEROS	Auto	30	20.7	
	Station	28	19.3	
	Camionetas	Pick Up	28	19.3
		Panel	2	1.4
		Rural Combi	37	25.5
Micro	0	0.0		
VEHÍCULOS PESADOS	Bus	2 E	0	0.0
		>=3 E	0	0.0
	Camión	2 E	12	8.3
		3 E	0	0.0
		4 E	8	5.5
	Semi trayler	2S1/2S2	0	0.0
		2S3	0	0.0
		3S1/3S2	0	0.0
		>= 3S3	0	0.0
	Trayler	2T2	0	0.0
		2T3	0	0.0
		3T2	0	0.0
		>=3T3	0	0.0
<b>TOTAL</b>		<b>145</b>	<b>100.0</b>	



Del Cuadro anterior obtenemos que el IMDA total actual es de :

145 veh/día



*Anexo F. Guion de observación*

# GUIÓN DE OBSERVACIÓN TÉCNICO-NORMATIVO

---

Investigación: Comportamiento mecánico del suelo tratado con cal sometido a diferentes temperaturas durante el curado, subrasante de la carretera Campamento Túnel Conchano – Sivingan Bajo, Chota

Responsables: JOSÉ RONALDO ESTELA TAN, EVER IVAN SÁNCHEZ VÁZQUEZ

Institución: Universidad Nacional Autónoma de Chota – EPIC

Fecha de Observación: Del 20 al 26 de octubre del 2024

Lugar de ejecución: Campamento Túnel Conchano – Sivingan Bajo / Laboratorio CIEXLIAN – Chota

## I. OBJETIVO DEL GUIÓN

El presente guion de observación tiene como finalidad estandarizar y guiar de manera sistemática las acciones de observación técnica y experimental llevadas a cabo durante las etapas de obtención de cal, muestreo de suelos, preparación, tratamiento, curado bajo diferentes temperaturas y ejecución de ensayos físico-mecánicos, conforme a los lineamientos del MTC (2014 y 2016) y las Normas Técnicas Peruanas (NTP). Este documento permite verificar el cumplimiento de los procedimientos y registrar incidencias con base en la investigación realizada.

## II. FICHA TÉCNICA DE PROCEDIMIENTOS Y MATERIALES

Se documentan a continuación los elementos observados durante el proceso de investigación.

## III. OBSERVACIÓN DEL PROCESO DE OBTENCIÓN, TRANSPORTE Y VERIFICACIÓN DE LA CAL

La cal utilizada fue obtenida de la Planta Procesadora 'El Progreso', ubicada en Bambamarca – Hualgayoc. El proceso fue observado conforme a la NTP 334.125 (2021), ASTM C110, ASTM C25 y UNE 459-1. Se inspeccionaron los siguientes aspectos técnicos:

- La cal fue extraída de un lote con ficha técnica vigente. El contenido de cal activa fue de 92.8%, superando el mínimo de 90% establecido en la UNE 459-1.
- Se almacenó en sacos impermeables, manteniendo su integridad física durante el traslado a Chota.
- Se verificaron los siguientes parámetros: humedad (0.1%), granulometría retenida malla 200 (0.93%), agua libre (3.7%). A pesar de un ligero exceso de agua libre, su granulometría y cal activa garantizan eficacia.
- Ensayos realizados en el laboratorio INGECONSULT & LAB, Cajamarca, incluyeron: granulometría (ASTM C110), óxido e hidróxido de calcio (ASTM C25), agua libre (UNE 459-2). Estos aseguraron la reactividad de la cal para fines de estabilización.

#### **IV. OBSERVACIÓN DEL PROCESO DE MUESTREO DE SUELO**

El proceso de excavación y recolección de muestras de suelo fue ejecutado siguiendo las indicaciones del MTC (2014). Se excavaron dos calicatas en los extremos de la carretera objeto de estudio:

- Calicata 1: Coordenadas UTM 758136.265 E / 9279536.324 S, elevación 2364.83 msnm.
- Calicata 2: Coordenadas UTM 757543.534 E / 9280015.653 S, elevación 2459.05 msnm.
- Se tomaron muestras alteradas (para granulometría, límites de consistencia, Proctor, etc.) y no alteradas (para ensayos de compresión).
- Las muestras fueron almacenadas en condiciones secas y transportadas al laboratorio CIEXLIAN.

## V. OBSERVACIÓN DE LOS ENSAYOS AL SUELO NATURAL

Los ensayos físicos y mecánicos se realizaron en el laboratorio CIEXLIAN – Chota, siguiendo las Normas Técnicas Peruanas para caracterizar las propiedades del suelo natural de la subrasante, con el fin de determinar la necesidad de estabilización.

Ensayo	Norma Técnica	Observaciones
Contenido de humedad	NTP 339.127:2019	Se determinó mediante secado en horno hasta peso constante.
Granulometría	NTP 339.128:2019	Se obtuvo la curva granulométrica representativa de cada calicata.
Límites de consistencia	NTP 339.129:2019	Se determinaron los límites líquido y plástico, así como el índice de plasticidad.
Compactación (Proctor modificado)	NTP 339.141:2019	Se establecieron la humedad óptima y densidad máxima seca.
CBR	NTP 339.145:2019	Se obtuvo un valor inferior al 6%, justificando la estabilización.
Resistencia a compresión no confinada	NTP 339.167:2015	Se prepararon especímenes no tratados para ensayo axial de carga.

## VI. PREPARACIÓN DE LA MEZCLA SUELO-CAL Y DOSIFICACIÓN

Se aplicó el método MTC E 1108 para determinar el porcentaje óptimo de cal, basado en el índice de plasticidad y el porcentaje pasante por el tamiz N° 40. El resultado fue una dosificación del 5% respecto al peso seco del suelo, correspondiente a un suelo altamente arcilloso.

El procedimiento fue el siguiente:

- Secado y tamizado del suelo por el tamiz N° 10.
- Cálculo del 5% de cal en relación al peso seco.
- Mezclado en seco y reposo de 24 horas para permitir la reacción inicial.
- División en porciones para ensayos de laboratorio.

## VII. OBSERVACIÓN DEL PROCESO DE CURADO BAJO CONDICIONES TÉRMICAS

Para analizar el efecto de la temperatura en el desarrollo de propiedades mecánicas, las muestras fueron sometidas a curado a temperaturas constantes de 4 °C, 16 °C, 24 °C y 30 °C durante 7 días, usando calefactor y termómetro ambiental.

- Registro diario de temperatura: 06:00, 14:00 y 22:00 horas.
- Agua de curado:  $18 \pm 0.5$  °C para inmersión o aspersion, según tipo de ensayo.
- Tipo de curado según ensayo: inmersión (CBR) y aspersion (resistencia no confinada).

## VIII. OBSERVACIÓN DE LOS ENSAYOS AL SUELO TRATADO CON CAL

Una vez estabilizado el suelo con un 5% de cal, se realizaron los ensayos físico-mecánicos bajo condiciones térmicas controladas. El objetivo fue analizar la influencia de la temperatura durante el curado sobre las propiedades mecánicas del suelo tratado. Los ensayos se llevaron a cabo conforme a las Normas Técnicas Peruanas (NTP) vigentes.

Ensayo	Norma Técnica	Observaciones
Contenido de humedad	NTP 339.127:2019	El secado en horno mostró diferencias menores según temperatura de curado.
Granulometría	NTP 339.128:2019	Distribución granulométrica uniforme posterior al tratamiento con cal.
Límites de consistencia	NTP 339.129:2019	Reducción significativa del índice de plasticidad tras el tratamiento.
Compactación (Proctor modificado)	NTP 339.141:2019	Incremento de la densidad seca y reducción de la humedad óptima en suelos tratados.
CBR	NTP 339.145:2019	Aumento progresivo del valor CBR con temperaturas mayores durante el curado.
Resistencia a la compresión no confinada	NTP 339.167:2015	Resistencia máxima obtenida a 24 °C y 30 °C.

## IX. REGISTRO DE TEMPERATURAS DURANTE EL CURADO

El monitoreo térmico durante el curado se realizó en intervalos de 3 mediciones por día durante 7 días. Las temperaturas registradas fueron las siguientes:

Día	06:00	14:00	22:00
20/10	12.9 °C	22.4 °C	19.3 °C
21/10	8.2 °C	22.0 °C	19.3 °C
22/10	7.8 °C	23.1 °C	20.0 °C
23/10	14.0 °C	17.1 °C	19.1 °C
24/10	13.3 °C	22.1 °C	21.2 °C
25/10	14.6 °C	23.2 °C	21.5 °C
26/10	16.5 °C	21.1 °C	21.3 °C

La temperatura promedio durante este periodo fue de 18.10 °C, considerada como referencia base.

## X. CONCLUSIONES DE LA OBSERVACIÓN TÉCNICA

1. Todos los procedimientos observados se realizaron conforme a lo establecido por el MTC (2014, 2016) y las NTP correspondientes.
2. La calidad de la cal fue verificada y considerada apta para la estabilización, cumpliendo requisitos normativos.
3. Las muestras de suelo fueron recolectadas y tratadas según estándares de laboratorio, obteniendo resultados válidos para análisis comparativo.
4. El curado térmico demostró tener un impacto directo sobre el CBR y la resistencia a la compresión del suelo tratado.
5. Las temperaturas de 24 °C y 30 °C favorecieron el desarrollo de propiedades mecánicas óptimas, sin comprometer la homogeneidad del curado.
6. El guion técnico permitió estandarizar la observación en campo y laboratorio, facilitando la recolección sistemática de evidencias.

*Anexo G. Resultado de ensayos de laboratorio*

## ENSAYO CALIFORNIA BEARNING RATIO

### TESIS

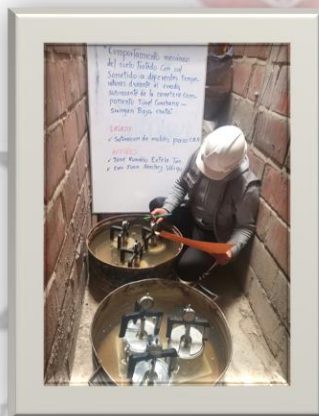
“COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL SUELO TRATADO CON CAL SOMETIDO A DIFERENTES TEMPERATURAS DURANTE EL CURADO, SUBRASANTE DE LA CARRETERA CAMPAMENTO TÚNEL CONCHANO – SIVINGAN BAJO, CHOTA”

### ENSAYO DE COMPRESIÓN NO CONFINADA

#### CALICATA C-01

### SOLICITANTE

JOSÉ RONALDO ESTELA TAN - EVER IVÁN SÁNCHEZ VÁZQUEZ



Chota, Perú del 2024

**LABORATORIO MECANICA DE SUELOS Y CONCRETO**

**TESIS:** COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL SUELO TRATADO CON CAL SOMETIDO A DIFERENTES TEMPERATURAS DURANTE EL CURADO, SUBRASANTE DE LA CARRETERA CAMPAMENTO TÚNEL CONCHANO – SIVINGAN BAJO, CHOTA

**UBICACIÓN:** CARRETERA CAMPAMENTO TÚNEL CONCHANO – SIVINGAN BAJO, CHOTA

**SOLICITANTE:** JOSÉ RONALDO ESTELA TAN - EVER IVAN SÁNCHEZ VÁZQUEZ

**FECHA DE INFORME:** 26/10/2024

**SUELO NATURAL A TEMPERATURA AMBIENTE (18°C)**

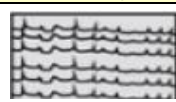

**Material:** C-1

**Fecha de Muestreo:** 5/09/2024

**Fecha de Recepción:** 5/09/2024

**Prof.(m):** 1.50m

**NIVEL FREÁTICO :** NO SE ENCONTRO

Profundidad (m)	Muestra	DESCRIPCIÓN	CLASIFICACIÓN		Contenido de humedad	Límites de consistencia		
			Símbolo	Símbolo gráfico		L.L (%)	L.P (%)	
0.40	0.10	S/M Material orgánico de color negro amarillo , con bajo contenido de humedad y bajo humedad y bajo grado de compactad.						
	0.20							
	0.30							
	0.40							
1.50	0.50	Estracto clasificado en el sistema "SUCS" Limos inorgánicos y arenas muy finas, limos limpios, arenas finas, limosas o arcillosa, o limos arcillosos con ligera plásticidad.	GC			16.73%	27.20	18.26
	0.90							
	1.00							
	1.20							
	1.50							
3.00	1.80	C-1						
	2.00							
	2.20							
	2.80							
	3.00						IP	8.94

**FOTOS**



CIEXLIAN Y LABORATORIO  
Ing. Hermes Rojas Tiravanti  
REG. CIP 348840

CIEXLIAN Y LABORATORIO  
Gülmer Yoel Vásquez Baldana  
TÉCNICO EN LABORATORIO

Técnico de Laboratorio:



**CONTENIDO DE HUMEDAD DE LOS SUELOS**  
(A.S.T.M D 2216 / MTC E 107)

CIEXLIAN S.R.L - LABORATORIO  
RUC : 20604291641  
CEL:950589432

**LABORATORIO MECANICA DE SUELOS Y CONCRETO**

**TESIS:** COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL SUELO TRATADO CON CAL SOMETIDO A DIFERENTES TEMPERATURAS DURANTE EL CURADO, SUBRASANTE DE LA CARRETERA CAMPAMENTO TÚNEL CONCHANO – SIVINGAN BAJO, CHOTA

**UBICACIÓN:** CARRETERA CAMPAMENTO TÚNEL CONCHANO – SIVINGAN BAJO, CHOTA

**SOLICITANTE:** JOSÉ RONALDO ESTELA TAN - EVER IVAN SÁNCHEZ VÁZQUEZ

**FECHA DE INFORME:** 26/10/2024

**SUELO NATURAL A TEMPERATURA AMBIENTE (18°C)**

**DATOS DE LA MUESTRA**

**Material:** C-1

**Muestra/Calicata:** CA-1

**Fecha de Muestreo:** 5/09/2024

**Fecha de Recepción:** 5/09/2024

**Prof.(m):** 1.50m

Descripcion	Und.	Ensayos				Promedio
Tara	Nº	T1				
Peso Material Humedo + Tara (A)	gr.	145.9				
Peso Material Seco + Tara (B)	gr.	130.3				
Peso de Agua (A-B)	gr.	15.7				
Peso de Tara ©	gr.	36.5				
Peso Neto de Material Seco (B - C)	gr.	93.8				
Porcentaje de Humedad (A-B)/(B-C)*100	%	16.73%				<b>16.73%</b>

**OBSERVACIONES :**

Porcentaje de Humedad: 14 16.73%

La condición de secado de la muestra fue en Horno a 110C° +- 5C°

**Técnico de Laboratorio:**

**Firma:**

CIEXLIAN Y LABORATORIO  
CIEXLIAN  
Ing. Hermes Rojas Tiravanti  
REG. CIP. 348840

CIEXLIAN Y LABORATORIO  
CIEXLIAN  
Gilmer Yoel Vásquez Baldaña  
TÉCNICO EN LABORATORIO

**LABORATORIO MECANICA DE SUELOS Y CONCRETO**

COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL SUELO TRATADO CON CAL SOMETIDO A DIFERENTES TEMPERATURAS DURANTE EL CURADO, SUBRASANTE DE LA CARRETERA CAMPAMENTO TÚNEL CONCHANO – SIVINGAN BAJO, CHOTA

TESIS:

UBICACIÓN: CARRETERA CAMPAMENTO TÚNEL CONCHANO – SIVINGAN BAJO, CHOTA

CLIENTE: JOSÉ RONALDO ESTELA TAN - EVER IVAN SÁNCHEZ VÁZQUEZ

FECHA DE INFORME: 26/10/2024

SUELO NATURAL A TEMPERATURA AMBIENTE (18°C)

**DATOS DE LA MUESTRA**

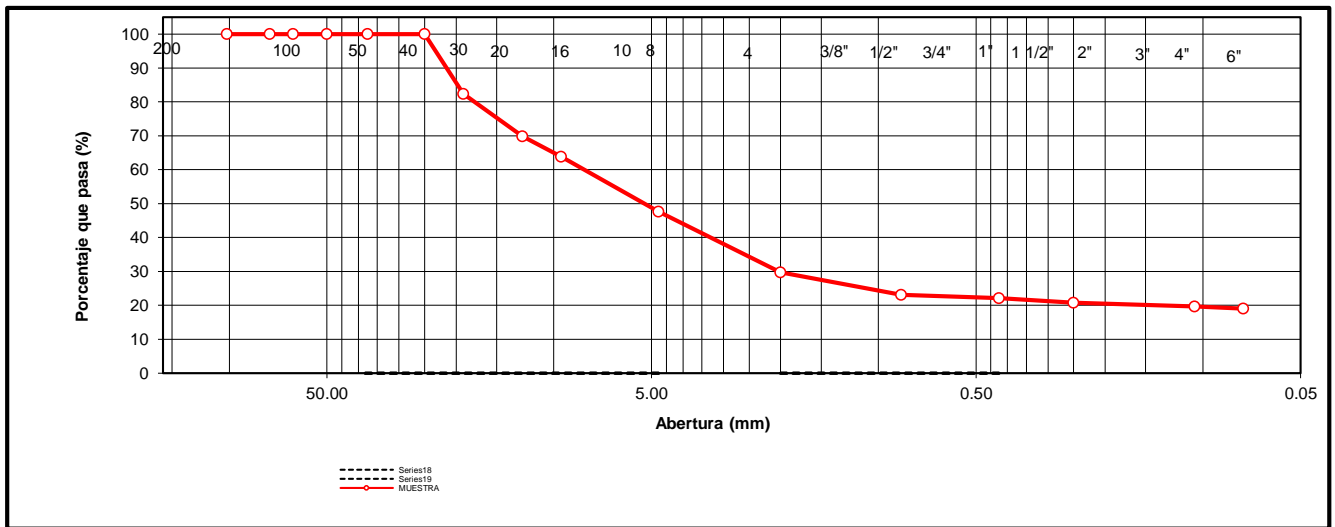
Muestra/Calicata: CA-1

Fecha de Muestreo: 5/09/2024 Fecha de Recepción: 5/09/2024 Prof.(m): 1.50m

Tamaño Máximo: 1" Peso Inicial Seco: 2000 gr.

TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	RETENIDO ACUMULADO	PORCENTAJE QUE PASA	ESPECIFICACION Tipo:	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
4"	101.600	0	0.00	0.00	100.00		<b>OBSERVACIONES :</b>
3"	75.000	0.00	0.00	0.00	100.00		Bolonería 4" - 3" : 0.00 %
2 1/2"	63.500	0.00	0.00	0.00	100.00		Grava 3" - Nº 4 : 52.35 %
2"	50.000	0.00	0.00	0.00	100.00		Arena Nº4 - Nº 200 : 28.60 %
1 1/2"	37.500	0.00	0.00	0.00	100.00		Finos < Nº 200 : 19.05 %
1"	25.000	0.00	0.00	0.00	100.00		A. gruesa Nº 4 - Nº 10 : 17.90 %
3/4"	19.000	352.00	17.60	17.60	82.40		A. media Nº 10 - Nº 40 : 7.65 %
1/2"	12.500	250.00	12.50	30.10	69.90		A. fina Nº 40 - Nº 200 : 3.05 %
3/8"	9.500	120.00	6.00	36.10	63.90		
Nº 4	4.750	325.00	16.25	52.35	47.65		<b>CARACTERISTICAS:</b>
Nº 8	2.360	183.00	9.15	61.50	38.50		LL (ASTM D4318-17): 27.20 %
Nº 10	2.000	175.00	8.75	70.25	29.75		LP (ASTM D4318-17): 18.26 %
Nº 16	1.190	110.00	5.50	75.75	24.25		IP (ASTM D4318-17): 8.94 %
Nº 20	0.850	23.00	1.15	76.90	23.10		
Nº 30	0.600	15.00	0.75	77.65	22.35		Clasificación (SUCS) : GC
Nº 40	0.425	5.00	0.25	77.90	22.10		
Nº 60	0.250	25.00	1.25	79.15	20.85		
Nº 140	0.106	22.00	1.10	80.25	19.75		
Nº 200	0.075	14.00	0.70	80.95	19.05		
< Nº 200	FONDO	381.00	19.05	100.00	0.00		

**CURVA DE DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA**



OBSERVACIONES: Tamaño Máximo de partículas: 1"

Técnico de Laboratorio:  CIEXLIAN Y LABORATORIO

Firma:  CIEXLIAN Y LABORATORIO



**LÍMITES DE ATTERBERG**  
(A.S.T.M D 4318) / A.A.S.H.T.O T 89)

CIEXLIAN S.R.L - LABORATORIO  
RUC : 20604291641  
CEL:950589432 CORREO:ciexlianlab@gmail.com

Pag: 7 de 9

**LABORATORIO MECANICA DE SUELOS Y CONCRETO**

**MATERIAL:** COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL SUELO TRATADO CON CAL SOMETIDO A DIFERENTES TEMPERATURAS DURANTE EL CURADO, SUBRASANTE DE LA CARRETERA CAMPAMENTO TÚNEL CONCHANO – SIVINGAN BAJO, CHOTA

**UBICACIÓN:** CARRETERA CAMPAMENTO TÚNEL CONCHANO – SIVINGAN BAJO, CHOTA

**CLIENTE:** JOSÉ RONALDO ESTELA TAN - EVER IVAN SÁNCHEZ VÁZQUEZ

**FECHA DE INF:** 26/10/2024

**SUELO NATURAL A TEMPERATURA AMBIENTE (18°C)**

**DATOS DE LA MUESTRA**

**Fecha de Muestreo:** 5/09/2024 **Muestra/Calicata:** CA-1  
**Prof.(m):** 1.50m

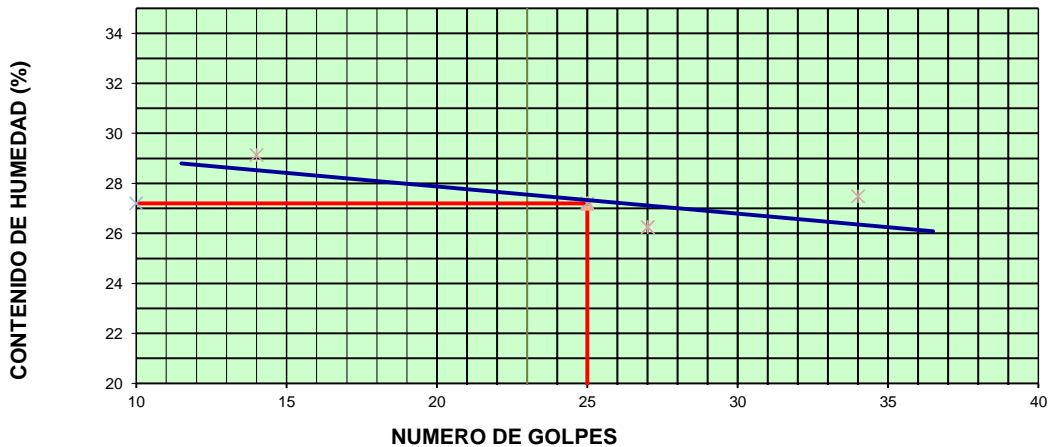
**LIMITE LIQUIDO**

Descripción	Und	Ensayos			Observaciones
		T- 400	T- 403	T- 408	
Nº TARRO					
PESO TARRO + SUELO HUMEDO	(g)	62.89	50.40	45.35	
PESO TARRO + SUELO SECO	(g)	59.24	47.35	41.31	
PESO DE AGUA	(g)	3.65	3.05	4.04	
PESO DE LA TARA	(g)	46.71	36.25	25.92	
PESO DEL SUELO SECO	(g)	12.53	11.10	15.39	
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	29.13	27.48	26.25	
NUMERO DE GOLPES		14	34	27	

**LIMITE PLASTICO**

Descripción	Und	Ensayos		Observaciones
		T-405	T-404	
Nº TARRO				
PESO TARRO + SUELO HUMEDO	(g)	15.92	15.30	
PESO TARRO + SUELO SECO	(g)	15.80	15.19	
PESO DE AGUA	(g)	0.12	0.11	
PESO DE LA TARA	(g)	15.13	14.57	
PESO DEL SUELO SECO	(g)	0.67	0.62	
CONTENIDO DE DE HUMEDAD	(%)	18.24	18.27	

**CONTENIDO DE HUMEDAD A 25 GOLPES**



**CONSTANTES FISICAS DE LA MUESTRA**

LIMITE LIQUIDO	%	27.20
LIMITE PLASTICO	%	18.26
INDICE DE PLASTICIDAD	%	8.94

**OBSERVACIONES:**

La condición de secado de la muestra fue en Horno a 110C° +- 5C°

Técnico de Laboratorio:

Firma:

CIEXLIAN Y LABORATORIO  
Ing. Hermes Rojas Tiravanti  
REG CIP 348840

CIEXLIAN Y LABORATORIO  
Gilmer Yoel Vásquez Baldaña  
TÉCNICO EN LABORATORIO



ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO (ASTM D-1557)

CIEXLIAN S.R.L - LABORATORIO
RUC : 20604291641
CEL:950589432
CORREO:ciexlianlab@gmail.com

LABORATORIO MECANICA DE SUELOS Y CONCRETO

MATERIAL: COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL SUELO TRATADO CON CAL SOMETIDO A DIFERENTES TEMPERATURAS DURANTE EL CURADO, SUBRASANTE DE LA CARRETERA CAMPAMENTO TÚNEL CONCHANO - SIVINGAN BAJO, CHOTA

UBICACIÓN: CARRETERA CAMPAMENTO TÚNEL CONCHANO - SIVINGAN BAJO, CHOTA

SOLICITANTE: JOSÉ RONALDO ESTELA TAN - EVER IVAN SÁNCHEZ VÁZQUEZ FECHA DE INFORME 26/10/2024

SUELO NATURAL A TEMPERATURA AMBIENTE (°C)

DATOS DE LA MUESTRA

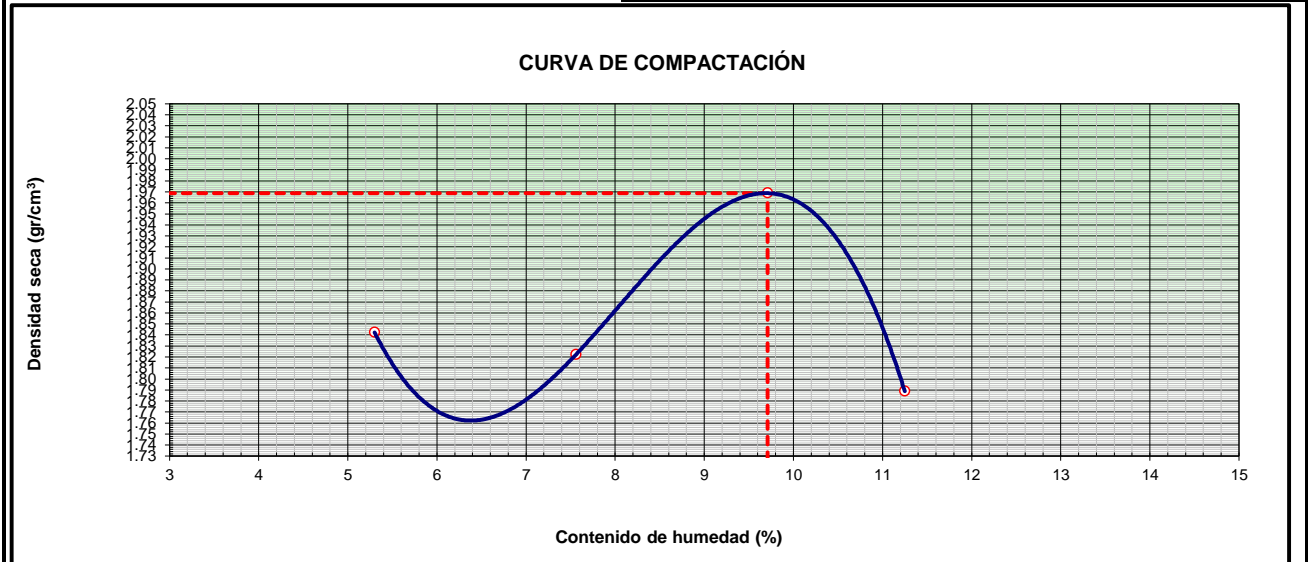
Material: C-1 Muestra/Calicata: CA-1
Fecha de Muestreo: 5/09/2024 Prof.(m): 1.50m

METODO DE COMPACTACION: C Peso de Martillo (gr): 4536.4

Tipo de pisón: Manual Diam. Mold. 15.14 Vol. Mold. 2122.32
Peso del Molde (gr): 6690 (cm): (cm3):

Table with 7 columns: Test parameters, 1, 2, 3, 4, and OBSERVACION. Rows include: Peso suelo + molde, Peso neto del suelo húmedo, Peso volumétrico húmedo, Tara, Peso del suelo húmedo+tara, Peso del suelo seco + tara, Peso de Tara, Peso de agua, Peso del suelo seco, Contenido de Humedad, and Peso volumétrico seco.

Máxima Densidad Seca (gr/cm³) : 1.97
Óptimo Contenido de Humedad (%): 9.7



OBSERVACIONES :

Técnico de Laboratorio: Firma:

CIEXLIAN Y LABORATORIO
Ing. Hermes Rojas Tiravanti
REG. CIP. 348840

CIEXLIAN Y LABORATORIO
Gilmer Yoel Vázquez Baldana
TÉCNICO EN LABORATORIO



**ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO  
(MTC E-132 / A.S.T.M D 1883 / AASHTO- T 193)**

CIEXLIAN S.R.L -  
LABORATORIO  
RUC : 20604291641  
CEL:950589432

Pag: 9 de 9

**LABORATORIO MECANICA DE SUELOS Y CONCRETO**

**TESIS:** COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL SUELO TRATADO CON CAL SOMETIDO A DIFERENTES TEMPERATURAS DURANTE EL CURADO, SUBRASANTE DE LA CARRETERA CAMPAMENTO TÚNEL CONCHANO – SIVINGAN BAJO, CHOTA

**UBICACIÓN:** CARRETERA CAMPAMENTO TÚNEL CONCHANO – SIVINGAN BAJO, CHOTA

**SOLICITANTE:** JOSÉ RONALDO ESTELA TAN - EVER IVAN SÁNCHEZ VÁZQUEZ

**FECHA DE INFORME:** 26/10/2024

**SUELO NATURAL A TEMPERATURA AMBIENTE (18°C)**

**DATOS DE LA MUESTRA**

**Material:** C-1

**Fecha de Muestreo:** 5/09/2024

**Fecha de Recepción:** 5/09/2024

**Prof.(m):** 1.50m

**C.B.R.**

MOLDE N°	4		5		6	
	56		25		12	
N° DE GOLPES POR CAPA						
CONDICION DE MUESTRA	SIN MOJAR	MOJADA	SIN MOJAR	MOJADA	SIN MOJAR	MOJADA
PESO MOLDE + SUELO HUMEDO (gr)	11907.83		11840.35		11688.38	
PESO DEL MOLDE (gr)	7545.00		7532.00		7562.00	
PESO DEL SUELO HUMEDO (gr)	4362.83		4308.35		4126.38	
VOLUMEN DEL SUELO (cm <sup>3</sup> )	2122.00		2165.00		2127.00	
DENSIDAD HUMEDA (gr/cm <sup>3</sup> )	2.06		1.99		1.94	
CAPSULA N°	1		3		5	
PESO CAPSULA + SUELO HUMEDO (gr)	50.82		59.52		56.86	
PESO CAPSULA + SUELO SECO (gr)	47.85		55.55		53.25	
PESO DE AGUA CONTENIDA (gr)	2.97		3.97		3.61	
PESO DE CAPSULA (gr)	17.25		14.75		16.23	
PESO DE SUELO SECO (gr)	30.60		40.80		37.02	
HUMEDAD (%)	9.71%		9.72%		9.75%	
DENSIDAD SECA (gr/cm <sup>3</sup> )	1.87		1.81		1.77	

**EXPANSIÓN**

DÍAS	HORAS	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION	
			mm	%		mm	%		mm	%
0	0	0.00	0.00		0.000	0.00		0.000	0.00	
1	24	0.00	0.00		0.000	0.00		0.000	0.00	
2	48	0.00	0.00		0.000	0.00		0.000	0.00	
3	72	0.00	0.00		0.000	0.00		0.000	0.00	
4	96	0.00	0.00		0.000	0.00		0.000	0.00	
5	120	0.00	0.00		0.000	0.00		0.000	0.00	
6	144	0.00	0.00		0.000	0.00		0.000	0.00	
7	168	0.00	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.000

**PENETRACION**

PENETRACION	PULG.	CARGA ESTÁNDAR (Lbs/pulg <sup>2</sup> )	MOLDE N° 1				MOLDE N° 2				MOLDE N° 3			
			CARGA	CORECCION			CARGA	CORECCION			CARGA	CORECCION		
			Lectura	Lbs	lbs/pulg <sup>2</sup>	%	Lectura	Lbs	lbs/pulg <sup>2</sup>	%	Lectura	Lbs	lbs/pulg <sup>2</sup>	%
0			0	0	0		0.00	0	0		0.00	0	0	
0.020			78.25	173	57.67		45.25	100	33.33		35.25	78	26.00	
0.040			120.56	266	88.67		85.58	189	63.00		56.21	124	41.33	
0.060			184.58	407	135.67		125.69	277	92.33		95.80	211	70.33	
0.080			240.00	529	176.33		175.25	386	128.67		120.35	265	88.33	
0.100		1000	277.00	611	203.67	20.37	200.25	441	147.00	14.70	150.25	331	110.33	11.03
0.200		1500	385.12	849	283.00		285.58	630	210.00		225.58	497	165.67	
0.300			452.40	997	332.33		340.25	750	250.00		268.50	592	197.33	
0.400			495.10	1092	364.00		376.25	829	276.33		304.80	672	224.00	
0.500			540.25	1191	397.00		425.45	938	312.67		340.25	750	250.00	

CIEXLIAN Y LABORATORIO  
 Ing. Hermes Rojas Tiravanti  
 REG. CIP 348840

CIEXLIAN Y LABORATORIO  
 Guimer Yael Vázquez Baldana  
 TÉCNICO EN LABORATORIO



**ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO  
(MTC E-132 / A.S.T.M D 1883 / AASHTO- T 193)**

CIEXLIAN S.R.L -  
LABORATORIO  
RUC : 20604291641  
CEL.950589432

**LABORATORIO MECANICA DE SUELOS Y CONCRETO**

**TESIS:** COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL SUELO TRATADO CON CAL SOMETIDO A DIFERENTES TEMPERATURAS DURANTE EL CURADO, SUBRASANTE DE LA CARRETERA CAMPAMENTO TÚNEL CONCHANO – SIVINGAN BAJO, CHOTA

**UBICACIÓN:** CARRETERA CAMPAMENTO TÚNEL CONCHANO – SIVINGAN BAJO, CHOTA

**SOLICITANTE:** JOSÉ RONALDO ESTELA TAN - EVER IVAN SÁNCHEZ VÁZQUEZ

**FECHA DE INFORME:** 26/10/2024

**SUELO NATURAL A TEMPERATURA AMBIENTE (18°C)**

**DATOS DE LA MUESTRA**

**Material:** C-1

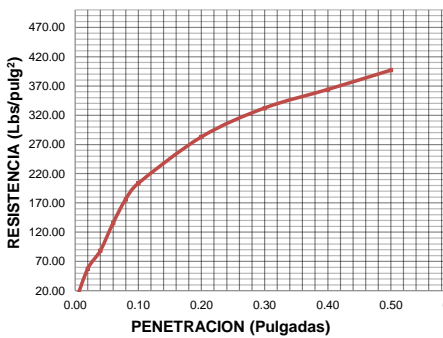
**DATOS DEL PROCTOR**

DENSIDAD MAXIMA (gr/cm3)	1.97
HUMEDAD OPTIMA (%)	9.71

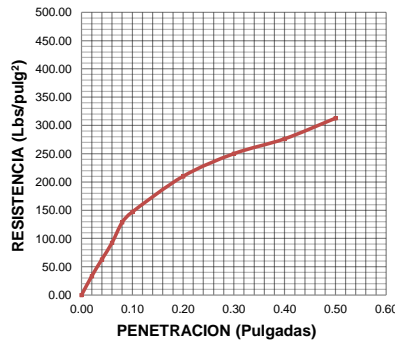
**DATOS DEL C.B.R.**

CBR al 100% de M.D.S. (%)	20.37
CBR al 95% de M.D.S. (%)	12.15

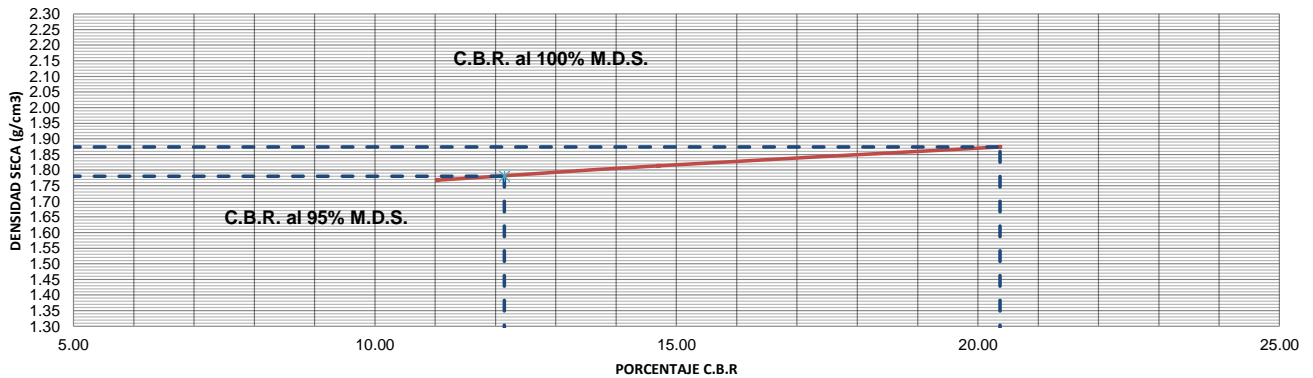
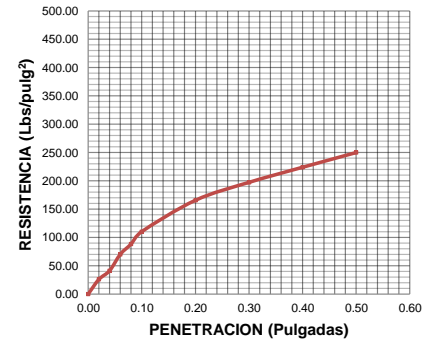
**56 GOLPES**



**25 GOLPES**



**12 GOLPES**



Técnico de Laboratorio:

CIEXLIAN Y LABORATORIO  
 Ing. Hermes Rojas Tiravanti  
 REG. CIP. 348840

CIEXLIAN Y LABORATORIO  
 Gilmer Yosi Vásquez Baldana  
 TÉCNICO EN LABORATORIO



**ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO**  
(MTC E-132 / A.S.T.M D 1883 / AASHTO- T 193)

CIEXLIAN S.R.L -  
LABORATORIO  
RUC : 20604291641  
CEL:950589432

**LABORATORIO MECANICA DE SUELOS Y CONCRETO**

**TESIS:** COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL SUELO TRATADO CON CAL SOMETIDO A DIFERENTES TEMPERATURAS DURANTE EL CURADO, SUBRASANTE DE LA CARRETERA CAMPAMENTO TÚNEL CONCHANO – SIVINGAN BAJO, CHOTA

**UBICACIÓN:** CARRETERA CAMPAMENTO TÚNEL CONCHANO – SIVINGAN BAJO, CHOTA

**SOLICITANTE:** JOSÉ RONALDO ESTELA TAN - EVER IVAN SÁNCHEZ VÁZQUEZ

**FECHA DE INFORME:** 16/09/2024

**S.N+5% DE CAL A TEMPERATURA AMBIENTE (4°C)**

**DATOS DE LA MUESTRA**

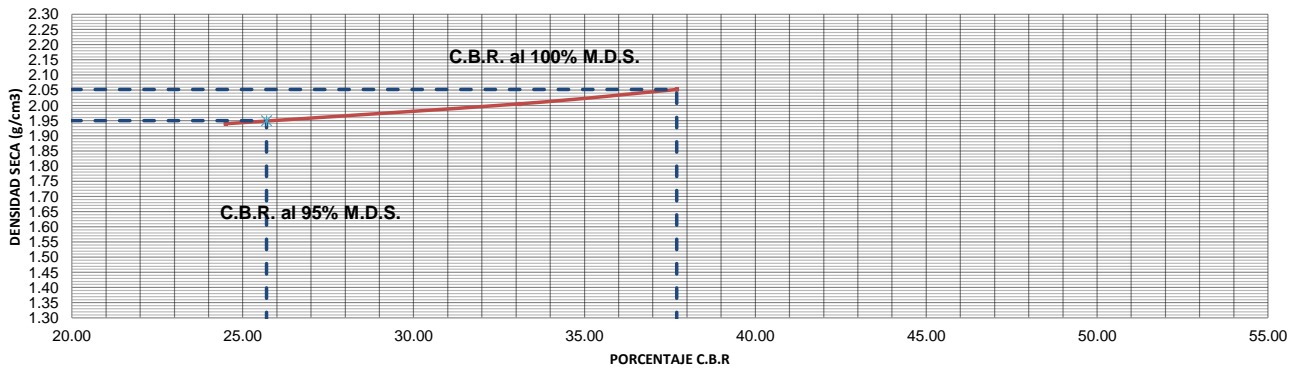
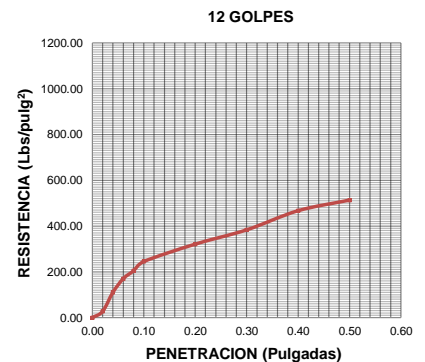
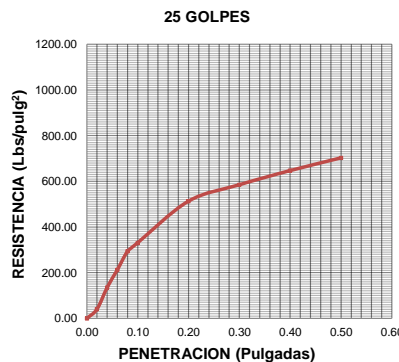
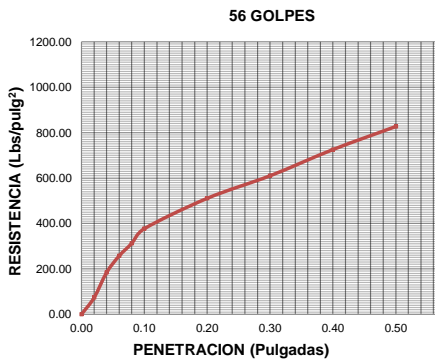
**Material:** C-1

**DATOS DEL PROCTOR**

DENSIDAD MAXIMA (gr/cm <sup>3</sup> )	2.05
HUMEDAD OPTIMA (%)	7.20

**DATOS DEL C.B.R.**

CBR al 100% de M.D.S. (%)	37.70
CBR al 95% de M.D.S. (%)	25.70



Técnico de Laboratorio: 0.00

CIEXLIAN Y LABORATORIO  
Ing. Hermes Rojas Tiravanti  
REG. CIP. 348840

CIEXLIAN Y LABORATORIO  
Guilmer Yoel Vásquez Baldaña  
TÉCNICO EN LABORATORIO



**ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO**  
(MTC E-132 / A.S.T.M D 1883 / AASHTO- T 193)

CIEXLIAN S.R.L -  
LABORATORIO  
RUC : 20604291641  
CEL:950589432

Pag: 1 de 1

**LABORATORIO MECANICA DE SUELOS Y CONCRETO**

**TESIS:** COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL SUELO TRATADO CON CAL SOMETIDO A DIFERENTES TEMPERATURAS DURANTE EL CURADO, SUBRASANTE DE LA CARRETERA CAMPAMENTO TÚNEL CONCHANO – SIVINGAN BAJO, CHOTA

**UBICACIÓN:** CARRETERA CAMPAMENTO TÚNEL CONCHANO – SIVINGAN BAJO, CHOTA

**SOLICITANTE:** JOSÉ RONALDO ESTELA TAN - EVER IVAN SÁNCHEZ VÁZQUEZ

**FECHA DE INFORME:** 16/09/2024

**S.N+5% DE CAL A TEMPERATURA AMBIENTE (16°C)**

**DATOS DE LA MUESTRA**

**Material:** C-1

**Fecha de Muestreo:** 5/09/2024

**Fecha de Recepción:** 5/09/2024

**Prof.(m):** 1.50-3.00 m

**C.B.R.**

MOLDE N°	4		5		6	
	56		25		12	
N° DE GOLPES POR CAPA						
CONDICION DE MUESTRA	SIN MOJAR	MOJADA	SIN MOJAR	MOJADA	SIN MOJAR	MOJADA
PESO MOLDE + SUELO HUMEDO (gr)	12213.40		12186.75		11986.16	
PESO DEL MOLDE (gr)	7545.00		7532.00		7562.00	
PESO DEL SUELO HUMEDO (gr)	4668.40		4654.75		4424.16	
VOLUMEN DEL SUELO (cm³)	2122.00		2165.00		2127.00	
DENSIDAD HUMEDA (gr/cm³)	2.20		2.15		2.08	
CAPSULA N°	1		3		5	
PESO CAPSULA + SUELO HUMEDO (gr)	72.54		78.40		77.37	
PESO CAPSULA + SUELO SECO (gr)	69.58		75.58		74.58	
PESO DE AGUA CONTENIDA (gr)	2.96		2.82		2.79	
PESO DE CAPSULA (gr)	28.25		36.25		35.69	
PESO DE SUELO SECO (gr)	41.33		39.33		38.89	
HUMEDAD (%)	7.15%		7.16%	7.15%	7.17%	
DENSIDAD SECA (gr/cm³)	2.05		2.01		1.94	

**EXPANSIÓN**

DÍAS	HORAS	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION	
			mm	%		mm	%		mm	%
c	0	0.00	0.00		0.000	0.00		0.000	0.00	
1	24	0.00	0.00		0.000	0.00		0.000	0.00	
2	48	0.00	0.00		0.000	0.00		0.000	0.00	
3	72	0.00	0.00		0.000	0.00		0.000	0.00	
4	96	0.00	0.00		0.000	0.00		0.000	0.00	
5	120	0.00	0.00		0.000	0.00		0.000	0.00	
6	144	0.00	0.00		0.000	0.00		0.000	0.00	
7	168	0.00	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.000

**PENETRACION**

PENETRACION	PULG.	CARGA ESTÁNDAR (Lbs/pulg²)	MOLDE N° 1				MOLDE N° 2				MOLDE N° 3			
			CARGA	CORECCION			CARGA	CORECCION			CARGA	CORECCION		
			Lectura	Lbs	lbs/pulg²	%	Lectura	Lbs	lbs/pulg²	%	Lectura	Lbs	lbs/pulg²	%
0			0	0	0		0.00	0	0		0.00	0	0	
0.020			90.25	199	66.33		65.25	144	48.00		36.98	82	27.33	
0.040			249.56	550	183.33		193.25	426	142.00		150.58	332	110.67	
0.060			360.25	794	264.67		289.32	638	212.67		231.25	510	170.00	
0.080			428.50	945	315.00		399.25	880	293.33		278.25	613	204.33	
0.100		1000	547.25	1206	402.00	40.20	466.25	1028	342.67	34.27	340.25	750	250.00	25.00
0.200			752.12	1658	552.67		698.69	1540	513.33		466.63	1029	343.00	
0.300			920.25	2029	676.33		796.25	1755	585.00		571.48	1260	420.00	
0.400			1056.98	2330	776.67		880.56	1941	647.00		685.48	1511	503.67	
0.500			1155.58	2548	849.33		956.00	2108	702.67		735.25	1621	540.33	

CIEXLIAN Y LABORATORIO  
 Ing. Hermes Rojas Tiravanti  
 REG. CIP 348840

CIEXLIAN Y LABORATORIO  
 Gilmer Yoel Vázquez Baldaña  
 TÉCNICO EN LABORATORIO



**ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO**  
(MTC E-132 / A.S.T.M D 1883 / AASHTO- T 193)

CIEXLIAN S.R.L -  
LABORATORIO  
RUC : 20604291641  
CEL:950589432

**LABORATORIO MECANICA DE SUELOS Y CONCRETO**

**TESIS:** COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL SUELO TRATADO CON CAL SOMETIDO A DIFERENTES TEMPERATURAS DURANTE EL CURADO, SUBRASANTE DE LA CARRETERA CAMPAMENTO TÚNEL CONCHANO – SIVINGAN BAJO, CHOTA

**UBICACIÓN:** CARRETERA CAMPAMENTO TÚNEL CONCHANO – SIVINGAN BAJO, CHOTA

**SOLICITANTE:** JOSÉ RONALDO ESTELA TAN - EVER IVAN SÁNCHEZ VÁZQUEZ

**FECHA DE INFORME:** 16/09/2024

**S.N+5% DE CAL A TEMPERATURA AMBIENTE (16°C)**

**DATOS DE LA MUESTRA**

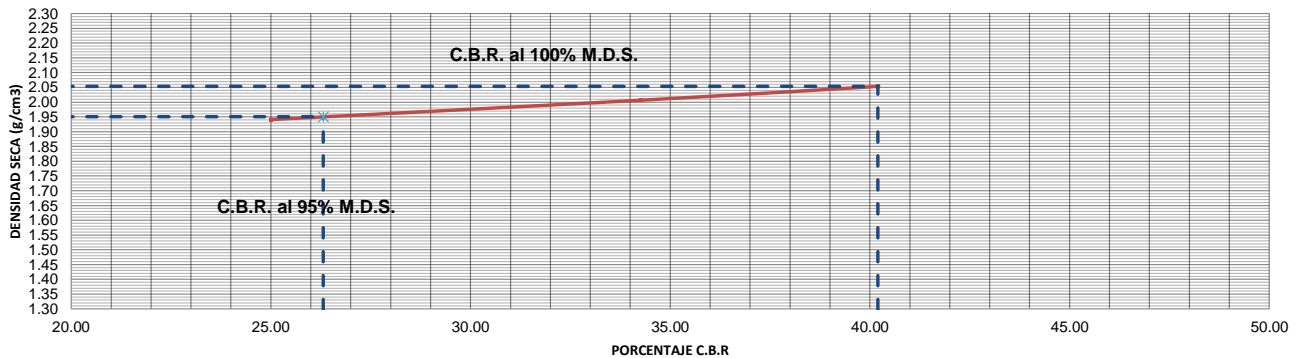
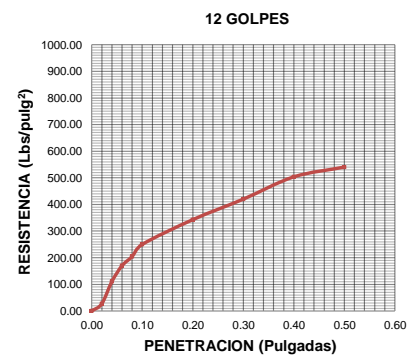
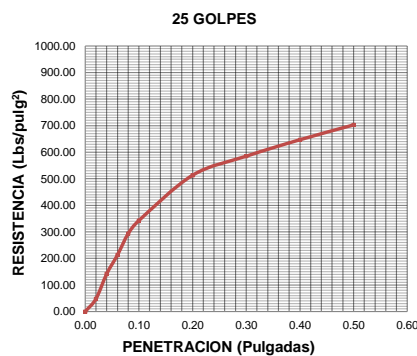
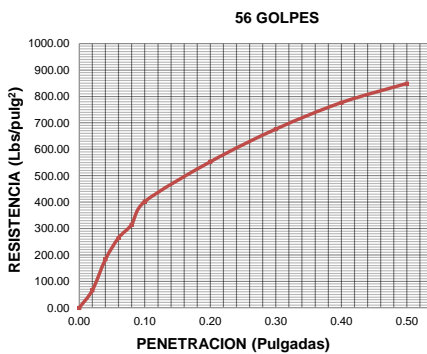
**Material:** C-1

**DATOS DEL PROCTOR**

DENSIDAD MAXIMA (gr/cm <sup>3</sup> )	2.05
HUMEDAD OPTIMA (%)	7.20

**DATOS DEL C.B.R.**

CBR al 100% de M.D.S. (%)	40.20
CBR al 95% de M.D.S. (%)	26.31



Técnico de Laboratorio: 0.00

CIEXLIAN Y LABORATORIO  
Ing. Hermes Rojas Tiravanti  
REG. CIP. 348840

CIEXLIAN Y LABORATORIO  
Guilmar Yoel Vázquez Baldaña  
TÉCNICO EN LABORATORIO



**CONTENIDO DE HUMEDAD DE LOS SUELOS**  
(A.S.T.M D 2216 / MTC E 107)

CIEXLIAN S.R.L - LABORATORIO  
RUC : 20604291641  
CEL:950589432

**LABORATORIO MECANICA DE SUELOS Y CONCRETO**

**TESIS:** COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL SUELO TRATADO CON CAL SOMETIDO A DIFERENTES TEMPERATURAS DURANTE EL CURADO, SUBRASANTE DE LA CARRETERA CAMPAMENTO TÚNEL CONCHANO – SIVINGAN BAJO, CHOTA

**UBICACIÓN:** CARRETERA CAMPAMENTO TÚNEL CONCHANO – SIVINGAN BAJO, CHOTA

**SOLICITANTE:** JOSÉ RONALDO ESTELA TAN - EVER IVAN SÁNCHEZ VÁZQUEZ

**FECHA DE INFORME:** 16/09/2024

S.N+5% DE CAL A TEMPERATURA AMBIENTE (18°C)

**DATOS DE LA MUESTRA**

**Material:** C-1

**Muestra/Calicata:** CA-1

**Fecha de Muestreo:** 5/09/2024

**Fecha de Recepción:** 5/09/2024

**Prof.(m):** 1.50-3.00 m

Descripcion	Und.	Ensayos				Promedio
Tara	Nº	T1				
Peso Material Humedo + Tara (A)	gr.	226.0				
Peso Material Seco + Tara (B)	gr.	210.0				
Peso de Agua (A-B)	gr.	16.0				
Peso de Tara ©	gr.	102.3				
Peso Neto de Material Seco (B -C)	gr.	107.7				
Porcentaje de Humedad (A-B)/(B-C)*100	%	14.89%				14.89%

**OBSERVACIONES :**

Porcentaje de Humedad: 14 14.89%

La condición de secado de la muestra fue en Horno a 110C° +- 5C°

**Técnico de Laboratorio:**

**Firma:**

CIEXLIAN Y LABORATORIO  
Ing. Hermes Rojas Tiravanti  
REG. CIP. 348840

CIEXLIAN Y LABORATORIO  
Guimer Yoel Vásquez Baldana  
TÉCNICO EN LABORATORIO

**LABORATORIO MECANICA DE SUELOS Y CONCRETO**

COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL SUELO TRATADO CON CAL SOMETIDO A DIFERENTES TEMPERATURAS DURANTE EL CURADO, SUBRASANTE DE LA CARRETERA CAMPAMENTO TÚNEL CONCHANO – SIVINGAN BAJO, CHOTA

TESIS:

**UBICACIÓN:** CARRETERA CAMPAMENTO TÚNEL CONCHANO – SIVINGAN BAJO, CHOTA

**CLIENTE:** JOSÉ RONALDO ESTELA TAN - EVER IVAN SÁNCHEZ VÁZQUEZ

**FECHA DE INFORME:** 16/09/2024

**S.N+5% DE CAL A TEMPERATURA AMBIENTE (2°C)**

**DATOS DE LA MUESTRA**

**Muestra/Calicata:** CA-1

**Fecha de Muestreo:** 5/09/2024

**Fecha de Recepción:** 5/09/2024

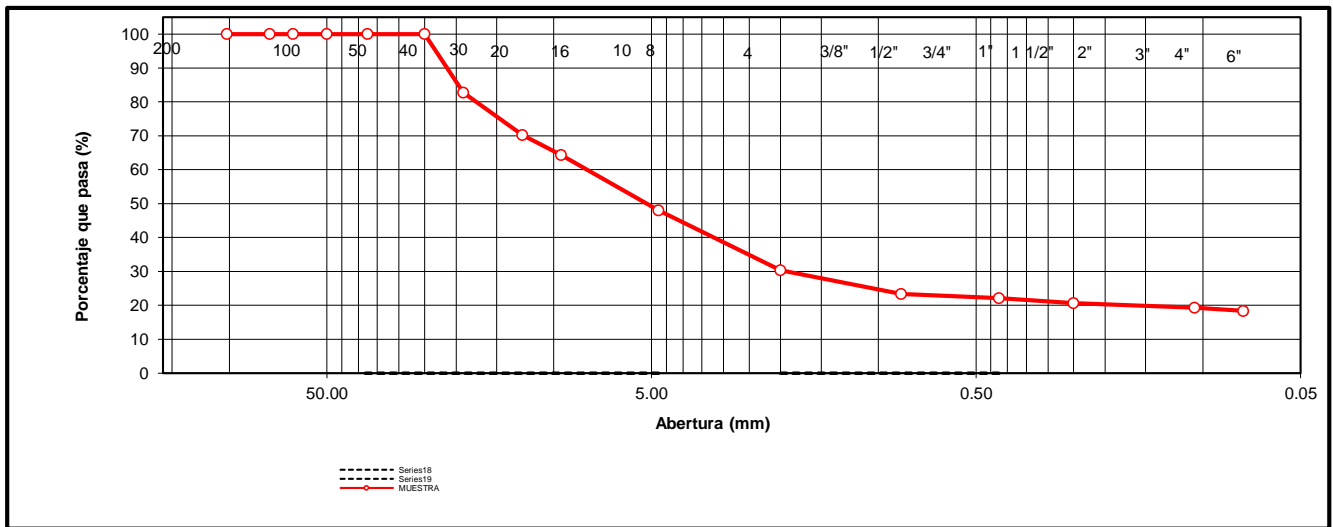
**Prof.(m):** 1.50-3.00 m

**Tamaño Máximo:** 1"

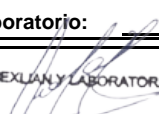
**Peso Inicial Seco:** 2000 gr.

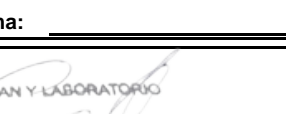
TAMIZ	ABERTURA	PESO	PORCENTAJE	RETENIDO	PORCENTAJE	ESPECIFICACION	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
A.S.T.M	(mm)	RETENIDO	RETENIDO	ACUMULADO	QUE PASA	Tipo:	
4"	101.600	0	0.00	0.00	100.00		<b>OBSERVACIONES :</b>
3"	75.000	0.00	0.00	0.00	100.00		Bolonería 4" - 3" : 0.00 %
2 1/2"	63.500	0.00	0.00	0.00	100.00		Grava 3" - Nº 4 : 51.95 %
2"	50.000	0.00	0.00	0.00	100.00		Arena Nº4 - Nº 200 : 29.65 %
1 1/2"	37.500	0.00	0.00	0.00	100.00		Finos < Nº 200 : 18.40 %
1"	25.000	0.00	0.00	0.00	100.00		A. gruesa Nº 4 - Nº 10 : 17.70 %
3/4"	19.000	345.00	17.25	17.25	82.75		A. media Nº 10 - Nº 40 : 8.20 %
1/2"	12.500	249.00	12.45	29.70	70.30		A. fina Nº 40 - Nº 200 : 3.75 %
3/8"	9.500	120.00	6.00	35.70	64.30		
Nº 4	4.750	325.00	16.25	51.95	48.05		<b>CARACTERISTICAS:</b>
Nº 8	2.360	183.00	9.15	61.10	38.90		LL (ASTM D4318-17): 27.20 %
Nº 10	2.000	171.00	8.55	69.65	30.35		LP (ASTM D4318-17): 18.26 %
Nº 16	1.190	110.00	5.50	75.15	24.85		IP (ASTM D4318-17): 8.94 %
Nº 20	0.850	30.00	1.50	76.65	23.35		
Nº 30	0.600	18.00	0.90	77.55	22.45		Clasificación (SUCS) : GC
Nº 40	0.425	6.00	0.30	77.85	22.15		
Nº 60	0.250	30.00	1.50	79.35	20.65		
Nº 140	0.106	27.00	1.35	80.70	19.30		
Nº 200	0.075	18.00	0.90	81.60	18.40		
< Nº 200	FONDO	368.00	18.40	100.00	0.00		

**CURVA DE DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA**



**OBSERVACIONES:** Tamaño Máximo de partículas: 1"

**Técnico de Laboratorio:**  
  
 Ing. Hermes Rojas Tiravanti  
 REG. CIP. 348840

**Firma:**  
  
 Guilmer Yoel Vázquez Baldaña  
 TÉCNICO EN LABORATORIO

**LABORATORIO MECANICA DE SUELOS Y CONCRETO**

**MATERIAL:**

COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL SUELO TRATADO CON CAL SOMETIDO A DIFERENTES TEMPERATURAS DURANTE EL CURADO, SUBRASANTE DE LA CARRETERA CAMPAMENTO TÚNEL CONCHANO – SIVINGAN BAJO, CHOTA

**UBICACIÓN:** CARRETERA CAMPAMENTO TÚNEL CONCHANO – SIVINGAN BAJO, CHOTA

**CLIENTE:** JOSÉ RONALDO ESTELA TAN - EVER IVAN SÁNCHEZ VÁZQUEZ

**FECHA DE INF:** 16/09/2024

**S.N+5% DE CAL A TEMPERATURA AMBIENTE (2°C)**

**DATOS DE LA MUESTRA**

**Muestra/Calicata:** CA-1  
**Fecha de Muestreo:** 5/09/2024  
**Prof.(m):** 1.50-3.00 m

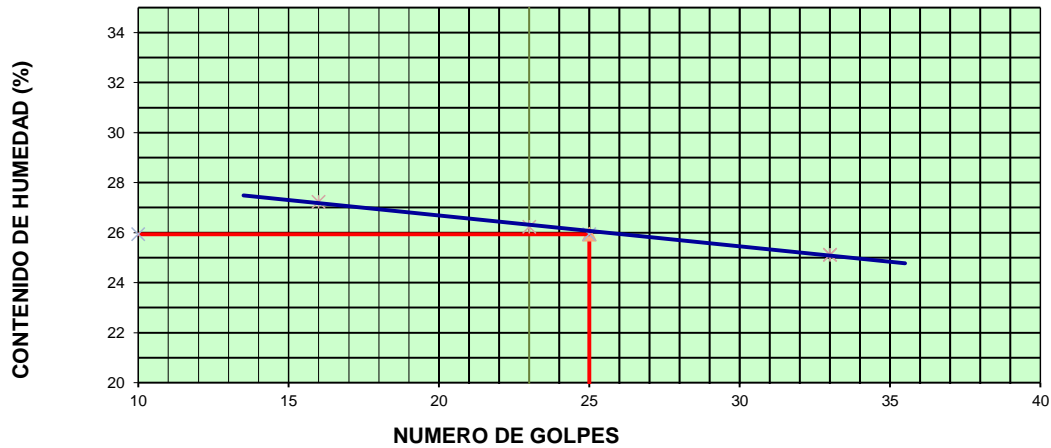
**LIMITE LIQUIDO**

Descripción	Und	Ensayos			Observaciones
		T- 10	T- 03	T- 4	
Nº TARRO					
PESO TARRO + SUELO HUMEDO	(g)	36.58	32.25	35.41	
PESO TARRO + SUELO SECO	(g)	31.95	28.60	31.25	
PESO DE AGUA	(g)	4.63	3.65	4.16	
PESO DE LA TARA	(g)	14.94	14.67	14.67	
PESO DEL SUELO SECO	(g)	17.01	13.93	16.58	
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	27.23	26.23	25.10	
NUMERO DE GOLPES		16	23	33	

**LIMITE PLASTICO**

Descripción	Und	Ensayos		Observaciones
		T-88	T-20	
Nº TARRO				
PESO TARRO + SUELO HUMEDO	(g)	13.97	15.56	
PESO TARRO + SUELO SECO	(g)	13.85	15.49	
PESO DE AGUA	(g)	0.12	0.07	
PESO DE LA TARA	(g)	13.14	15.07	
PESO DEL SUELO SECO	(g)	0.71	0.42	
CONTENIDO DE DE HUMEDAD	(%)	17.56	17.48	

**CONTENIDO DE HUMEDAD A 25 GOLPES**



**CONSTANTES FISICAS DE LA MUESTRA**

LIMITE LIQUIDO	%	25.93
LIMITE PLASTICO	%	17.52
INDICE DE PLASTICIDAD	%	8.41

**OBSERVACIONES:**

La condición de secado de la muestra fue en Horno a 110C° +- 5C°

**Técnico de Laboratorio:**

**Firma:**

CIEXLIAN Y LABORATORIO  
Ing. Hermés Rojas Tiravanti  
REG. CIP 348840

CIEXLIAN Y LABORATORIO  
Gilmer Yoel Vázquez Baldana  
TÉCNICO EN LABORATORIO



ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO (ASTM D-1557)

CIEXLIAN S.R.L - LABORATORIO
RUC : 20604291641
CEL:950589432
CORREO:ciexlianlab@gmail.com

LABORATORIO MECANICA DE SUELOS Y CONCRETO

MATERIAL: COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL SUELO TRATADO CON CAL SOMETIDO A DIFERENTES TEMPERATURAS DURANTE EL CURADO, SUBRASANTE DE LA CARRETERA CAMPAMENTO TÚNEL CONCHANO - SIVINGAN BAJO, CHOTA
UBICACIÓN: CARRETERA CAMPAMENTO TÚNEL CONCHANO - SIVINGAN BAJO, CHOTA
SOLICITANTE: JOSÉ RONALDO ESTELA TAN - EVER IVAN SÁNCHEZ VÁZQUEZ FECHA DE INFORME 16/09/2024

S.N+5% DE CAL A TEMPERATURA AMBIENTE (°C)

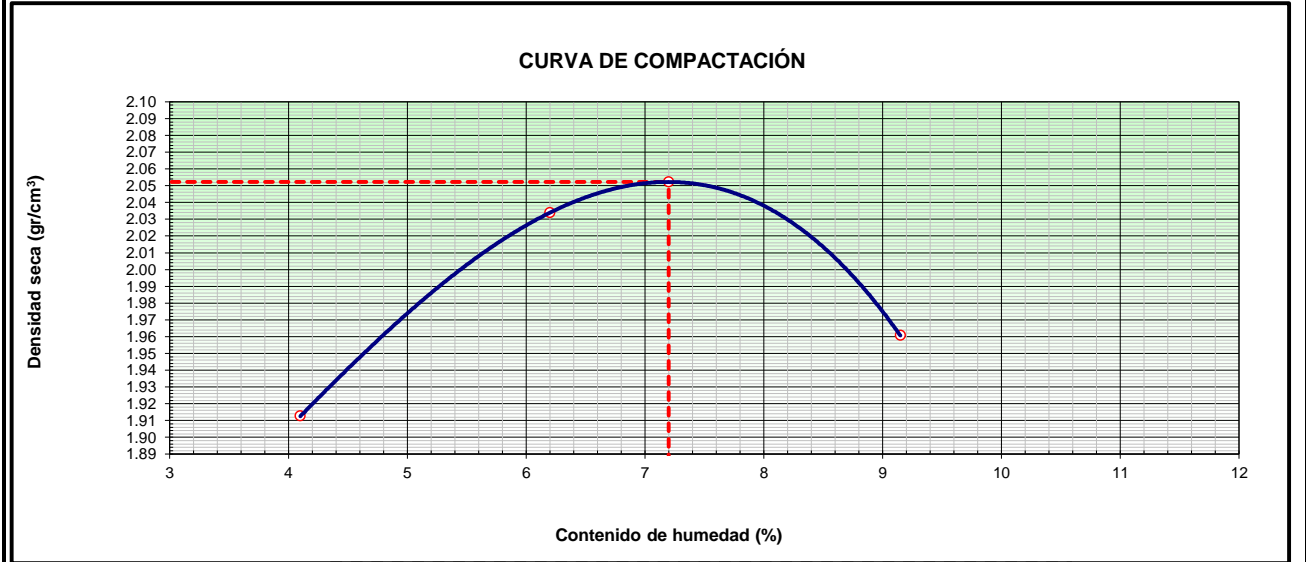
DATOS DE LA MUESTRA

Material: C-1 Muestra/Calicata: CA-1
Fecha de Muestreo: 5/09/2024 Prof.(m): 1.50-3.00 m

METODO DE COMPACTACION: C Peso de Martillo (gr): 4536.4
Tipo de pisón: Manual Diam. Mold. 15.14 Vol. Mold. 2122.32
Peso del Molde (gr): 6690 (cm): (cm3):

Table with 7 columns: Test ID, 1, 2, 3, 4, OBSERVACION. Rows include: Peso suelo + molde, Peso neto del suelo húmedo, Peso volumétrico húmedo, Tara, Peso del suelo húmedo+tara, Peso del suelo seco + tara, Peso de Tara, Peso de agua, Peso del suelo seco, Contenido de Humedad, Peso volumétrico seco.

Máxima Densidad Seca (gr/cm³) : 2.05
Óptimo Contenido de Humedad (%): 7.2



OBSERVACIONES :

Técnico de Laboratorio: Firma:

CIEXLIAN Y LABORATORIO
Ing. Hermes Rojas Tiravanti
REG. CIP 348840

CIEXLIAN Y LABORATORIO
Guilmer Yoel Vázquez Baldana
TÉCNICO EN LABORATORIO



**ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO**  
(MTC E-132 / A.S.T.M D 1883 / AASHTO- T 193)

CIEXLIAN S.R.L -  
LABORATORIO  
RUC : 20604291641  
CEL:950589432

**LABORATORIO MECANICA DE SUELOS Y CONCRETO**

**TESIS:** COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL SUELO TRATADO CON CAL SOMETIDO A DIFERENTES TEMPERATURAS DURANTE EL CURADO, SUBRASANTE DE LA CARRETERA CAMPAMENTO TÚNEL CONCHANO – SIVINGAN BAJO, CHOTA

**UBICACIÓN:** CARRETERA CAMPAMENTO TÚNEL CONCHANO – SIVINGAN BAJO, CHOTA

**SOLICITANTE:** JOSÉ RONALDO ESTELA TAN - EVER IVAN SÁNCHEZ VÁZQUEZ **FECHA DE INFORME:** 16/09/2024

**S.N+5% DE CAL A TEMPERATURA AMBIENTE (2°C)**

**DATOS DE LA MUESTRA**

**Material:** C-1

**Fecha de Muestreo:** 5/09/2024 **Fecha de Recepción:** 5/09/2024 **Prof.(m):** 1.50-3.00 m

**C.B.R.**

MOLDE N°	4		5		6	
	56		25		12	
N° DE GOLPES POR CAPA	56		25		12	
CONDICION DE MUESTRA	SIN MOJAR	MOJADA	SIN MOJAR	MOJADA	SIN MOJAR	MOJADA
PESO MOLDE + SUELO HUMEDO (gr)	12271.84		12272.05		12011.70	
PESO DEL MOLDE (gr)	7561.00		7574.00		7545.00	
PESO DEL SUELO HUMEDO (gr)	4710.84		4698.05		4466.70	
VOLUMEN DEL SUELO (cm³)	2122.00		2165.00		2127.00	
DENSIDAD HUMEDA (gr/cm³)	2.22		2.17		2.10	
CAPSULA N°	1		3		5	
PESO CAPSULA + SUELO HUMEDO (gr)	57.98		52.72		70.53	
PESO CAPSULA + SUELO SECO (gr)	55.25		50.25		68.25	
PESO DE AGUA CONTENIDA (gr)	2.73		2.47		2.28	
PESO DE CAPSULA (gr)	16.25		15.35		36.25	
PESO DE SUELO SECO (gr)	39.00		34.90		32.00	
HUMEDAD (%)	7.00%	6.98%	7.08%		7.12%	
DENSIDAD SECA (gr/cm³)	2.07		2.03		1.96	

**EXPANSIÓN**

DÍAS	HORAS	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION	
			mm	%		mm	%		mm	%
c	0	0.00	0.00		0.000	0.00		0.000	0.00	
1	24	0.00	0.00		0.000	0.00		0.000	0.00	
2	48	0.00	0.00		0.000	0.00		0.000	0.00	
3	72	0.00	0.00		0.000	0.00		0.000	0.00	
4	96	0.00	0.00		0.000	0.00		0.000	0.00	
5	120	0.00	0.00		0.000	0.00		0.000	0.00	
6	144	0.00	0.00		0.000	0.00		0.000	0.00	
7	168	0.00	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.000

**PENETRACION**

PENETRACION	PULG.	CARGA ESTÁNDAR (Lbs/pulg²)	MOLDE N° 1			MOLDE N° 2				MOLDE N° 3				
			CARGA	CORECCION		CARGA	CORECCION			CARGA	CORECCION			
			Lectura	Lbs	lbs/pulg²	%	Lectura	Lbs	lbs/pulg²	%	Lectura	Lbs	lbs/pulg²	%
0			0	0	0		0.00	0	0		0.00	0	0	
0.020			110.25	243	81.00		77.89	172	57.33		55.25	122	40.67	
0.040			223.99	494	164.67		155.69	343	114.33		132.00	291	97.00	
0.060			390.45	861	287.00		286.25	631	210.33		199.00	439	146.33	
0.080			482.25	1063	354.33		404.25	891	297.00		265.48	585	195.00	
0.100		1000	570.89	1259	419.67	41.97	470.56	1037	345.67	34.57	356.58	786	262.00	26.20
0.200			872.60	1924	641.33		663.21	1462	487.33		520.25	1147	382.33	
0.300			1058.80	2334	778.00		791.50	1745	581.67		620.50	1368	456.00	
0.400			1185.00	2612	870.67		885.21	1952	650.67		735.88	1622	540.67	
0.500			1250.00	2756	918.67		969.50	2137	712.33		802.65	1770	590.00	

CIEXLIAN Y LABORATORIO  
 Ing. Hermel Rojas Tiravanti  
 REG. CIP. 348840

CIEXLIAN Y LABORATORIO  
 Gilmer Yoel Vásquez Baldana  
 TÉCNICO EN LABORATORIO



**ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO**  
(MTC E-132 / A.S.T.M D 1883 / AASHTO-T 193)

CIEXLIAN S.R.L -  
LABORATORIO  
RUC : 20604291641  
CEL:950589432

**LABORATORIO MECANICA DE SUELOS Y CONCRETO**

**TESIS:** COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL SUELO TRATADO CON CAL SOMETIDO A DIFERENTES TEMPERATURAS DURANTE EL CURADO, SUBRASANTE DE LA CARRETERA CAMPAMENTO TÚNEL CONCHANO – SIVINGAN BAJO, CHOTA

**UBICACIÓN:** CARRETERA CAMPAMENTO TÚNEL CONCHANO – SIVINGAN BAJO, CHOTA

**SOLICITANTE:** JOSÉ RONALDO ESTELA TAN - EVER IVAN SÁNCHEZ VÁZQUEZ

**FECHA DE INFORME:** 16/09/2024

**S.N+5% DE CAL A TEMPERATURA AMBIENTE (2°C)**

**DATOS DE LA MUESTRA**

**Material:** C-1

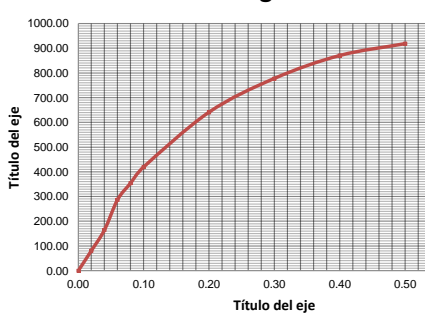
**DATOS DEL PROCTOR**

DENSIDAD MAXIMA (gr/cm <sup>3</sup> )	2.05
HUMEDAD OPTIMA (%)	7.20

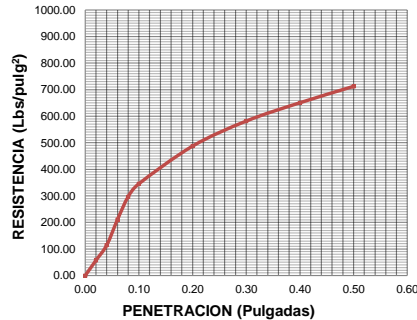
**DATOS DEL C.B.R.**

CBR al 100% de M.D.S. (%)	41.97
CBR al 95% de M.D.S. (%)	27.66

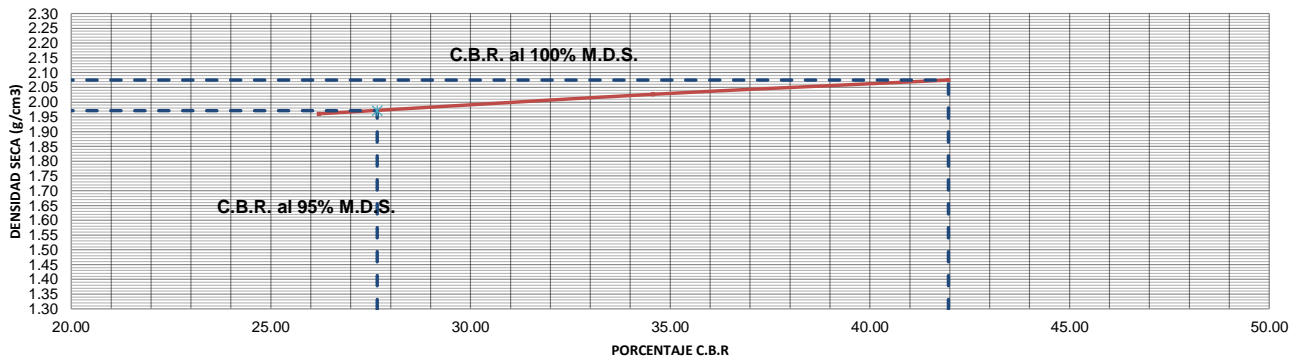
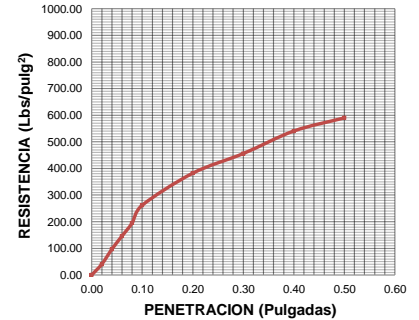
**Título del gráfico**



**25 GOLPES**



**12 GOLPES**



Técnico de Laboratorio:

CIEXLIAN Y LABORATORIO  
Ing. Hermes Rojas Tiravanti  
REG. CIP. 348840

CIEXLIAN Y LABORATORIO  
Gulmer Yosi Vázquez Baldaña  
TÉCNICO EN LABORATORIO



**ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO  
(MTC E-132 / A.S.T.M D 1883 / AASHTO- T 193)**

CIEXLIAN S.R.L -  
LABORATORIO  
RUC : 20604291641  
CEL:950589432

**LABORATORIO MECANICA DE SUELOS Y CONCRETO**

**TESIS:** COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL SUELO TRATADO CON CAL SOMETIDO A DIFERENTES TEMPERATURAS DURANTE EL CURADO, SUBRASANTE DE LA CARRETERA CAMPAMENTO TÚNEL CONCHANO – SIVINGAN BAJO, CHOTA

**UBICACIÓN:** CARRETERA CAMPAMENTO TÚNEL CONCHANO – SIVINGAN BAJO, CHOTA

**SOLICITANTE:** JOSÉ RONALDO ESTELA TAN - EVER IVAN SÁNCHEZ VÁZQUEZ **FECHA DE INFORME:** 16/09/2024

**S.N+5% DE CAL A TEMPERATURA AMBIENTE (24°C)**

**DATOS DE LA MUESTRA**

**Material:** C-1  
**Fecha de Muestreo:** 5/09/2024 **Fecha de Recepción:** 5/09/2024 **Prof.(m):** 1.50-3.00 m

**C.B.R.**

MOLDE N°	4		5		6	
	56		25		12	
N° DE GOLPES POR CAPA	SIN MOJAR	MOJADA	SIN MOJAR	MOJADA	SIN MOJAR	MOJADA
CONDICION DE MUESTRA						
PESO MOLDE + SUELO HUMEDO (gr)	12329.50		12272.05		12086.24	
PESO DEL MOLDE (gr)	7555.00		7538.00		7577.00	
PESO DEL SUELO HUMEDO (gr)	4774.50		4734.05		4509.24	
VOLUMEN DEL SUELO (cm <sup>3</sup> )	2122.00		2165.00		2127.00	
DENSIDAD HUMEDA (gr/cm <sup>3</sup> )	2.25	2.25	2.19	2.19	2.12	2.14
CAPSULA N°	1		3		5	
PESO CAPSULA + SUELO HUMEDO (gr)	75.80		70.30		61.72	
PESO CAPSULA + SUELO SECO (gr)	73.25		66.66		58.99	
PESO DE AGUA CONTENIDA (gr)	2.55		3.64		2.73	
PESO DE CAPSULA (gr)	36.25		12.25		18.25	
PESO DE SUELO SECO (gr)	37.00		54.41		40.74	
HUMEDAD (%)	6.88%	6.88%	6.69%		6.70%	
DENSIDAD SECA (gr/cm <sup>3</sup> )	2.11		2.05		1.99	

**EXPANSIÓN**

DÍAS	HORAS	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION	
			mm	%		mm	%		mm	%
c	0	0.00	0.00		0.000	0.00		0.000	0.00	
1	24	0.00	0.00		0.000	0.00		0.000	0.00	
2	48	0.00	0.00		0.000	0.00		0.000	0.00	
3	72	0.00	0.00		0.000	0.00		0.000	0.00	
4	96	0.00	0.00		0.000	0.00		0.000	0.00	
5	120	0.00	0.00		0.000	0.00		0.000	0.00	
6	144	0.00	0.00		0.000	0.00		0.000	0.00	
7	168	0.00	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.000

**PENETRACION**

PENETRACION	PULG.	CARGA ESTÁNDAR (Lbs/pulg <sup>2</sup> )	MOLDE N° 1				MOLDE N° 2				MOLDE N° 3			
			CARGA	CORECCION			CARGA	CORECCION			CARGA	CORECCION		
				Lectura	Lbs	lbs/pulg <sup>2</sup>		%	Lectura	Lbs		lbs/pulg <sup>2</sup>	%	Lectura
0		0	0	0	0	0.00	0	0	0	0.00	0	0	0	
0.020		120.23	265	88.33		99.25	219	73.00		65.25	144	48.00		
0.040		298.00	657	219.00		200.58	442	147.33		166.88	368	122.67		
0.060		400.00	882	294.00		350.56	773	257.67		288.00	635	211.67		
0.080		521.40	1149	383.00		426.00	939	313.00		345.90	763	254.33		
0.100	1000	625.25	1378	459.33	45.93	523.25	1154	384.67	38.47	378.9	835	278.33	27.83	
0.200		864.50	1906	635.33		740.58	1633	544.33		540.66	1192	397.33		
0.300		1087.65	2398	799.33		860.25	1897	632.33		635.00	1400	466.67		
0.400		1230.50	2713	904.33		1000.35	2205	735.00		752.58	1659	553.00		
0.500		1354.2	2985	995.00		1158.65	2554	851.33		869.58	1917	639.00		

CIEXLIAN Y LABORATORIO  
 Ing. Hermés Rojas Tiravanti  
 REG. CIP. 348840

CIEXLIAN Y LABORATORIO  
 Guímer Yael Vázquez Baldaña  
 TÉCNICO EN LABORATORIO



**ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO**  
(MTC E-132 / A.S.T.M D 1883 / AASHTO- T 193)

CIEXLIAN S.R.L -  
LABORATORIO  
RUC : 20604291641  
CEL:950589432

**LABORATORIO MECANICA DE SUELOS Y CONCRETO**

**TESIS:** COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL SUELO TRATADO CON CAL SOMETIDO A DIFERENTES TEMPERATURAS DURANTE EL CURADO, SUBRASANTE DE LA CARRETERA CAMPAMENTO TÚNEL CONCHANO – SIVINGAN BAJO, CHOTA

**UBICACIÓN:** CARRETERA CAMPAMENTO TÚNEL CONCHANO – SIVINGAN BAJO, CHOTA

**SOLICITANTE:** JOSÉ RONALDO ESTELA TAN - EVER IVAN SÁNCHEZ VÁZQUEZ

**FECHA DE INFORME:** 16/09/2024

**S.N+5% DE CAL A TEMPERATURA AMBIENTE (24°C)**

**DATOS DE LA MUESTRA**

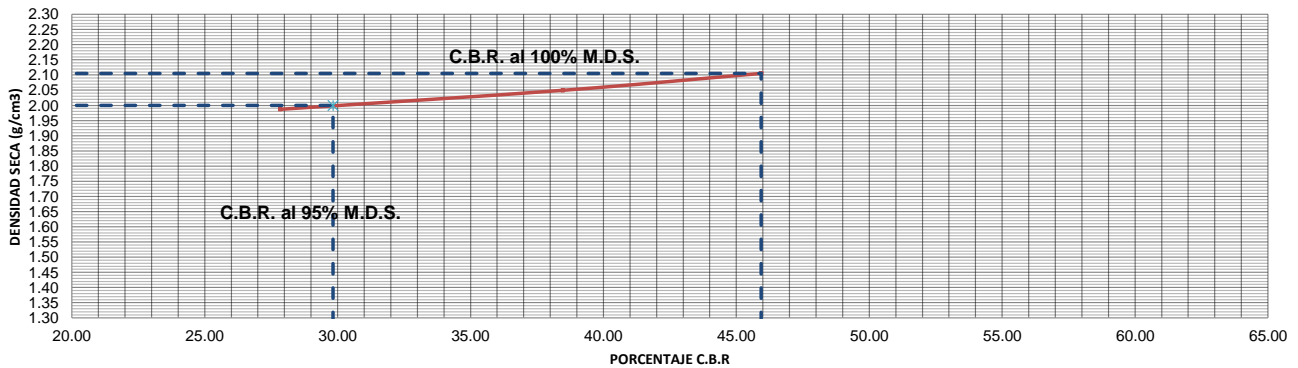
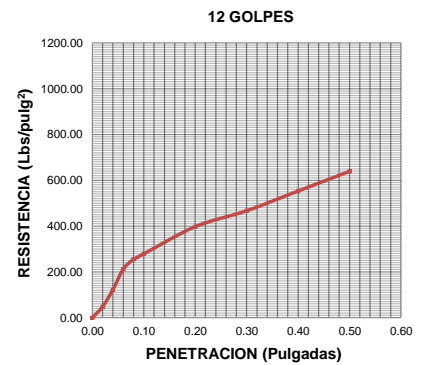
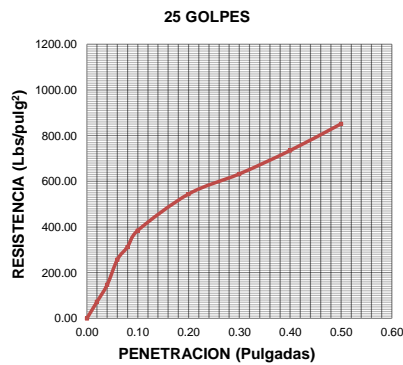
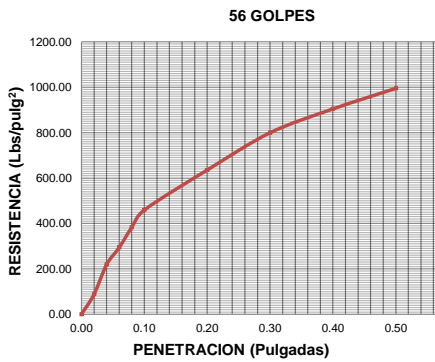
**Material:** C-1

**DATOS DEL PROCTOR**

DENSIDAD MAXIMA (gr/cm <sup>3</sup> )	2.05
HUMEDAD OPTIMA (%)	7.20

**DATOS DEL C.B.R.**

CBR al 100% de M.D.S. (%)	45.93
CBR al 95% de M.D.S. (%)	29.83



Técnico de Laboratorio:

CIEXLIAN Y LABORATORIO  
Ing. Hermes Rojas Tiravanti  
REG. CIP. 348840

CIEXLIAN Y LABORATORIO  
Gulmar Yoel Vásquez Baldaña  
TÉCNICO EN LABORATORIO



**ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO  
(MTC E-132 / A.S.T.M D 1883 / AASHTO- T 193)**

CIEXLIAN S.R.L -  
LABORATORIO  
RUC : 20604291641  
CEL:950589432

Pag: 9 de 9

**LABORATORIO MECANICA DE SUELOS Y CONCRETO**

**TESIS:** COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL SUELO TRATADO CON CAL SOMETIDO A DIFERENTES TEMPERATURAS DURANTE EL CURADO, SUBRASANTE DE LA CARRETERA CAMPAMENTO TÚNEL CONCHANO – SIVINGAN BAJO, CHOTA

**UBICACIÓN:** CARRETERA CAMPAMENTO TÚNEL CONCHANO – SIVINGAN BAJO, CHOTA

**SOLICITANTE:** JOSÉ RONALDO ESTELA TAN - EVER IVAN SÁNCHEZ VÁZQUEZ **FECHA DE INFORME:** 16/09/2024

**S.N+5% DE CAL A TEMPERATURA AMBIENTE (30°C)**

**DATOS DE LA MUESTRA**

**Material:** C-1  
**Fecha de Muestreo:** 5/09/2024 **Fecha de Recepción:** 5/09/2024 **Prof.(m):** 1.50-3.00 m

**C.B.R.**

MOLDE N°	4		5		6	
	56		25		12	
N° DE GOLPES POR CAPA						
CONDICION DE MUESTRA	SIN MOJAR	MOJADA	SIN MOJAR	MOJADA	SIN MOJAR	MOJADA
PESO MOLDE + SUELO HUMEDO (gr)	12435.60		12409.25		12213.86	
PESO DEL MOLDE (gr)	7555.00		7538.00		7577.00	
PESO DEL SUELO HUMEDO (gr)	4880.60		4871.25		4636.86	
VOLUMEN DEL SUELO (cm <sup>3</sup> )	2122.00		2165.00		2127.00	
DENSIDAD HUMEDA (gr/cm <sup>3</sup> )	2.30		2.25	2.19	2.18	2.14
CAPSULA N°	1		3		5	
PESO CAPSULA + SUELO HUMEDO (gr)	707.34		65.24		69.75	
PESO CAPSULA + SUELO SECO (gr)	668.25		62.35		66.66	
PESO DE AGUA CONTENIDA (gr)	39.09		2.89		3.09	
PESO DE CAPSULA (gr)	27.45		15.09		16.25	
PESO DE SUELO SECO (gr)	640.80		47.26		50.41	
HUMEDAD (%)	6.10%	6.00%	6.11%		6.12%	
DENSIDAD SECA (gr/cm <sup>3</sup> )	2.17		2.12		2.05	

**EXPANSIÓN**

DÍAS	HORAS	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION	
			mm	%		mm	%		mm	%
c	0	0.00	0.00		0.000	0.00		0.000	0.00	
1	1	0.00	0.00		0.000	0.00		0.000	0.00	
2	2	0.00	0.00		0.000	0.00		0.000	0.00	
3	3	0.00	0.00		0.000	0.00		0.000	0.00	
4	4	0.00	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.000

**PENETRACION**

PENETRACION PULG.	CARGA ESTÁNDAR (Lbs/pulg <sup>2</sup> )	MOLDE N° 1				MOLDE N° 2				MOLDE N° 3			
		CARGA	CORECCION			CARGA	CORECCION			CARGA	CORECCION		
		Lectura	Lbs	lbs/pulg <sup>2</sup>	%	Lectura	Lbs	lbs/pulg <sup>2</sup>	%	Lectura	Lbs	lbs/pulg <sup>2</sup>	%
0		0	0	0		0.00	0	0		0.00	0	0	
0.020		256	564	188.00		150.68	332	110.67		80.98	179	59.67	
0.040		370.45	817	272.33		220.25	486	162.00		169.58	374	124.67	
0.060		530.25	1169	389.67		354.47	781	260.33		300.14	662	220.67	
0.080		670.25	1478	492.67		470.35	1037	345.67		388.25	856	285.33	
0.100	1000	770.25	1698	566.00	56.60	580.25	1279	426.33	42.63	435.25	960	320.00	32.00
0.200	1500	1050.25	2315	771.67		820.35	1809	603.00		623.25	1374	458.00	
0.300		1320.25	2911	970.33		980.35	2161	720.33		770.25	1698	566.00	
0.400		1508.50	3326	1108.67		1100.58	2426	808.67		890.58	1963	654.33	
0.500		1658	3655	1218.33		1220.58	2691	897.00		950	2094	698.00	

CIEXLIAN Y LABORATORIO  
Ing. Hermes Rojas Tiravanti  
REG. CIP 348840

CIEXLIAN Y LABORATORIO  
Guilmer Yoa Vázquez Baldana  
TÉCNICO EN LABORATORIO



**ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO**  
(MTC E-132 / A.S.T.M D 1883 / AASHTO- T 193)

CIEXLIAN S.R.L -  
LABORATORIO  
RUC : 20604291641  
CEL:950589432

**LABORATORIO MECANICA DE SUELOS Y CONCRETO**

**TESIS:** COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL SUELO TRATADO CON CAL SOMETIDO A DIFERENTES TEMPERATURAS DURANTE EL CURADO, SUBRASANTE DE LA CARRETERA CAMPAMENTO TÚNEL CONCHANO – SIVINGAN BAJO, CHOTA

**UBICACIÓN:** CARRETERA CAMPAMENTO TÚNEL CONCHANO – SIVINGAN BAJO, CHOTA

**SOLICITANTE:** JOSÉ RONALDO ESTELA TAN - EVER IVAN SÁNCHEZ VÁZQUEZ

**FECHA DE INFORME:** 16/09/2024

**S.N+5% DE CAL A TEMPERATURA AMBIENTE (30°C)**

**DATOS DE LA MUESTRA**

**Material:** C-1

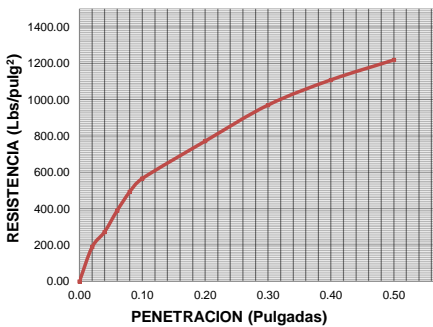
**DATOS DEL PROCTOR**

DENSIDAD MAXIMA (gr/cm <sup>3</sup> )	2.05
HUMEDAD OPTIMA (%)	7.20

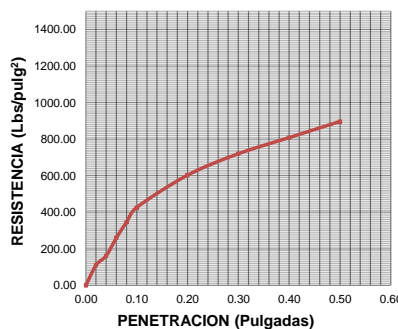
**DATOS DEL C.B.R.**

CBR al 100% de M.D.S. (%)	56.60
CBR al 95% de M.D.S. (%)	33.11

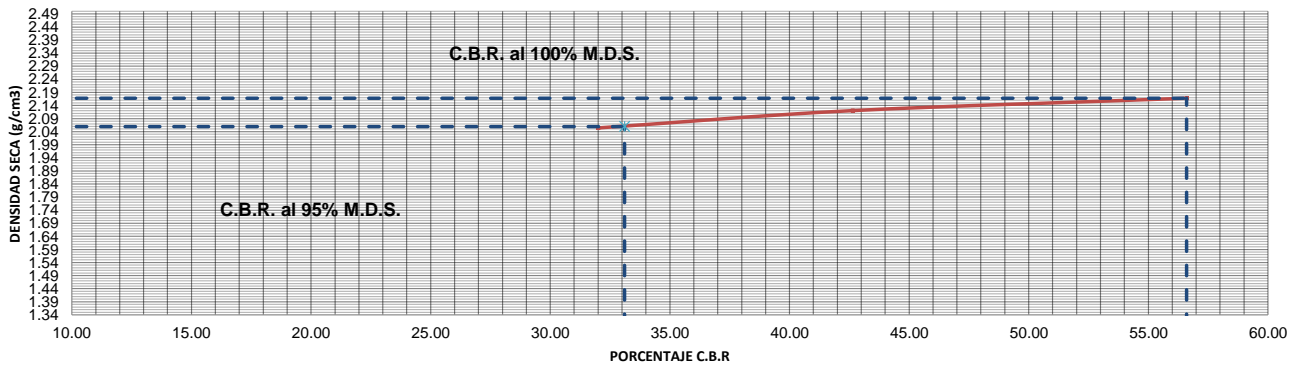
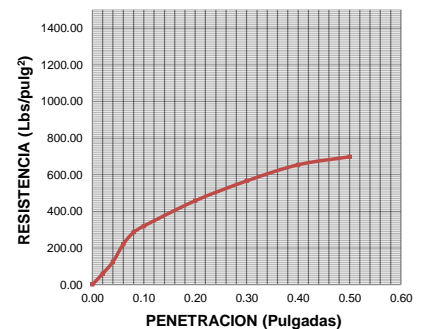
**56 GOLPES**



**25 GOLPES**



**12 GOLPES**



Técnico de Laboratorio:

CIEXLIAN Y LABORATORIO  
 Ing. Herma Rojas Tiravanti  
 REG. CIP. 348840

CIEXLIAN Y LABORATORIO  
 Guillermo Yael Vázquez Baldaña  
 TÉCNICO EN LABORATORIO

## ENSAYO CALIFORNIA BEARNING RATIO

### TESIS

“COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL SUELO TRATADO CON CAL SOMETIDO A DIFERENTES TEMPERATURAS DURANTE EL CURADO, SUBRASANTE DE LA CARRETERA CAMPAMENTO TÚNEL CONCHANO – SIVINGAN BAJO, CHOTA”

### ENSAYO DE COMPRESIÓN NO CONFINADA

### CALICATA C-02

### SOLICITANTE

JOSÉ RONALDO ESTELA TAN - EVER IVÁN SÁNCHEZ VÁZQUEZ



Chota, Perú del 2024

**LABORATORIO MECANICA DE SUELOS Y CONCRETO**

**MATERIAL:** COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL SUELO TRATADO CON CAL SOMETIDO A DIFERENTES TEMPERATURAS DURANTE EL CURADO, SUBRASANTE DE LA CARRETERA CAMPAMENTO TÚNEL CONCHANO – SIVINGAN BAJO, CHOTA

**UBICACIÓN:** CARRETERA CAMPAMENTO TÚNEL CONCHANO – SIVINGAN BAJO, CHOTA

**SOLICITANTE:** JOSÉ RONALDO ESTELA TAN - EVER IVAN SÁNCHEZ VÁZQUEZ

**FECHA DE INFORME:** 16/09/2024

**SUELO NATURAL A TEMPERATURA AMBIENTE (18°C)**

**DATOS DE LA MUESTRA**

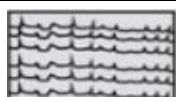
**Material:** C-2

**Fecha de Muestreo:** 5/09/2024

**Fecha de Recepción:** 5/09/2024

**Prof.(m):** 1.50-3.00 m

**NIVEL FREÁTICO :** NO SE ENCONTRO

Profundidad (m)	Muestra	DESCRIPCIÓN	CLASIFICACIÓN		Contenido de humedad	Límites de consistencia	
			Símbolo	Símbolo gráfico		L.L (%)	L.P (%)
0.40	0.10	S/M Material orgánico de color negro amarillo , con bajo contenido de humedad y bajo humedad y bajo grado de compacidad.					
	0.20						
	0.30						
	0.40						
3.00	0.50	C-2 Estracto clasificado en el sistema "SUCS" Limos inorgánicos, suelos arenosos finos o limosos con mica o diatomeas, limos elásticos.	MH		23.10%	57.69	37.03
	0.90						
	1.00						
	1.20						
	1.50						
1.80	IP	20.66					
2.00							
2.20							
2.50							
2.80							
3.00							

**FOTOS**



CIEXLIAN Y LABORATORIO  
Ing. *Hermes Rojas Tiravanti*  
REG. CIP. 348840

Técnico de Laboratorio:



CIEXLIAN Y LABORATORIO  
Gillmer Yoel Vázquez Baldaña  
TÉCNICO EN LABORATORIO



**CONTENIDO DE HUMEDAD DE LOS SUELOS**  
(A.S.T.M D 2216 / MTC E 107)

CIEXLIAN S.R.L - LABORATORIO  
RUC : 20604291641  
CEL:950589432

**LABORATORIO MECANICA DE SUELOS Y CONCRETO**

**MATERIAL:** COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL SUELO TRATADO CON CAL SOMETIDO A DIFERENTES TEMPERATURAS DURANTE EL CURADO, SUBRASANTE DE LA CARRETERA CAMPAMENTO TÚNEL CONCHANO – SIVINGAN BAJO, CHOTA

**UBICACIÓN:** CARRETERA CAMPAMENTO TÚNEL CONCHANO – SIVINGAN BAJO, CHOTA

**SOLICITANTE:** JOSÉ RONALDO ESTELA TAN - EVER IVAN SÁNCHEZ VÁZQUEZ

**FECHA DE INFORME:** 16/09/2024

**SUELO NATURAL A TEMPERATURA AMBIENTE (18°C)**

**DATOS DE LA MUESTRA**

**Material:** C-2

**Muestra/Calicata:** CA-2

**Fecha de Muestreo:** 5/09/2024

**Fecha de Recepción:** 5/09/2024

**Prof.(m):** 1.50-3.00 m

Descripcion	Und.	Ensayos			Promedio
Tara	Nº	T1			
Peso Material Humedo + Tara (A)	gr.	190.1			
Peso Material Seco + Tara (B)	gr.	165.0			
Peso de Agua (A-B)	gr.	25.1			
Peso de Tara ©	gr.	56.3			
Peso Neto de Material Seco (B -C)	gr.	108.8			
Porcentaje de Humedad (A-B)/(B-C)*100	%	23.10%			<b>23.10%</b>

**OBSERVACIONES :**

Porcentaje de Humedad: 14 23.10%

La condición de secado de la muestra fue en Horno a 110C° +- 5C°

**Técnico de Laboratorio:** \_\_\_\_\_

**Firma:** \_\_\_\_\_

CIEXLIAN Y LABORATORIO  
Ing. Hermes Rojas Tiravanani  
REG. CIP. 348840

CIEXLIAN Y LABORATORIO  
Guilmer Yoel Vázquez Baldaña  
TÉCNICO EN LABORATORIO

**LABORATORIO MECANICA DE SUELOS Y CONCRETO**

COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL SUELO TRATADO CON CAL SOMETIDO A DIFERENTES TEMPERATURAS DURANTE EL CURADO, SUBRASANTE DE LA CARRETERA CAMPAMENTO TÚNEL CONCHANO – SIVINGAN BAJO, CHOTA

MATERIAL:

UBICACIÓN: CARRETERA CAMPAMENTO TÚNEL CONCHANO – SIVINGAN BAJO, CHOTA

CLIENTE: JOSÉ RONALDO ESTELA TAN - EVER IVAN SÁNCHEZ VÁZQUEZ

FECHA DE INFORME: 16/09/2024

SUELO NATURAL A TEMPERATURA AMBIENTE (18°C)

**DATOS DE LA MUESTRA**

Muestra/Calicata: CA-2

Fecha de Muestreo: 5/09/2024

Fecha de Recepción: 5/09/2024

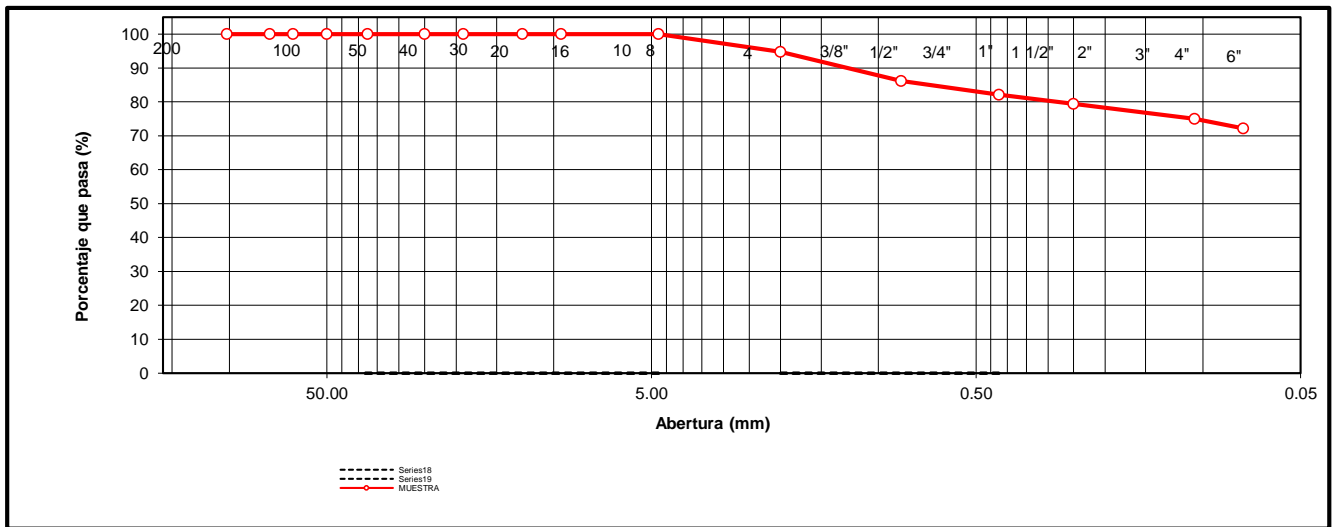
Prof.(m): 1.50-3.00 m

Tamaño Máximo: N° 4

Peso Inicial Seco: 500 gr.

TAMIZ	ABERTURA	PESO	PORCENTAJE	RETENIDO	PORCENTAJE	ESPECIFICACION	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
A.S.T.M	(mm)	RETENIDO	RETENIDO	ACUMULADO	QUE PASA	Tipo:	
4"	101.600	0	0.00	0.00	100.00		<b>OBSERVACIONES :</b>
3"	75.000	0.00	0.00	0.00	100.00		Bolonería 4" - 3" : 0.00 %
2 1/2"	63.500	0.00	0.00	0.00	100.00		Grava 3" - N° 4 : 0.00 %
2"	50.000	0.00	0.00	0.00	100.00		Arena N°4 - N° 200 : 27.80 %
1 1/2"	37.500	0.00	0.00	0.00	100.00		Finos < N° 200 : 72.20 %
1"	25.000	0.00	0.00	0.00	100.00		A. gruesa N° 4 - N° 10 : 5.20 %
3/4"	19.000	0.00	0.00	0.00	100.00		A. media N° 10 - N° 40 : 12.60 %
1/2"	12.500	0.00	0.00	0.00	100.00		A. fina N° 40 - N° 200 : 10.00 %
3/8"	9.500	0.00	0.00	0.00	100.00		
N° 4	4.750	0.00	0.00	0.00	100.00		<b>CARACTERISTICAS:</b>
N° 8	2.360	14.00	2.80	2.80	97.20		LL (ASTM D4318-17): 57.69 %
N° 10	2.000	12.00	2.40	5.20	94.80		LP (ASTM D4318-17): 37.03 %
N° 16	1.190	17.00	3.40	8.60	91.40		IP (ASTM D4318-17): 20.66 %
N° 20	0.850	26.00	5.20	13.80	86.20		
N° 30	0.600	15.00	3.00	16.80	83.20		Clasificación (SUCS) : MH
N° 40	0.425	5.00	1.00	17.80	82.20		
N° 60	0.250	14.00	2.80	20.60	79.40		
N° 140	0.106	22.00	4.40	25.00	75.00		
N° 200	0.075	14.00	2.80	27.80	72.20		
< N° 200	FONDO	361.00	72.20	100.00	0.00		

**CURVA DE DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA**



OBSERVACIONES: Tamaño Máximo de partículas: N° 4

Técnico de Laboratorio:

Firma:

CIEXLIAN Y LABORATORIO  
Ing. Hermes Rojas Tiravanti  
REG. CIP 348840

CIEXLIAN Y LABORATORIO  
Gülmer Yoel Vázquez Baldana  
TÉCNICO EN LABORATORIO



**LÍMITES DE ATTERBERG**  
(A.S.T.M D 4318) / (A.A.S.H.T.O T 89)

CIEXLIAN S.R.L - LABORATORIO  
RUC : 20604291641  
CEL:950589432 CORREO:ciexianlab@gmail.com

Pag: 7 de 9

**LABORATORIO MECANICA DE SUELOS Y CONCRETO**

**MATERIAL:** COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL SUELO TRATADO CON CAL SOMETIDO A DIFERENTES TEMPERATURAS DURANTE EL CURADO, SUBRASANTE DE LA CARRETERA CAMPAMENTO TÚNEL CONCHANO – SIVINGAN BAJO, CHOTA

**UBICACIÓN:** CARRETERA CAMPAMENTO TÚNEL CONCHANO – SIVINGAN BAJO, CHOTA

**CLIENTE:** JOSÉ RONALDO ESTELA TAN - EVER IVAN SÁNCHEZ VÁZQUEZ

**FECHA DE INF:** 16/09/2024

**SUELO NATURAL A TEMPERATURA AMBIENTE (18°C)**

**DATOS DE LA MUESTRA**

**Muestra/Calicata:** CA-2  
**Fecha de Muestreo:** 5/09/2024  
**Prof.(m):** 1.50-3.00 m

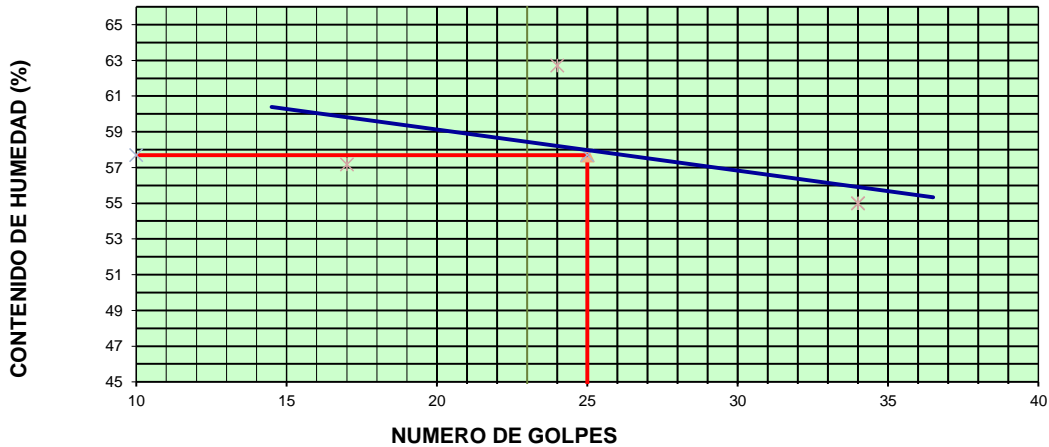
**LIMITE LIQUIDO**

Descripción	Und	Ensayos			Observaciones
		T-203	T-207	T-215	
Nº TARRO					
PESO TARRO + SUELO HUMEDO	(g)	27.74	29.47	28.04	
PESO TARRO + SUELO SECO	(g)	22.94	24.29	23.68	
PESO DE AGUA	(g)	4.80	5.18	4.36	
PESO DE LA TARA	(g)	14.54	16.03	15.75	
PESO DEL SUELO SECO	(g)	8.40	8.26	7.93	
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	57.17	62.71	54.98	
NUMERO DE GOLPES		17	24	34	

**LIMITE PLASTICO**

Descripción	Und	Ensayos		Observaciones
		T-409	T-411	
Nº TARRO				
PESO TARRO + SUELO HUMEDO	(g)	16.80	15.65	
PESO TARRO + SUELO SECO	(g)	16.51	15.49	
PESO DE AGUA	(g)	0.29	0.16	
PESO DE LA TARA	(g)	15.70	15.06	
PESO DEL SUELO SECO	(g)	0.81	0.43	
CONTENIDO DE DE HUMEDAD	(%)	35.80	38.25	

**CONTENIDO DE HUMEDAD A 25 GOLPES**



**CONSTANTES FISICAS DE LA MUESTRA**

LIMITE LIQUIDO	%	57.69
LIMITE PLASTICO	%	37.03
INDICE DE PLASTICIDAD	%	20.66

**OBSERVACIONES:**

La condición de secado de la muestra fue en Horno a 110C° +/- 5C°

**Técnico de Laboratorio:**

**Firma:**

CIEXLIAN Y LABORATORIO  
Ing. Hermes Rojas Tiravanti  
REG CIP 348840

CIEXLIAN Y LABORATORIO  
Guilmer Yoel Vázquez Baldana  
TÉCNICO EN LABORATORIO



ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO (ASTM D-1557)

CIEXLIAN S.R.L - LABORATORIO
RUC : 20604291641
CEL:950589432
CORREO:ciexlianlab@gmail.com

LABORATORIO MECANICA DE SUELOS Y CONCRETO

MATERIAL: COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL SUELO TRATADO CON CAL SOMETIDO A DIFERENTES TEMPERATURAS DURANTE EL CURADO, SUBRASANTE DE LA CARRETERA CAMPAMENTO TÚNEL CONCHANO - SIVINGAN BAJO, CHOTA

UBICACIÓN: CARRETERA CAMPAMENTO TÚNEL CONCHANO - SIVINGAN BAJO, CHOTA

SOLICITANTE: JOSÉ RONALDO ESTELA TAN - EVER IVAN SÁNCHEZ VÁZQUEZ FECHA DE INFORME 16/09/2024

DATOS DE LA MUESTRA

Material: C-2 Muestra/Calicata: CA-2
Fecha de Muestreo: 5/09/2024 Prof.(m): 1.50-3.00 m

SUELO NATURAL A TEMPERATURA AMBIENTE (18°C)

METODO DE COMPACTACION: A Peso de Martillo (gr): 4536.4

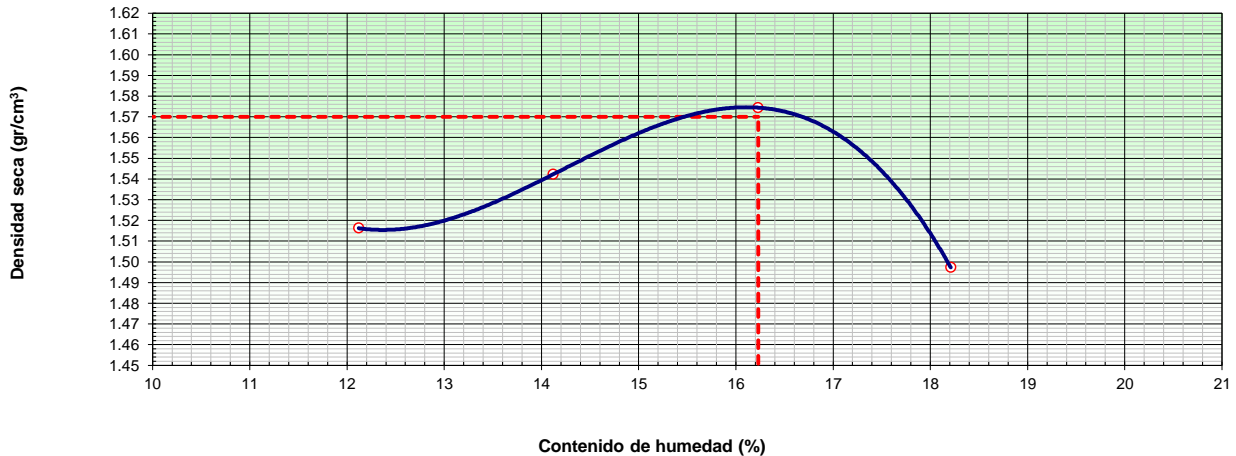
Tipo de pisón: Manual Vol. Mold. (cm3): 921.33
Peso del Molde (gr): 3963

Table with 7 columns: Test parameters, 1, 2, 3, 4, and OBSERVACION. Rows include: Peso suelo + molde, Peso neto del suelo húmedo, Peso volumétrico húmedo, Tara, Peso del suelo húmedo+tara, Peso del suelo seco + tara, Peso de Tara, Peso de agua, Peso del suelo seco, Contenido de Humedad, and Peso volumétrico seco.

Máxima Densidad Seca (gr/cm³) : 1.57

Óptimo Contenido de Humedad (%): 16.2

CURVA DE COMPACTACIÓN



OBSERVACIONES:

Técnico de Laboratorio: Firma:

Signature of Ing. Hermes Rojas Tiravanti, REG. CIP. 348840

Signature of Guillermo Yoa Vázquez Baldaño, TÉCNICO EN LABORATORIO



**ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO  
(MTC E-132 / A.S.T.M D 1883 / AASHTO- T 193)**

CIEXLIAN S.R.L -  
LABORATORIO  
RUC : 20604291641  
CEL:950589432

Pag: 9 de 9

**LABORATORIO MECANICA DE SUELOS Y CONCRETO**

**MATERIAL:** COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL SUELO TRATADO CON CAL SOMETIDO A DIFERENTES TEMPERATURAS DURANTE EL CURADO, SUBRASANTE DE LA CARRETERA CAMPAMENTO TÚNEL CONCHANO – SIVINGAN BAJO, CHOTA

**UBICACIÓN:** CARRETERA CAMPAMENTO TÚNEL CONCHANO – SIVINGAN BAJO, CHOTA

**SOLICITANTE:** JOSÉ RONALDO ESTELA TAN - EVER IVAN SÁNCHEZ VÁZQUEZ

**FECHA DE INFORME:** 16/09/2024

**SUELO NATURAL A TEMPERATURA AMBIENTE (18°C)**

**DATOS DE LA MUESTRA**

**Material:** C-2 **DEL SUELO TRATADO CON CAL SOMETIDO A TEMPERATURAS DE 4° C**

**Fecha de Muestreo:** 5/09/2024

**Fecha de Recepción:** 5/09/2024

**Prof.(m):** 1.50-3.00 m

**C.B.R.**

MOLDE N°	4		5		6	
	56		25		12	
N° DE GOLPES POR CAPA						
CONDICION DE MUESTRA	SIN MOJAR	MOJADA	SIN MOJAR	MOJADA	SIN MOJAR	MOJADA
PESO MOLDE + SUELO HUMEDO (gr)	11428.26		11342.40		11156.63	
PESO DEL MOLDE (gr)	7545.00		7532.00		7562.00	
PESO DEL SUELO HUMEDO (gr)	3883.26		3810.40		3594.63	
VOLUMEN DEL SUELO (cm <sup>3</sup> )	2122.00		2165.00		2127.00	
DENSIDAD HUMEDA (gr/cm <sup>3</sup> )	1.83		1.76		1.69	
CAPSULA N°	1		3		5	
PESO CAPSULA + SUELO HUMEDO (gr)	52.52		73.12		79.23	
PESO CAPSULA + SUELO SECO (gr)	50.25		68.25		73.25	
PESO DE AGUA CONTENIDA (gr)	2.27		4.87		5.98	
PESO DE CAPSULA (gr)	36.25		38.25		36.45	
PESO DE SUELO SECO (gr)	14.00		30.00		36.80	
HUMEDAD (%)	16.23%		16.24%		16.24%	
DENSIDAD SECA (gr/cm <sup>3</sup> )	1.57		1.51		1.45	

**EXPANSIÓN**

DÍAS	HORAS	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION	
			mm	%		mm	%		mm	%
0	0	0.00	0.00		0.000	0.00		0.000	0.00	
1	1	130.00	3.30		150.000	3.81		170.000	4.32	
2	2	140.25	3.56		180.000	4.57		200.000	5.08	
3	3	150.00	3.81		200.000	5.08		350.000	8.89	
4	4	160.00	4.06		300.000	7.62		450.000	11.43	
5	5	180.00	4.57		350.000	8.89		550.000	13.97	
6	6	250.00	6.35		450.000	11.43		652.000	16.56	
7	7	300.00	7.62	4.31	500.000	12.70	7.18	600.000	15.24	8.610

**PENETRACION**

PENETRACION	PULG.	CARGA ESTÁNDAR	MOLDE N° 1				MOLDE N° 2				MOLDE N° 3			
			CARGA	CORECCION			CARGA	CORECCION			CARGA	CORECCION		
				Lectura	Lbs	lbs/pulg <sup>2</sup>		%	Lectura	Lbs		lbs/pulg <sup>2</sup>	%	Lectura
0		(Lbs/pulg <sup>2</sup> )	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00	
0.020			10.10	22	7.33		8.25	18	6.00		2.00	4	1.33	
0.040			16.00	35	11.67		12.25	27	9.00		3.60	8	2.67	
0.060			25.25	56	18.67		16.65	37	12.33		5.40	12	4.00	
0.080			35.56	78	26.00		20.35	45	15.00		10.25	23	7.67	
0.100		1000	43.25	95	31.67	3.17	25.23	56	18.67	1.87	13.12	29	9.67	0.97
0.200		1500	61.68	136	45.33		35.15	77	25.67		23.13	51	17.00	
0.300			76.25	168	56.00		45.48	100	33.33		31.98	71	23.67	
0.400			85.25	188	62.67		53.62	118	39.33		37.80	83	27.67	
0.500			96.25	212	70.67		60.25	133	44.33		45.45	100	33.33	

CIEXLIAN Y LABORATORIO  
Ing. Hermés Rojas Tiravanti  
REG. CIP. 348840

CIEXLIAN Y LABORATORIO  
Gilmer Yoel Vásquez Baldana  
TÉCNICO EN LABORATORIO



**ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO  
(MTC E-132 / A.S.T.M D 1883 / AASHTO- T 193)**

CIEXLIAN S.R.L -  
LABORATORIO  
RUC : 20604291641  
CEL.950589432

Pag: 9 de 9

**LABORATORIO MECANICA DE SUELOS Y CONCRETO**

**MATERIAL:** COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL SUELO TRATADO CON CAL SOMETIDO A DIFERENTES TEMPERATURAS DURANTE EL CURADO, SUBRASANTE DE LA CARRETERA CAMPAMENTO TÚNEL CONCHANO – SIVINGAN BAJO, CHOTA

**UBICACIÓN:** CARRETERA CAMPAMENTO TÚNEL CONCHANO – SIVINGAN BAJO, CHOTA

**SOLICITANTE:** JOSÉ RONALDO ESTELA TAN - EVER IVAN SÁNCHEZ VÁZQUEZ

**FECHA DE INFORME:** 16/09/2024

**SUELO NATURAL A TEMPERATURA AMBIENTE (18°C)**

**DATOS DE LA MUESTRA**

**Material:** C-2

**DEL SUELO TRATADO CON CAL SOMETIDO A TEMPERATURAS DE 4° C**

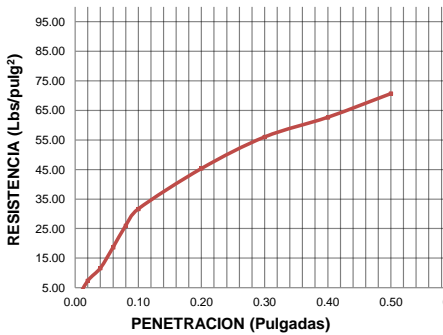
**DATOS DEL PROCTOR**

DENSIDAD MAXIMA (gr/cm3)	1.57
HUMEDAD OPTIMA (%)	16.23

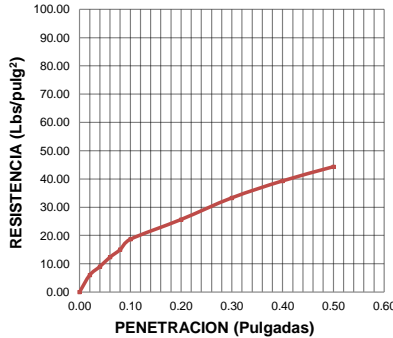
**DATOS DEL C.B.R.**

CBR al 100% de M.D.S. (%)	3.17
CBR al 95% de M.D.S. (%)	1.73

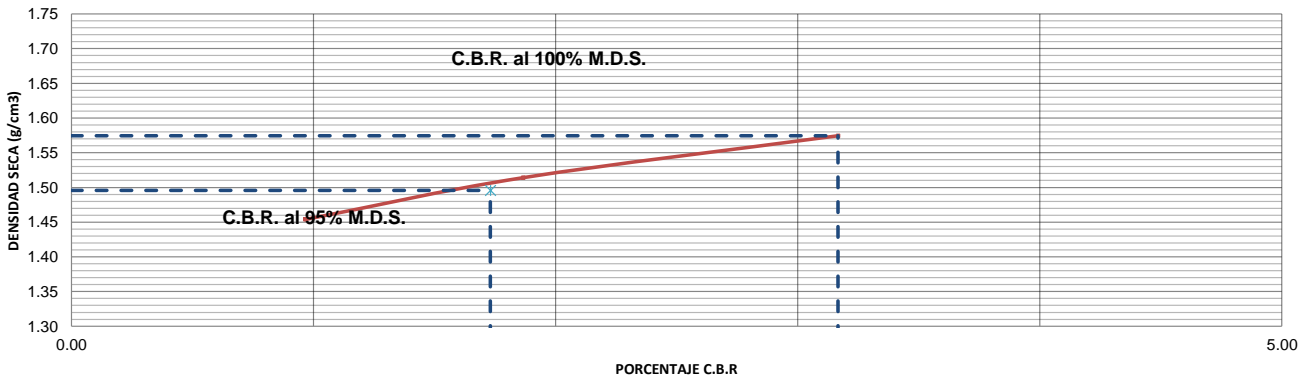
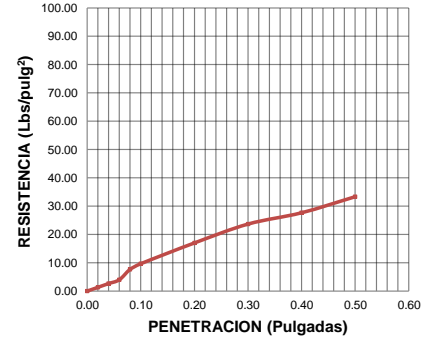
**56 GOLPES**



**25 GOLPES**



**12 GOLPES**



Técnico de Laboratorio:

CIEXLIAN Y LABORATORIO  
Ing. Hermes Rojas Tiravanti  
REG. CIP. 348840

CIEXLIAN Y LABORATORIO  
Gülmer Yoel Vásquez Baldaña  
TÉCNICO EN LABORATORIO



**ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO  
(MTC E-132 / A.S.T.M D 1883 / AASHTO- T 193)**

CIEXLIAN S.R.L -  
LABORATORIO  
RUC : 20604291641  
CEL:950589432

Pag: 9 de 9

**LABORATORIO MECANICA DE SUELOS Y CONCRETO**

**MATERIAL:** COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL SUELO TRATADO CON CAL SOMETIDO A DIFERENTES TEMPERATURAS DURANTE EL CURADO, SUBRASANTE DE LA CARRETERA CAMPAMENTO TÚNEL CONCHANO – SIVINGAN BAJO, CHOTA

**UBICACIÓN:** CARRETERA CAMPAMENTO TÚNEL CONCHANO – SIVINGAN BAJO, CHOTA

**SOLICITANTE:** JOSÉ RONALDO ESTELA TAN - EVER IVAN SÁNCHEZ VÁZQUEZ

**FECHA DE INFORME:** 16/09/2024

**S.N+5% DE CAL A TEMPERATURA AMBIENTE (4°C)**

**DATOS DE LA MUESTRA**

**Material:** C-2

**Fecha de Muestreo:** 5/09/2024

**Fecha de Recepción:** 5/09/2024

**Prof.(m):** 1.50-3.00 m

**C.B.R.**

MOLDE N°	4		5		6	
	56		25		12	
N° DE GOLPES POR CAPA						
CONDICION DE MUESTRA	SIN MOJAR	MOJADA	SIN MOJAR	MOJADA	SIN MOJAR	MOJADA
PESO MOLDE + SUELO HUMEDO (gr)	11428.26		11385.70		11156.63	
PESO DEL MOLDE (gr)	7545.00		7532.00		7562.00	
PESO DEL SUELO HUMEDO (gr)	3883.26		3853.70		3594.63	
VOLUMEN DEL SUELO (cm <sup>3</sup> )	2122.00		2165.00		2127.00	
DENSIDAD HUMEDA (gr/cm <sup>3</sup> )	1.83		1.78		1.69	
CAPSULA N°	1		3		5	
PESO CAPSULA + SUELO HUMEDO (gr)	52.22		72.48		78.45	
PESO CAPSULA + SUELO SECO (gr)	50.25		68.25		73.25	
PESO DE AGUA CONTENIDA (gr)	1.97		4.23		5.20	
PESO DE CAPSULA (gr)	36.25		38.25		36.45	
PESO DE SUELO SECO (gr)	14.00		30.00		36.80	
HUMEDAD (%)	14.05%		14.10%		14.12%	
DENSIDAD SECA (gr/cm <sup>3</sup> )	1.60		1.56		1.48	

**EXPANSIÓN**

DÍAS	HORAS	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION	
			mm	%		mm	%		mm	%
0	0	0.00	0.00		0.000	0.00		0.000	0.00	
1	1	120.00	3.05		140.000	3.56		160.000	4.06	
2	2	130.00	3.30		160.000	4.06		180.000	4.57	
3	3	100.00	2.54		150.000	3.81		230.000	5.84	
4	4	150.00	3.81		180.000	4.57		250.000	6.35	
5	5	150.00	3.81		200.000	5.08		265.000	6.73	
6	6	200.00	5.08		250.000	6.35		300.000	7.62	
7	7	250.00	6.35	3.59	300.000	7.62	4.31	350.000	8.89	5.023

**PENETRACION**

PENETRACION	PULG.	CARGA ESTÁNDAR (Lbs/pulg <sup>2</sup> )	MOLDE N° 1				MOLDE N° 2				MOLDE N° 3			
			CARGA	CORECCION			CARGA	CORECCION			CARGA	CORECCION		
				Lectura	Lbs	lbs/pulg <sup>2</sup>		%	Lectura	Lbs		lbs/pulg <sup>2</sup>	%	Lectura
0.000			0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00	
0.020			10.00	22	7.33		8.90	20	6.67		6.00	13	4.33	
0.040			30.00	66	22.00		16.30	36	12.00		12.00	26	8.67	
0.060			40.25	89	29.67		30.25	67	22.33		18.25	40	13.33	
0.080			58.10	128	42.67		48.20	106	35.33		25.34	56	18.67	
0.100		1000	70.90	156	52.00	5.20	58.56	129	43.00	4.30	37.25	82	27.33	2.73
0.200		1500	159.30	351	117.00		120.58	266	88.67		88.50	195	65.00	
0.300			221.30	488	162.67		167.20	369	123.00		120.69	266	88.67	
0.400			263.20	580	193.33		209.20	461	153.67		155.20	342	114.00	
0.500			295.90	652	217.33		230.58	508	169.33		170.25	375	125.00	

CIEXLIAN Y LABORATORIO  
 Ing. Hermes Rojas Tiravanti  
 REG. CIP. 348840

CIEXLIAN Y LABORATORIO  
 Guillermo Yael Vázquez Baldaña  
 TÉCNICO EN LABORATORIO



### ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (MTC E-132 / A.S.T.M D 1883 / AASHTO- T 193)

CIEXLIAN S.R.L -  
LABORATORIO  
RUC : 20604291641  
CEL:950589432

#### LABORATORIO MECANICA DE SUELOS Y CONCRETO

**MATERIAL:** COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL SUELO TRATADO CON CAL SOMETIDO A DIFERENTES TEMPERATURAS DURANTE EL CURADO, SUBRASANTE DE LA CARRETERA CAMPAMENTO TÚNEL CONCHANO – SIVINGAN BAJO, CHOTA

**UBICACIÓN:** CARRETERA CAMPAMENTO TÚNEL CONCHANO – SIVINGAN BAJO, CHOTA

**SOLICITANTE:** JOSÉ RONALDO ESTELA TAN - EVER IVAN SÁNCHEZ VÁZQUEZ

**FECHA DE INFORME:** 16/09/2024

S.N+5% DE CAL A TEMPERATURA AMBIENTE (4°C)

#### DATOS DE LA MUESTRA

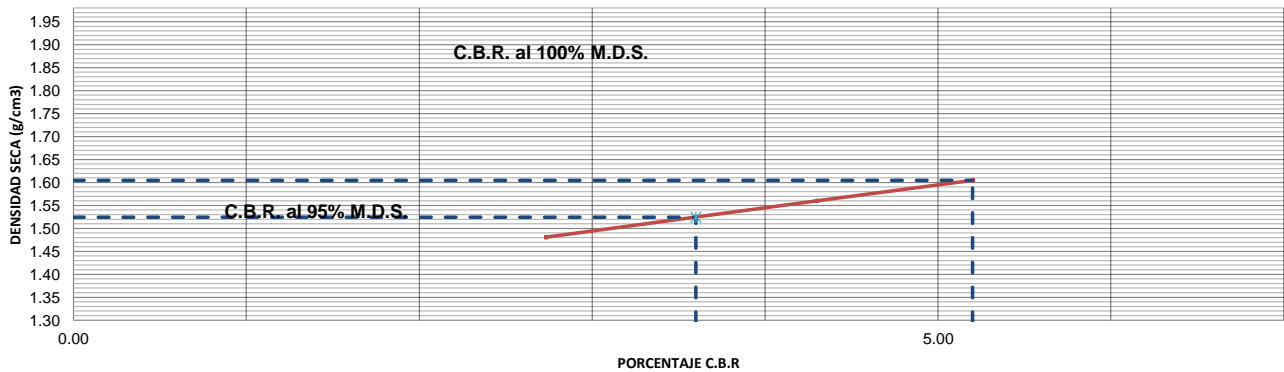
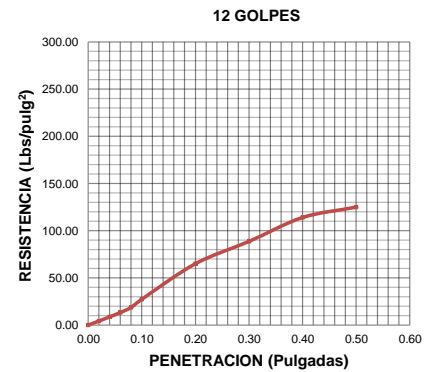
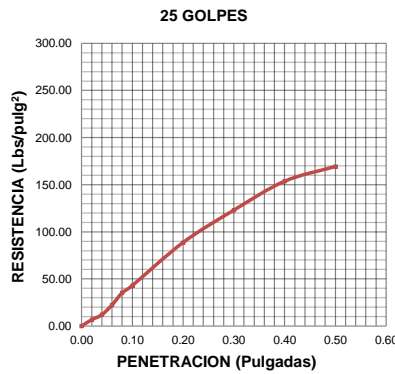
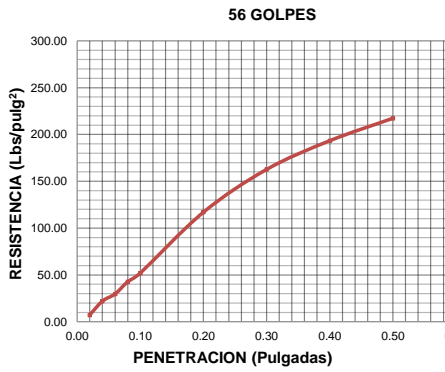
**Material:** C-2

#### DATOS DEL PROCTOR

DENSIDAD MAXIMA (gr/cm3)	1.67
HUMEDAD OPTIMA (%)	13.50

#### DATOS DEL C.B.R.

CBR al 100% de M.D.S. (%)	5.20
CBR al 95% de M.D.S. (%)	3.60



Técnico de Laboratorio: Hermes Rojas Tiravanti

CIEXLIAN Y LABORATORIO  
  
 Ing. Hermes Rojas Tiravanti  
 REG. CIP. 348840

CIEXLIAN Y LABORATORIO  
  
 Gilmer Yael Vázquez Baldaña  
 TÉCNICO EN LABORATORIO



**ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO  
(MTC E-132 / A.S.T.M D 1883 / AASHTO- T 193)**

CIEXLIAN S.R.L -  
LABORATORIO  
RUC : 20604291641  
CEL:950589432

Pag: 9 de 9

**LABORATORIO MECANICA DE SUELOS Y CONCRETO**

**MATERIAL:** COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL SUELO TRATADO CON CAL SOMETIDO A DIFERENTES TEMPERATURAS DURANTE EL CURADO, SUBRASANTE DE LA CARRETERA CAMPAMENTO TÚNEL CONCHANO – SIVINGAN BAJO, CHOTA

**UBICACIÓN:** CARRETERA CAMPAMENTO TÚNEL CONCHANO – SIVINGAN BAJO, CHOTA

**SOLICITANTE:** JOSÉ RONALDO ESTELA TAN - EVER IVAN SÁNCHEZ VÁZQUEZ

**FECHA DE INFORME:** 16/09/2024

**S.N+5% DE CAL A TEMPERATURA AMBIENTE (16°C)**

**DATOS DE LA MUESTRA**

**Material:** C-2

**Fecha de Muestreo:** 5/09/2024

**Fecha de Recepción:** 5/09/2024

**Prof.(m):** 1.50-3.00 m

**C.B.R.**

MOLDE N°	4		5		6	
	56		25		12	
N° DE GOLPES POR CAPA						
CONDICION DE MUESTRA	SIN MOJAR	MOJADA	SIN MOJAR	MOJADA	SIN MOJAR	MOJADA
PESO MOLDE + SUELO HUMEDO (gr)	11449.48		11342.40		11177.90	
PESO DEL MOLDE (gr)	7545.00		7532.00		7562.00	
PESO DEL SUELO HUMEDO (gr)	3904.48		3810.40		3615.90	
VOLUMEN DEL SUELO (cm <sup>3</sup> )	2122.00		2165.00		2127.00	
DENSIDAD HUMEDA (gr/cm <sup>3</sup> )	1.84		1.76		1.70	
CAPSULA N°	1		3		5	
PESO CAPSULA + SUELO HUMEDO (gr)	52.22		72.48		78.45	
PESO CAPSULA + SUELO SECO (gr)	50.25		68.25		73.25	
PESO DE AGUA CONTENIDA (gr)	1.97		4.23		5.20	
PESO DE CAPSULA (gr)	36.25		38.25		36.45	
PESO DE SUELO SECO (gr)	14.00		30.00		36.80	
HUMEDAD (%)	14.05%	13.50%	14.10%		14.12%	
DENSIDAD SECA (gr/cm <sup>3</sup> )	1.61		1.54		1.49	

**EXPANSIÓN**

DÍAS	HORAS	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION	
			mm	%		mm	%		mm	%
0	0	0.00	0.00		0.000	0.00		0.000	0.00	
1	24	121.00	3.07		140.000	3.56		156.000	3.96	
2	48	130.00	3.30		160.000	4.06		180.000	4.57	
3	72	105.00	2.67		150.000	3.81		233.000	5.92	
4	96	150.00	3.81		180.000	4.57		251.000	6.38	
5	120	155.00	3.94		290.000	7.37		262.000	6.65	
6	144	200.00	5.08		245.000	6.22		299.000	7.59	
7	168	253.00	6.43	3.63	302.000	7.67	4.33	352.000	8.94	5.051

**PENETRACION**

PENETRACION	PULG.	CARGA ESTÁNDAR (Lbs/pulg <sup>2</sup> )	MOLDE N° 1				MOLDE N° 2				MOLDE N° 3			
			CARGA	CORECCION			CARGA	CORECCION			CARGA	CORECCION		
				Lectura	Lbs	lbs/pulg <sup>2</sup>		%	Lectura	Lbs		lbs/pulg <sup>2</sup>	%	Lectura
0.000		0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00		
0.020		12.50	28	9.33		12.25	27	9.00		8.00	18	6.00		
0.040		34.58	76	25.33		20.50	45	15.00		15.25	34	11.33		
0.060		45.20	100	33.33		34.58	76	25.33		20.35	45	15.00		
0.080		63.25	139	46.33		53.24	117	39.00		28.35	63	21.00		
0.100		1000	80.25	177	59.00	5.90	65.25	144	48.00	4.80	43.25	95	31.67	3.17
0.200		1500	163.25	360	120.00		125.36	276	92.00		95.26	210	70.00	
0.300			225.14	496	165.33		177.25	391	130.33		135.26	298	99.33	
0.400			270.25	596	198.67		218.58	482	160.67		170.25	375	125.00	
0.500			305.20	673	224.33		240.58	530	176.67		180.58	398	132.67	

CIEXLIAN Y LABORATORIO  
 Ing. Hermés Rojas Tiravanti  
 REG. CIP. 348840

CIEXLIAN Y LABORATORIO  
 Guímer Yoel Vázquez Baldaña  
 TÉCNICO EN LABORATORIO



**ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO  
(MTC E-132 / A.S.T.M D 1883 / AASHTO- T 193)**

CIEXLIAN S.R.L -  
LABORATORIO  
RUC : 20604291641  
CEL:950589432

**LABORATORIO MECANICA DE SUELOS Y CONCRETO**

**MATERIAL:** COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL SUELO TRATADO CON CAL SOMETIDO A DIFERENTES TEMPERATURAS DURANTE EL CURADO, SUBRASANTE DE LA CARRETERA CAMPAMENTO TÚNEL CONCHANO – SIVINGAN BAJO, CHOTA

**UBICACIÓN:** CARRETERA CAMPAMENTO TÚNEL CONCHANO – SIVINGAN BAJO, CHOTA

**SOLICITANTE:** JOSÉ RONALDO ESTELA TAN - EVER IVAN SÁNCHEZ VÁZQUEZ

**FECHA DE INFORME:** 16/09/2024

**S.N+5% DE CAL A TEMPERATURA AMBIENTE (16°C)**

**DATOS DE LA MUESTRA**

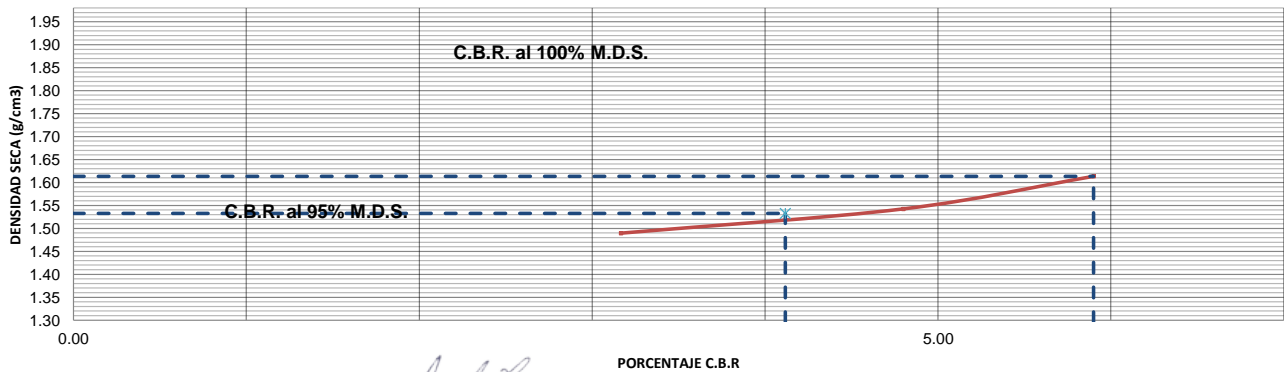
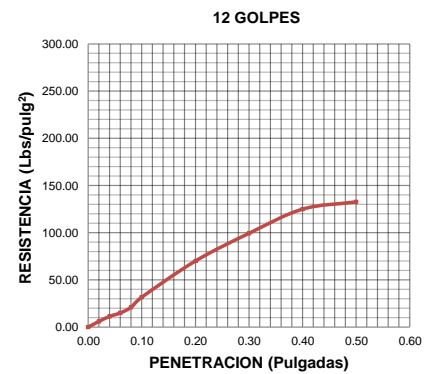
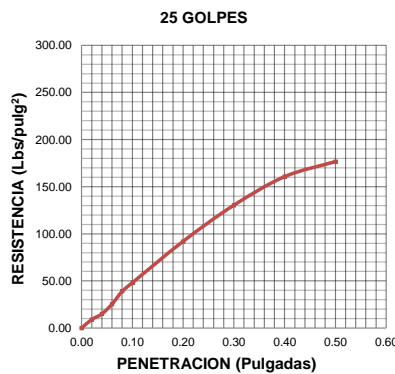
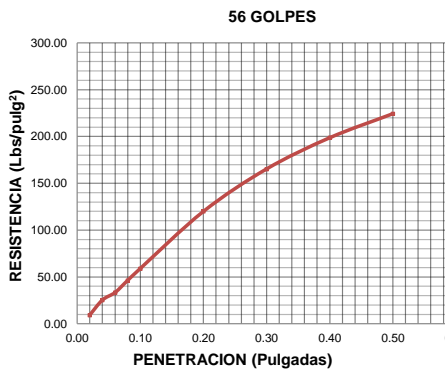
**Material:** C-2

**DATOS DEL PROCTOR**

DENSIDAD MAXIMA (gr/cm <sup>3</sup> )	1.67
HUMEDAD OPTIMA (%)	13.50

**DATOS DEL C.B.R.**

CBR al 100% de M.D.S. (%)	5.90
CBR al 95% de M.D.S. (%)	4.12



Técnico de Laboratorio:

CIEXLIAN Y LABORATORIO  
 Hermes Rojas Tiravanti  
 Ing. Hermes Rojas Tiravanti  
 REG. CIP 348840

CIEXLIAN Y LABORATORIO  
 Guimer Yosl Vázquez Baldana  
 TÉCNICO EN LABORATORIO



**CONTENIDO DE HUMEDAD DE LOS SUELOS**  
(A.S.T.M D 2216 / MTC E 107)

CIEXLIAN S.R.L - LABORATORIO  
RUC : 20604291641  
CEL:950589432

**LABORATORIO MECANICA DE SUELOS Y CONCRETO**

**MATERIAL:** COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL SUELO TRATADO CON CAL SOMETIDO A DIFERENTES TEMPERATURAS DURANTE EL CURADO, SUBRASANTE DE LA CARRETERA CAMPAMENTO TÚNEL CONCHANO – SIVINGAN BAJO, CHOTA

**UBICACIÓN:** CARRETERA CAMPAMENTO TÚNEL CONCHANO – SIVINGAN BAJO, CHOTA

**SOLICITANTE:** JOSÉ RONALDO ESTELA TAN - EVER IVAN SÁNCHEZ VÁZQUEZ

**FECHA DE INFORME:** 16/09/2024

S.N+5% DE CAL A TEMPERATURA AMBIENTE (18°C)

**DATOS DE LA MUESTRA**

**Material:** C-2

**Muestra/Calicata:** CA-2

**Fecha de Muestreo:** 5/09/2024

**Fecha de Recepción:** 5/09/2024

**Prof.(m):** 1.50-3.00 m

Descripcion	Und.	Ensayos				Promedio
Tara	Nº	T1				
Peso Material Humedo + Tara (A)	gr.	280.0				
Peso Material Seco + Tara (B)	gr.	250.0				
Peso de Agua (A-B)	gr.	30.0				
Peso de Tara ©	gr.	101.0				
Peso Neto de Material Seco (B -C)	gr.	149.0				
Porcentaje de Humedad (A-B)/(B-C)*100	%	20.14%				20.14%

**OBSERVACIONES :**

Porcentaje de Humedad: 14 20.14%

La condición de secado de la muestra fue en Horno a 110C° +- 5C°

**Técnico de Laboratorio:**

**Firma:**

CIEXLIAN Y LABORATORIO  
Ing. Hermes Rojas Tiravanti  
REG. CIP 348840

CIEXLIAN Y LABORATORIO  
Gilmer Yoel Vásquez Baldaña  
TÉCNICO EN LABORATORIO



**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO**  
(A.S.T.M D 422 / A.A.S.H.T.O T 89 / MTC E 107)

CIEXLIAN S.R.L - LABORATORIO  
20604291641 CEL:950589432  
CORREO:ciexlianlab@gmail.com

RUC :

Pag: 6 de 9

**LABORATORIO MECANICA DE SUELOS Y CONCRETO**

COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL SUELO TRATADO CON CAL SOMETIDO A DIFERENTES TEMPERATURAS DURANTE EL CURADO, SUBRASANTE DE LA CARRETERA CAMPAMENTO TÚNEL CONCHANO – SIVINGAN BAJO, CHOTA

MATERIAL:

UBICACIÓN: CARRETERA CAMPAMENTO TÚNEL CONCHANO – SIVINGAN BAJO, CHOTA

CLIENTE: JOSÉ RONALDO ESTELA TAN - EVER IVAN SÁNCHEZ VÁZQUEZ

FECHA DE INFORME: 16/09/2024

S.N+5% DE CAL A TEMPERATURA AMBIENTE (18°C)

**DATOS DE LA MUESTRA**

Muestra/Calicata: CA-2

Fecha de Muestreo: 5/09/2024

Fecha de Recepción: 5/09/2024

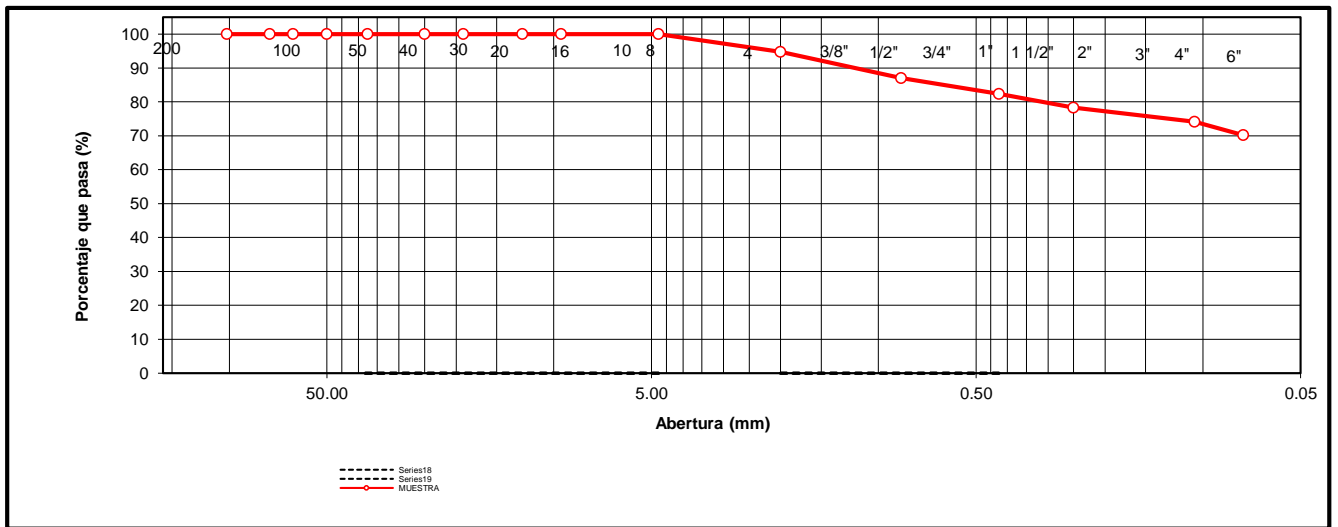
Prof.(m): 1.50-3.00 m

Tamaño Máximo: Nº 4

Peso Inicial Seco: 500 gr.

TAMIZ	ABERTURA	PESO	PORCENTAJE	RETENIDO	PORCENTAJE	ESPECIFICACION	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
A.S.T.M	(mm)	RETENIDO	RETENIDO	ACUMULADO	QUE PASA	Tipo:	
4"	101.600	0	0.00	0.00	100.00		<b>OBSERVACIONES :</b>
3"	75.000	0.00	0.00	0.00	100.00		Bolonería 4" - 3" : 0.00 %
2 1/2"	63.500	0.00	0.00	0.00	100.00		Grava 3" - Nº 4 : 0.00 %
2"	50.000	0.00	0.00	0.00	100.00		Arena Nº4 - Nº 200 : 29.80 %
1 1/2"	37.500	0.00	0.00	0.00	100.00		Finos < Nº 200 : 70.20 %
1"	25.000	0.00	0.00	0.00	100.00		A. gruesa Nº 4 - Nº 10 : 5.20 %
3/4"	19.000	0.00	0.00	0.00	100.00		A. media Nº 10 - Nº 40 : 12.40 %
1/2"	12.500	0.00	0.00	0.00	100.00		A. fina Nº 40 - Nº 200 : 12.20 %
3/8"	9.500	0.00	0.00	0.00	100.00		
Nº 4	4.750	0.00	0.00	0.00	100.00		<b>CARACTERISTICAS:</b>
Nº 8	2.360	13.00	2.60	2.60	97.40		LL (ASTM D4318-17): 48.73 %
Nº 10	2.000	13.00	2.60	5.20	94.80		LP (ASTM D4318-17): 37.03 %
Nº 16	1.190	14.00	2.80	8.00	92.00		IP (ASTM D4318-17): 11.70 %
Nº 20	0.850	25.00	5.00	13.00	87.00		
Nº 30	0.600	14.00	2.80	15.80	84.20		Clasificación (SUCS) : MH
Nº 40	0.425	9.00	1.80	17.60	82.40		
Nº 60	0.250	20.00	4.00	21.60	78.40		
Nº 140	0.106	21.00	4.20	25.80	74.20		
Nº 200	0.075	20.00	4.00	29.80	70.20		
< Nº 200	FONDO	351.00	70.20	100.00	0.00		

**CURVA DE DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA**



OBSERVACIONES: Tamaño Máximo de partículas: Nº 4

Técnico de Laboratorio:

Firma:

CIEXLIAN Y LABORATORIO  
Ing. Hermes Rojas Tiravanti  
REG. CIP. 348840

CIEXLIAN Y LABORATORIO  
Gilmer Yosi Vásquez Baldaña  
TÉCNICO EN LABORATORIO



**LÍMITES DE ATTERBERG**  
(A.S.T.M D 4318) / (A.A.S.H.T.O T 89)

CIEXLIAN S.R.L - LABORATORIO  
RUC : 20604291641  
CEL:950589432 CORREO:ciexlianlab@gmail.com

Pag: 7 de 9

**LABORATORIO MECANICA DE SUELOS Y CONCRETO**

**MATERIAL:** COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL SUELO TRATADO CON CAL SOMETIDO A DIFERENTES TEMPERATURAS DURANTE EL CURADO, SUBRASANTE DE LA CARRETERA CAMPAMENTO TÚNEL CONCHANO – SIVINGAN BAJO, CHOTA

**UBICACIÓN:** CARRETERA CAMPAMENTO TÚNEL CONCHANO – SIVINGAN BAJO, CHOTA

**CLIENTE:** JOSÉ RONALDO ESTELA TAN - EVER IVAN SÁNCHEZ VÁZQUEZ

**FECHA DE INF:** 16/09/2024

**S.N.+5% DE CAL A TEMPERATURA AMBIENTE (18°C)**

**DATOS DE LA MUESTRA**

**Muestra/Calicata:** CA-2

**Fecha de Muestreo:** 5/09/2024

**Prof.(m):** 1.50-3.00 m

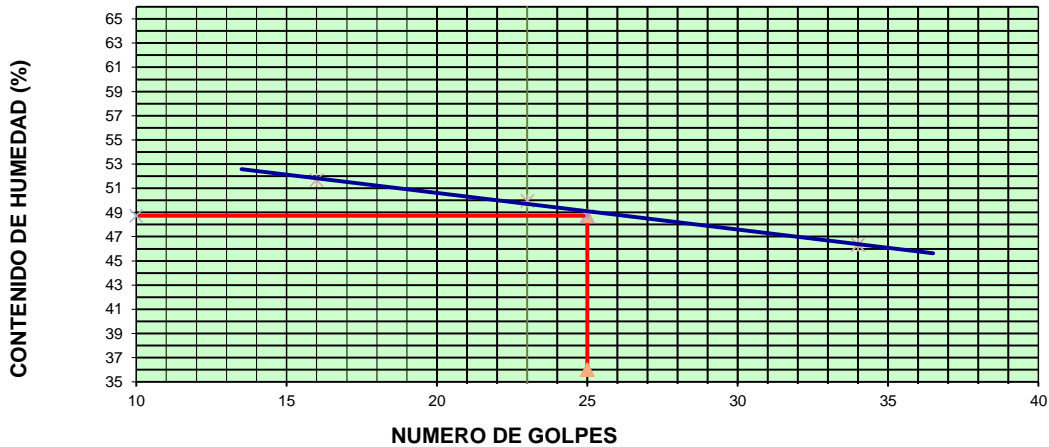
**LIMITE LIQUIDO**

Descripción	Und	Ensayos			Observaciones
		T- 203	T- 207	T- 215	
Nº TARRO					
PESO TARRO + SUELO HUMEDO	(g)	33.10	29.34	29.86	
PESO TARRO + SUELO SECO	(g)	26.95	24.76	24.99	
PESO DE AGUA	(g)	6.15	4.58	4.87	
PESO DE LA TARA	(g)	15.05	15.59	14.48	
PESO DEL SUELO SECO	(g)	11.90	9.17	10.51	
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	51.68	49.95	46.34	57.17
NUMERO DE GOLPES		16	23	34	

**LIMITE PLASTICO**

Descripción	Und	Ensayos		Observaciones
		T-409	T-411	
Nº TARRO				
PESO TARRO + SUELO HUMEDO	(g)	16.80	15.65	
PESO TARRO + SUELO SECO	(g)	16.51	15.49	
PESO DE AGUA	(g)	0.29	0.16	
PESO DE LA TARA	(g)	15.70	15.06	
PESO DEL SUELO SECO	(g)	0.81	0.43	
CONTENIDO DE DE HUMEDAD	(%)	35.80	38.25	

**CONTENIDO DE HUMEDAD A 25 GOLPES**



**CONSTANTES FISICAS DE LA MUESTRA**

LIMITE LIQUIDO	%	48.73
LIMITE PLASTICO	%	37.03
INDICE DE PLASTICIDAD	%	11.70

**OBSERVACIONES:**

La condición de secado de la muestra fue en Horno a 110C° +/- 5C°

**Técnico de Laboratorio:**

**Firma:**

CIEXLIAN Y LABORATORIO  
Ing. Hermes Rojas Trivanti  
REG. CIP. 348840

CIEXLIAN Y LABORATORIO  
Gülmar Yoel Vásquez Baldaño  
TÉCNICO EN LABORATORIO



**ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO**  
(ASTM D-1557)

CIEXLIAN S.R.L - LABORATORIO  
RUC : 20604291641  
CEL:950589432  
CORREO:ciexlianlab@gmail.com

Pag:8 de 9

**LABORATORIO MECANICA DE SUELOS Y CONCRETO**

**MATERIAL:** COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL SUELO TRATADO CON CAL SOMETIDO A DIFERENTES TEMPERATURAS DURANTE EL CURADO, SUBRASANTE DE LA CARRETERA CAMPAMENTO TÚNEL CONCHANO – SIVINGAN BAJO, CHOTA

**UBICACIÓN:** CARRETERA CAMPAMENTO TÚNEL CONCHANO – SIVINGAN BAJO, CHOTA

**SOLICITANTE:** JOSÉ RONALDO ESTELA TAN - EVER IVAN SÁNCHEZ VÁZQUEZ

**FECHA DE INFORME**

16/09/2024

S.N+5% DE CAL A TEMPERATURA AMBIENTE (18°C)

**DATOS DE LA MUESTRA**

**Material:** C-2

**Muestra/Calicata:** CA-2

**Fecha de Muestreo:** 5/09/2024

**Prof.(m):** 1.50-3.00 m

**METODO DE COMPACTACION:**

A

**Peso de Martillo (gr):**

4536.4

**Tipo de pisón:** Manual

**Vol. Mold.**

**Peso del Molde (gr):** 3963

(cm3):

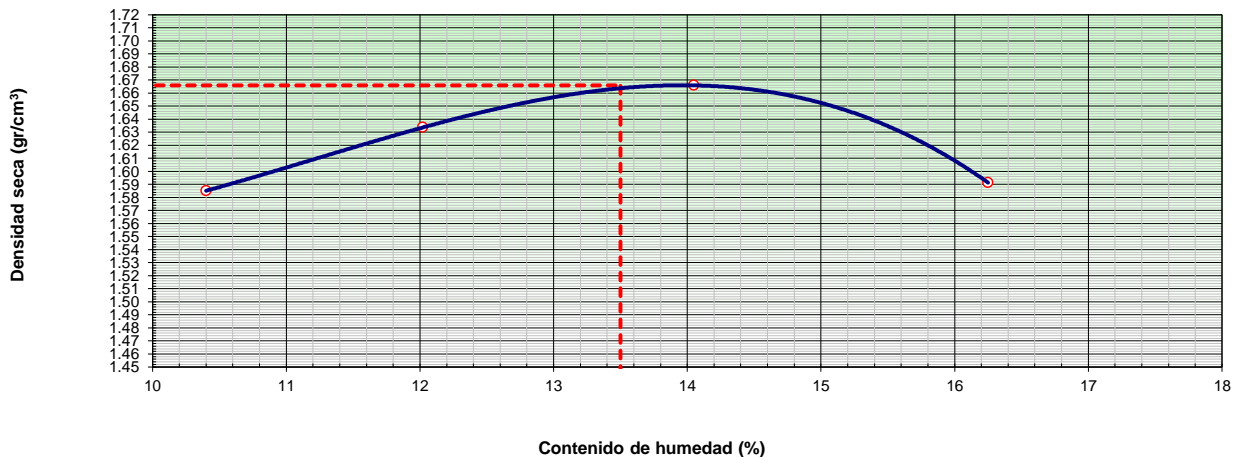
921.33

.....		1	2	3	4	OBSERVACION
Peso suelo + molde		5575	5649	5714	5667	
Peso neto del suelo húmedo		1612	1686	1751	1704	
Peso volumétrico húmedo		1.750	1.830	1.900	1.850	
Tara		T1	T2	T3	T4	
Peso del suelo húmedo+tara		52.05	56.69	58.31	55.51	
Peso del suelo seco + tara		48.56	52.35	53.25	49.65	
Peso de Tara		15.05	16.25	17.25	13.58	
Peso de agua		3.49	4.34	5.06	5.86	
Peso del suelo seco		33.51	36.10	36.00	36.07	
Contenido de Humedad	%	10.40	12.02	14.05	16.25	13.50
Peso volumétrico seco		1.59	1.63	1.67	1.59	

**Máxima Densidad Seca (gr/cm<sup>3</sup>) :** 1.67

**Óptimo Contenido de Humedad (%):** 13.5

**CURVA DE COMPACTACIÓN**



**OBSERVACIONES :**

**Técnico de Laboratorio:** \_\_\_\_\_

**Firma:** \_\_\_\_\_

CIEXLIAN Y LABORATORIO  
Ing. Hermes Rojas Tiravanti  
REG. CP. 348840

CIEXLIAN Y LABORATORIO  
Gülmer Yoel Vázquez Baldaño  
TÉCNICO EN LABORATORIO



**ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO  
(MTC E-132 / A.S.T.M D 1883 / AASHTO- T 193)**

CIEXLIAN S.R.L -  
LABORATORIO  
RUC : 20604291641  
CEL:950589432

**LABORATORIO MECANICA DE SUELOS Y CONCRETO**

**MATERIAL:** COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL SUELO TRATADO CON CAL SOMETIDO A DIFERENTES TEMPERATURAS DURANTE EL CURADO, SUBRASANTE DE LA CARRETERA CAMPAMENTO TÚNEL CONCHANO – SIVINGAN BAJO, CHOTA

**UBICACIÓN:** CARRETERA CAMPAMENTO TÚNEL CONCHANO – SIVINGAN BAJO, CHOTA

**SOLICITANTE:** JOSÉ RONALDO ESTELA TAN - EVER IVAN SÁNCHEZ VÁZQUEZ

**FECHA DE INFORME:** 16/09/2024

**S.N+5% DE CAL A TEMPERATURA AMBIENTE (18°C)**

**DATOS DE LA MUESTRA**

**Material:** C-2

**Fecha de Muestreo:** 5/09/2024

**Fecha de Recepción:** 5/09/2024

**Prof.(m):** 1.50-3.00 m

**C.B.R.**

MOLDE N°	4		5		6	
	56		25		12	
N° DE GOLPES POR CAPA						
CONDICIÓN DE MUESTRA	SIN MOJAR	MOJADA	SIN MOJAR	MOJADA	SIN MOJAR	MOJADA
PESO MOLDE + SUELO HUMEDO (gr)	11511.92		11459.00		11300.25	
PESO DEL MOLDE (gr)	7565.00		7562.00		7578.00	
PESO DEL SUELO HUMEDO (gr)	3946.92		3897.00		3722.25	
VOLUMEN DEL SUELO (cm <sup>3</sup> )	2122.00		2165.00		2127.00	
DENSIDAD HUMEDA (gr/cm <sup>3</sup> )	1.86		1.80		1.75	
CAPSULA N°	1		3		5	
PESO CAPSULA + SUELO HUMEDO (gr)	67.89		53.20		67.46	
PESO CAPSULA + SUELO SECO (gr)	63.25		48.98		62.85	
PESO DE AGUA CONTENIDA (gr)	4.64		4.22		4.61	
PESO DE CAPSULA (gr)	27.58		16.58		27.54	
PESO DE SUELO SECO (gr)	35.67		32.40		35.31	
HUMEDAD (%)	13.00%		13.02%		13.05%	
DENSIDAD SECA (gr/cm <sup>3</sup> )	1.65		1.59		1.55	

**EXPANSIÓN**

DÍAS	HORAS	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION	
			mm	%		mm	%		mm	%
0	0	0.00	0.00		0.000	0.00		0.000	0.00	
1	1	120.00	3.05		140.000	3.56		160.000	4.06	
2	2	130.00	3.30		160.000	4.06		180.000	4.57	
3	3	100.00	2.54		150.000	3.81		230.000	5.84	
4	4	150.00	3.81		180.000	4.57		250.000	6.35	
5	5	150.00	3.81		200.000	5.08		265.000	6.73	
6	6	200.00	5.08		250.000	6.35		300.000	7.62	
7	7	250.00	6.35	3.59	300.000	7.62	4.31	350.000	8.89	5.023

**PENETRACION**

PENETRACION	PULG.	CARGA ESTÁNDAR (Lbs/pulg <sup>2</sup> )	MOLDE N° 1				MOLDE N° 2				MOLDE N° 3			
			CARGA	CORECCION			CARGA	CORECCION			CARGA	CORECCION		
				Lectura	Lbs	lbs/pulg <sup>2</sup>		%	Lectura	Lbs		lbs/pulg <sup>2</sup>	%	Lectura
0.000			0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00	
0.020			15.36	34	11.33		12.25	27	9.00		8.20	18	6.00	
0.040			36.56	81	27.00		23.58	52	17.33		18.45	41	13.67	
0.060			52.35	115	38.33		35.24	78	26.00		27.85	61	20.33	
0.080			65.14	144	48.00		55.69	123	41.00		35.35	78	26.00	
0.100		1000	88.25	195	65.00	6.50	68.45	151	50.33	5.03	45.68	101	33.67	3.37
0.200		1500	168.25	371	123.67		155.50	343	114.33		75.25	166	55.33	
0.300			230.59	508	169.33		200.23	441	147.00		120.25	265	88.33	
0.400			290.25	640	213.33		245.14	540	180.00		150.25	331	110.33	
0.500			324.50	715	238.33		274.68	606	202.00		176.25	389	129.67	

CIEXLIAN Y LABORATORIO  
 Ing. Hermes Rojas Tiravanti  
 REG. CIP. 348840

CIEXLIAN Y LABORATORIO  
 Guillermo Yáñez Baldaña  
 TÉCNICO EN LABORATORIO



**ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO  
(MTC E-132 / A.S.T.M D 1883 / AASHTO- T 193)**

CIEXLIAN S.R.L -  
LABORATORIO  
RUC : 20604291641  
CEL:950589432

**LABORATORIO MECANICA DE SUELOS Y CONCRETO**

**MATERIAL:** COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL SUELO TRATADO CON CAL SOMETIDO A DIFERENTES TEMPERATURAS DURANTE EL CURADO, SUBRASANTE DE LA CARRETERA CAMPAMENTO TÚNEL CONCHANO – SIVINGAN BAJO, CHOTA

**UBICACIÓN:** CARRETERA CAMPAMENTO TÚNEL CONCHANO – SIVINGAN BAJO, CHOTA

**SOLICITANTE:** JOSÉ RONALDO ESTELA TAN - EVER IVAN SÁNCHEZ VÁZQUEZ

**FECHA DE INFORME:** 16/09/2024

**S.N+5% DE CAL A TEMPERATURA AMBIENTE (18°C)**

**DATOS DE LA MUESTRA**

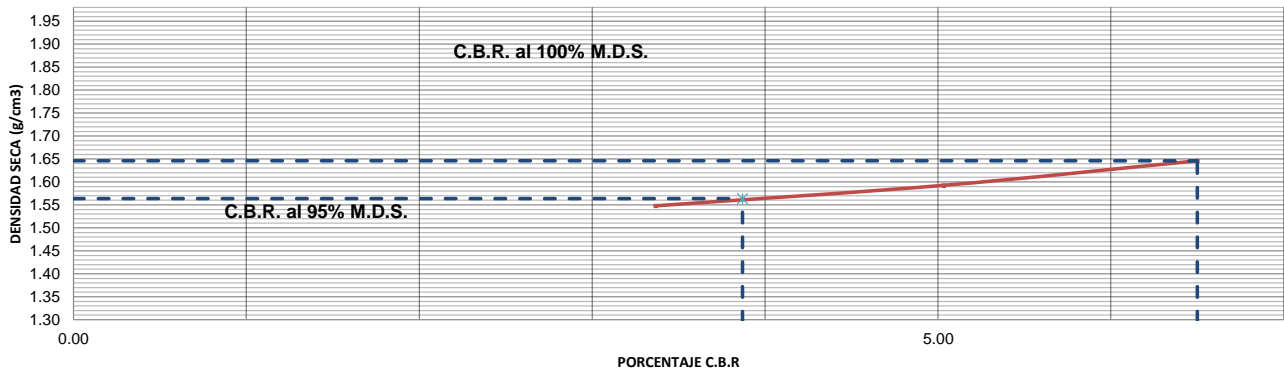
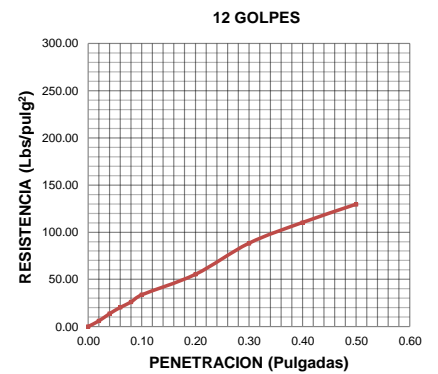
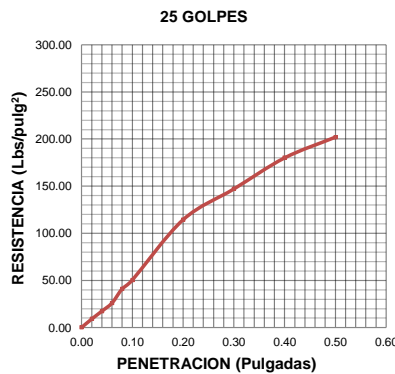
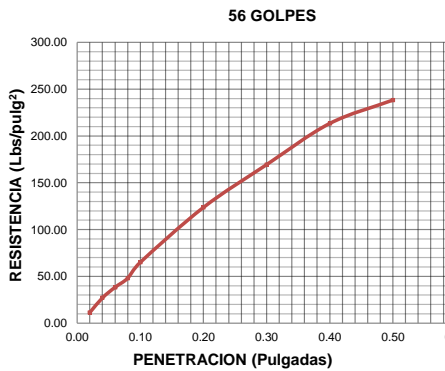
**Material:** C-2

**DATOS DEL PROCTOR**

DENSIDAD MAXIMA (gr/cm3)	1.67
HUMEDAD OPTIMA (%)	13.50

**DATOS DEL C.B.R.**

CBR al 100% de M.D.S. (%)	6.50
CBR al 95% de M.D.S. (%)	3.87



Técnico de Laboratorio:

CIEXLIAN Y LABORATORIO  
 Ing. Hermes Rojas Tiravanti  
 REG. CIP 348840

CIEXLIAN Y LABORATORIO  
 Gilmer Yoel Vásquez Baldaña  
 TÉCNICO EN LABORATORIO



**ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO  
(MTC E-132 / A.S.T.M D 1883 / AASHTO- T 193)**

CIEXLIAN S.R.L -  
LABORATORIO  
RUC : 20604291641  
CEL:950589432

**LABORATORIO MECANICA DE SUELOS Y CONCRETO**

**MATERIAL:** COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL SUELO TRATADO CON CAL SOMETIDO A DIFERENTES TEMPERATURAS DURANTE EL CURADO, SUBRASANTE DE LA CARRETERA CAMPAMENTO TÚNEL CONCHANO – SIVINGAN BAJO, CHOTA

**UBICACIÓN:** CARRETERA CAMPAMENTO TÚNEL CONCHANO – SIVINGAN BAJO, CHOTA

**SOLICITANTE:** JOSÉ RONALDO ESTELA TAN - EVER IVAN SÁNCHEZ VÁZQUEZ

**FECHA DE INFORME:** 16/09/2024

**S.N.+5% DE CAL A TEMPERATURA AMBIENTE (24°C)**

**DATOS DE LA MUESTRA**

**Material:** C-2

**Fecha de Muestreo:** 5/09/2024

**Fecha de Recepción:** 5/09/2024

**Prof.(m):** 1.50-3.00 m

**C.B.R.**

MOLDE N°	4		5		6	
	56		25		12	
N° DE GOLPES POR CAPA						
CONDICION DE MUESTRA	SIN MOJAR	MOJADA	SIN MOJAR	MOJADA	SIN MOJAR	MOJADA
PESO MOLDE + SUELO HUMEDO (gr)	11554.36		11523.95		11342.79	
PESO DEL MOLDE (gr)	7565.00		7562.00		7578.00	
PESO DEL SUELO HUMEDO (gr)	3989.36		3961.95		3764.79	
VOLUMEN DEL SUELO (cm <sup>3</sup> )	2122.00		2165.00		2127.00	
DENSIDAD HUMEDA (gr/cm <sup>3</sup> )	1.88		1.83		1.77	
CAPSULA N°	1		3		5	
PESO CAPSULA + SUELO HUMEDO (gr)	60.71		70.27		61.54	
PESO CAPSULA + SUELO SECO (gr)	55.55		66.54		58.98	
PESO DE AGUA CONTENIDA (gr)	5.16		3.73		2.56	
PESO DE CAPSULA (gr)	14.25		36.25		38.25	
PESO DE SUELO SECO (gr)	41.30		30.29		20.73	
HUMEDAD (%)	12.50%	12.50%	12.32%		12.33%	
DENSIDAD SECA (gr/cm <sup>3</sup> )	1.67		1.63		1.58	

**EXPANSIÓN**

DÍAS	HORAS	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION	
			mm	%		mm	%		mm	%
0	0	0.00	0.00		0.000	0.00		0.000	0.00	
1	24	121.00	3.07		140.000	3.56		156.000	3.96	
2	48	130.00	3.30		160.000	4.06		180.000	4.57	
3	72	105.00	2.67		150.000	3.81		233.000	5.92	
4	96	150.00	3.81		180.000	4.57		251.000	6.38	
5	120	155.00	3.94		289.000	7.34		262.000	6.65	
6	144	200.00	5.08		239.000	6.07		290.000	7.37	
7	168	245.00	6.22	3.52	290.000	7.37	4.16	348.250	8.85	4.997

**PENETRACION**

PENETRACION	PULG.	CARGA ESTÁNDAR	MOLDE N° 1				MOLDE N° 2				MOLDE N° 3			
			CARGA	CORECCION			CARGA	CORECCION			CARGA	CORECCION		
		(Lbs/pulg <sup>2</sup> )	Lectura	Lbs	lbs/pulg <sup>2</sup>	%	Lectura	Lbs	lbs/pulg <sup>2</sup>	%	Lectura	Lbs	lbs/pulg <sup>2</sup>	%
0.000			0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00	
0.020			20.14	44	14.67		14.58	32	10.67		11.11	24	8.00	
0.040			43.25	95	31.67		27.58	61	20.33		25.58	56	18.67	
0.060			65.24	144	48.00		38.47	85	28.33		36.25	80	26.67	
0.080			83.25	184	61.33		55.45	122	40.67		45.24	100	33.33	
0.100		1000	100.58	222	74.00	7.40	77.58	171	57.00	5.70	60.25	133	44.33	4.43
0.200		1500	177.10	390	130.00		139.25	307	102.33		95.25	210	70.00	
0.300			266.25	587	195.67		198.25	437	145.67		145.25	320	106.67	
0.400			325.14	717	239.00		245.08	540	180.00		179.23	395	131.67	
0.500			350.45	773	257.67		278.25	613	204.33		198.35	437	145.67	

CIEXLIAN Y LABORATORIO  
Ing. Hermes Rojas Tiravanti  
REG. CIP. 349840

CIEXLIAN Y LABORATORIO  
Gülmer Yoel Vázquez Baldaña  
TÉCNICO EN LABORATORIO



### ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (MTC E-132 / A.S.T.M D 1883 / AASHTO- T 193)

CIEXLIAN S.R.L -  
LABORATORIO  
RUC : 20604291641  
CEL.950589432

#### LABORATORIO MECANICA DE SUELOS Y CONCRETO

**MATERIAL:** COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL SUELO TRATADO CON CAL SOMETIDO A DIFERENTES TEMPERATURAS DURANTE EL CURADO, SUBRASANTE DE LA CARRETERA CAMPAMENTO TÚNEL CONCHANO – SIVINGAN BAJO, CHOTA

**UBICACIÓN:** CARRETERA CAMPAMENTO TÚNEL CONCHANO – SIVINGAN BAJO, CHOTA

**SOLICITANTE:** JOSÉ RONALDO ESTELA TAN - EVER IVAN SÁNCHEZ VÁZQUEZ

**FECHA DE INFORME:** 16/09/2024

S.N+5% DE CAL A TEMPERATURA AMBIENTE (24°C)

#### DATOS DE LA MUESTRA

**Material:** C-2

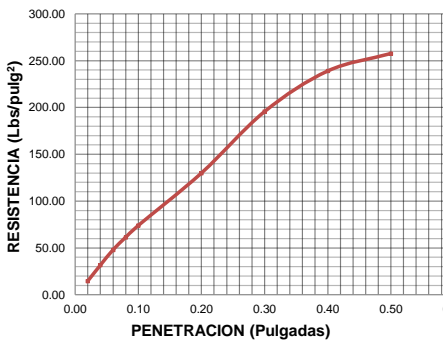
#### DATOS DEL PROCTOR

DENSIDAD MAXIMA (gr/cm <sup>3</sup> )	1.67
HUMEDAD OPTIMA (%)	13.50

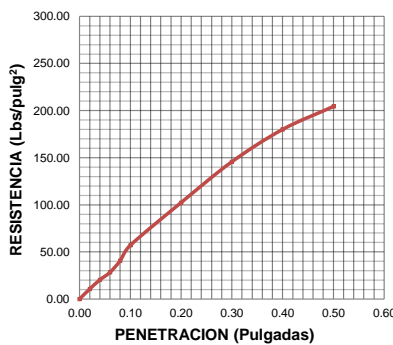
#### DATOS DEL C.B.R.

CBR al 100% de M.D.S. (%)	7.40
CBR al 95% de M.D.S. (%)	4.80

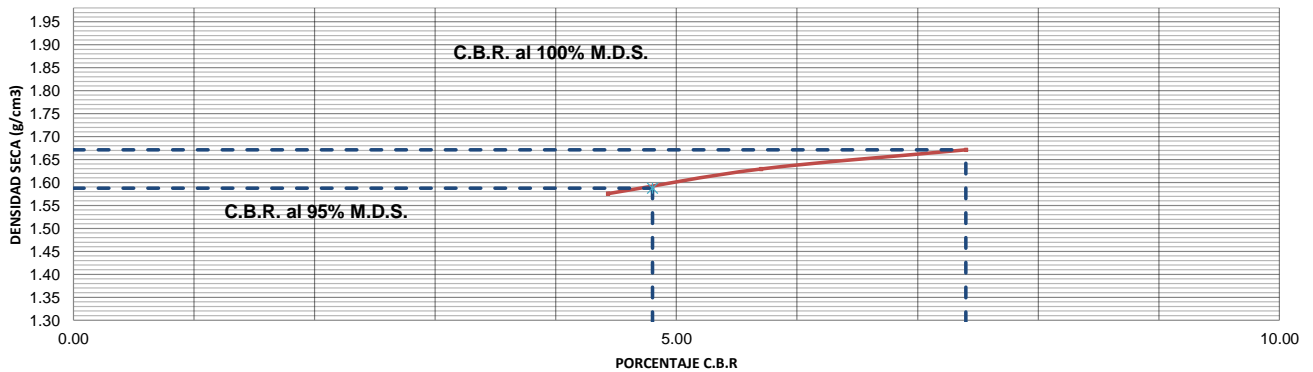
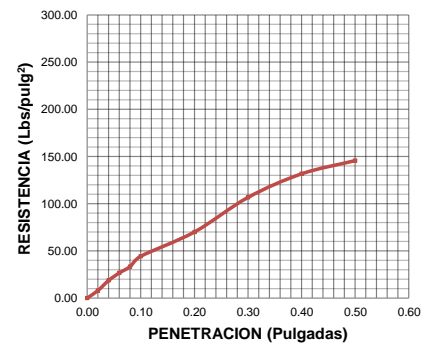
56 GOLPES



25 GOLPES



12 GOLPES



Técnico de Laboratorio: 0,00

CIEXLIAN Y LABORATORIO  
Ing. Hermes Rojas Tiravani  
REG. CIP. 348840

CIEXLIAN Y LABORATORIO  
Gilmer Yoel Vázquez Baldaña  
TÉCNICO EN LABORATORIO



**ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO  
(MTC E-132 / A.S.T.M D 1883 / AASHTO- T 193)**

CIEXLIAN S.R.L -  
LABORATORIO  
RUC : 20604291641  
CEL:950589432

Pag: 9 de 9

**LABORATORIO MECANICA DE SUELOS Y CONCRETO**

**MATERIAL:** COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL SUELO TRATADO CON CAL SOMETIDO A DIFERENTES TEMPERATURAS DURANTE EL CURADO, SUBRASANTE DE LA CARRETERA CAMPAMENTO TÚNEL CONCHANO – SIVINGAN BAJO, CHOTA

**UBICACIÓN:** CARRETERA CAMPAMENTO TÚNEL CONCHANO – SIVINGAN BAJO, CHOTA

**SOLICITANTE:** JOSÉ RONALDO ESTELA TAN - EVER IVAN SÁNCHEZ VÁZQUEZ

**FECHA DE INFORME:** 16/09/2024

**S.N.+5% DE CAL A TEMPERATURA AMBIENTE (30°C)**

**DATOS DE LA MUESTRA**

**Material:** C-2

**Fecha de Muestreo:** 5/09/2024

**Fecha de Recepción:** 5/09/2024

**Prof.(m):** 1.50-3.00 m

**C.B.R.**

MOLDE N°	4		5		6	
	56		25		12	
N° DE GOLPES POR CAPA						
CONDICION DE MUESTRA	SIN MOJAR	MOJADA	SIN MOJAR	MOJADA	SIN MOJAR	MOJADA
PESO MOLDE + SUELO HUMEDO (gr)	11618.02		11588.90		11172.63	
PESO DEL MOLDE (gr)	7565.00		7562.00		7578.00	
PESO DEL SUELO HUMEDO (gr)	4053.02		4026.90		3594.63	
VOLUMEN DEL SUELO (cm <sup>3</sup> )	2122.00		2165.00		2127.00	
DENSIDAD HUMEDA (gr/cm <sup>3</sup> )	1.91		1.86		1.69	
CAPSULA N°	1		3		5	
PESO CAPSULA + SUELO HUMEDO (gr)	74.50		81.46		74.99	
PESO CAPSULA + SUELO SECO (gr)	70.25		76.69		68.54	
PESO DE AGUA CONTENIDA (gr)	4.25		4.77		6.45	
PESO DE CAPSULA (gr)	36.25		38.56		17.04	
PESO DE SUELO SECO (gr)	34.00		38.13		51.50	
HUMEDAD (%)	12.50%	12.50%	12.52%		12.53%	
DENSIDAD SECA (gr/cm <sup>3</sup> )	1.70		1.65		1.50	

**EXPANSIÓN**

DÍAS	HORAS	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION	
			mm	%		mm	%		mm	%
0	0	0.00	0.00		0.000	0.00		0.000	0.00	
1	24	121.00	3.07		140.000	3.56		156.000	3.96	
2	48	132.00	3.35		165.000	4.19		189.000	4.80	
3	72	110.00	2.79		160.000	4.06		233.000	5.92	
4	96	150.00	3.81		180.000	4.57		251.000	6.38	
5	120	155.00	3.94		290.000	7.37		262.000	6.65	
6	144	199.00	5.05		245.000	6.22		295.000	7.49	
7	168	248.00	6.30	3.56	310.000	7.87	4.45	330.000	8.38	4.74

**PENETRACION**

PENETRACION PULG.	CARGA ESTÁNDAR (Lbs/pulg <sup>2</sup> )	MOLDE N° 1				MOLDE N° 2				MOLDE N° 3			
		CARGA Lectura	Lbs	lbs/pulg <sup>2</sup>	%	CARGA Lectura	Lbs	lbs/pulg <sup>2</sup>	%	CARGA Lectura	Lbs	lbs/pulg <sup>2</sup>	%
0.000		0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00	
0.020		55.20	122	40.67		24.35	54	18.00		20.35	45	15.00	
0.040		88.21	194	64.67		35.21	78	26.00		30.25	67	22.33	
0.060		105.60	233	77.67		70.58	156	52.00		46.35	102	34.00	
0.080		130.25	287	95.67		88.99	196	65.33		58.25	128	42.67	
0.100	1000	145.00	320	106.67	10.67	120.35	265	88.33	8.83	72.58	160	53.33	5.33
0.200	1500	230.25	508	169.33		175.32	387	129.00		120.35	265	88.33	
0.300		288.12	635	211.67		221.47	488	162.67		170.25	375	125.00	
0.400		350.25	772	257.33		260.34	574	191.33		216.41	477	159.00	
0.500		380.25	838	279.33		280.69	619	206.33		250.65	553	184.33	

CIEXLIAN Y LABORATORIO  
Ing. Heriberto Rojas Tiravanti  
REG. CIP. 348840

CIEXLIAN Y LABORATORIO  
Gilmar Yosi Vásquez Baldaña  
TÉCNICO EN LABORATORIO



**ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO  
(MTC E-132 / A.S.T.M D 1883 / AASHTO- T 193)**

CIEXLIAN S.R.L -  
LABORATORIO  
RUC : 20604291641  
CEL:950589432

**LABORATORIO MECANICA DE SUELOS Y CONCRETO**

**MATERIAL:** COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL SUELO TRATADO CON CAL SOMETIDO A DIFERENTES TEMPERATURAS DURANTE EL CURADO, SUBRASANTE DE LA CARRETERA CAMPAMENTO TÚNEL CONCHANO – SIVINGAN BAJO, CHOTA

**UBICACIÓN:** CARRETERA CAMPAMENTO TÚNEL CONCHANO – SIVINGAN BAJO, CHOTA

**SOLICITANTE:** JOSÉ RONALDO ESTELA TAN - EVER IVAN SÁNCHEZ VÁZQUEZ

**FECHA DE INFORME:** 16/09/2024

**S.N+5% DE CAL A TEMPERATURA AMBIENTE (30°C)**

**DATOS DE LA MUESTRA**

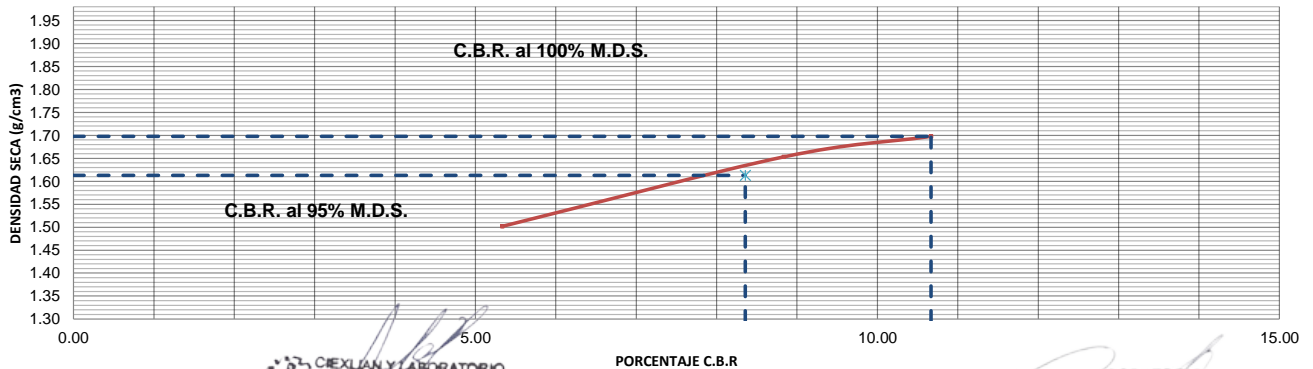
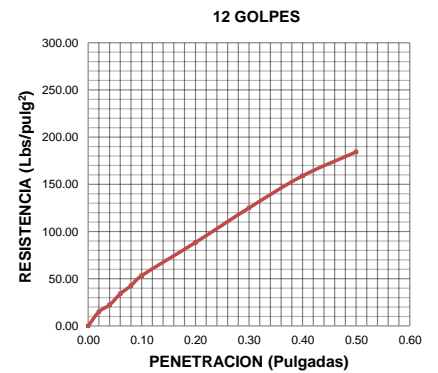
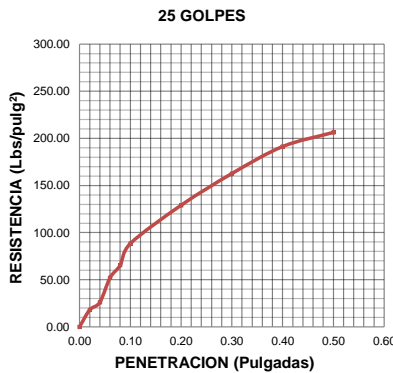
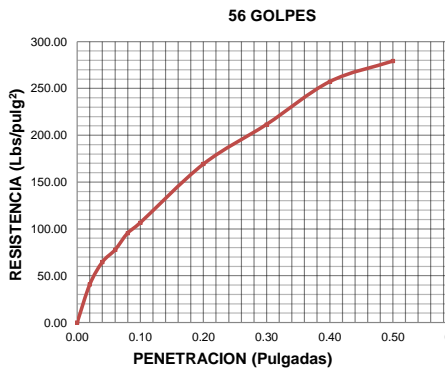
**Material:** C-2

**DATOS DEL PROCTOR**

DENSIDAD MAXIMA (gr/cm3)	1.67
HUMEDAD OPTIMA (%)	13.50

**DATOS DEL C.B.R.**

CBR al 100% de M.D.S. (%)	10.67
CBR al 95% de M.D.S. (%)	8.36



Técnico de Laboratorio: *Hermes Rojas Trivanti*

CIEXLIAN Y LABORATORIO  
*Yael Vázquez Saldaña*  
TÉCNICO EN LABORATORIO

## ENSAYO CALIFORNIA BEARNING RATIO

### TESIS

“COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL SUELO TRATADO CON CAL SOMETIDO A DIFERENTES TEMPERATURAS DURANTE EL CURADO, SUBRASANTE DE LA CARRETERA CAMPAMENTO TÚNEL CONCHANO – SIVINGAN BAJO, CHOTA”

### ENSAYO DE COMPRESIÓN NO CONFINADA

### CALICATA C-01

### SOLICITANTE

JOSÉ RONALDO ESTELA TAN - EVER IVÁN SÁNCHEZ VÁZQUEZ



Chota, Perú del 2024



**CIEXLIAN S.R.L - LABORATORIO**  
**RUC : 20604291641**  
**ENSAYO DE COMPRESIÓN NO CONFINADA**  
**(MTC E-115 / A.S.T.M-1557 / AASHTO- T 180)**

**CIEXLIAN S.R.L -  
LABORATORIO**

**COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL SUELO TRATADO CON CAL SOMETIDO A DIFERENTES TEMPERATURAS DURANTE EL CURADO, SUBRASANTE DE LA CARRETERA CAMPAMENTO TÚNEL CONCHANO – SIVINGAN BAJO, CHOTA**

**FECHA DE INFORME:**

**TESIS:**

**SOLICITANTE**

JOSÉ RONALDO ESTELA TAN - EVER IVAN SÁNCHEZ VÁZQUEZ

16/10/2024

**CALICATA** C-01


**PROFUNDIDAD** 1.50.m


**Muestra N° SUELO NATURAL A TEMPERATURA AMBIENTE (18°C)**

MUESTRAS	PARTE SUPERIOR DE PROBETA		PARTE MEDIA DE PROBETA		PARTE MEDIA DE PROBETA		LONGUITUD	
	D.S.P	AREA	DMP	ÁREA	DIP	ÁREA	Li	Lf
M-1	10.00	78.54	11.98	112.721	10	78.54	15	13.56
M-2	10.00	78.54	11.99	112.909	10	78.54	15	13.5
M -3	10.00	78.54	12.03	113.664	10	78.54	15	13.52
ÁREA (cm2)	M-1	M-2	M-3					
PROMEDIO	95.63	95.72	96.10					
MUESTRA	Deformación(c m)	Longitud F(cm)	Lectura Carga (kg)	D.U (€)	F.C (1-€)	Area P (cm2)	Esfuerzo Desviador (kg/cm2)	Resistencia al Corte (kg/cm2)
M-1	1.440	13.560	250.250	0.096000	0.904000	105.786	2.366	1.183
M-2	1.500	13.500	245.680	0.100000	0.900000	106.361	2.310	1.155
M-3	1.480	13.520	253.650	0.098667	0.901333	106.622	2.379	1.189

**S.N+5% DE CAL A TEMPERATURA AMBIENTE (4°C)**

MUESTRAS	PARTE SUPERIOR DE PROBETA		PARTE MEDIA DE PROBETA		PARTE MEDIA DE PROBETA		LONGUITUD	
	D.S.P	AREA	DMP	ÁREA	DIP	ÁREA	Li	Lf
M-1	10.00	78.54	11.05	95.899	11.5	103.87	15	13.89
M-2	10.00	78.54	11.02	95.379	11	95.03	15	13.95
M -3	10.00	78.54	10.99	94.861	11.03	95.55	15	13.91
ÁREA (cm2)	M-1	M-2	M-3					
PROMEDIO	93.55	91.08	90.95					
MUESTRA	Deformación(c m)	Longitud F(cm)	Lectura Carga (kg)	D.U (€)	F.C (1-€)	Area P (cm2)	Esfuerzo Desviador (kg/cm2)	Resistencia al Corte (kg/cm2)
M-1	1.110	13.890	684.364	0.074000	0.926000	101.028	6.774	3.387
M-2	1.050	13.950	662.262	0.070000	0.930000	97.939	6.762	3.381
M-3	1.090	13.910	675.776	0.072667	0.927333	98.081	6.890	3.445

  
 CIEXLIAN Y LABORATORIO  
 Ing. Hermes Rojas Tiravani  
 REG. C.O. 10840  
 tecnico laboratorio

  
 CIEXLIAN Y LABORATORIO  
 Guimer Yoel Vázquez Baldaña  
 tecnico laboratorio



**CIEXLIAN S.R.L - LABORATORIO**  
**RUC : 20604291641**  
**ENSAYO DE COMPRESIÓN NO CONFINADA**  
**(MTC E-115 / A.S.T.M-1557 / AASHTO- T 180)**

**CIEXLIAN S.R.L -  
LABORATORIO**

**TESIS:** COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL SUELO TRATADO CON CAL SOMETIDO A DIFERENTES TEMPERATURAS DURANTE EL CURADO, SUBRASANTE DE LA CARRETERA CAMPAMENTO TÚNEL CONCHANO – SIVINGAN BAJO, CHOTA

**SOLICITANTE** JOSÉ RONALDO ESTELA TAN - EVER IVAN SÁNCHEZ VÁZQUEZ

**CALICATA** C-01 **PROFUNDIDAD** 1.50.m

**FECHA DE INFORME:**

16/10/2024

**Muestra N° S.N+5% DE CAL A TEMPERATURA AMBIENTE (16°C)**

MUESTRAS	PARTE SUPERIOR DE PROBETA		PARTE MEDIA DE PROBETA		PARTE MEDIA DE PROBETA		LONGITUD	
	D.S.P	AREA	DMP	ÁREA	DIP	ÁREA	Li	Lf
M-1	10.00	78.54	11.02	95.38	11.5	103.869	15	13.65
M-2	10.00	78.54	11.02	95.38	11	95.033	15	13.60
M -3	10.00	78.54	11.04	95.73	11.03	95.552	15	13.70
ÁREA (cm2)	M-1	M-2	M-3					
PROMEDIO	93.29	91.08	91.39					

MUESTRA	Deformación(c m)	Longitud F(cm)	Lectura Carga (kg)	D.U (€)	F.C (1-€)	Area P (cm2)	Esfuerzo Desviador (kg/cm2)	Resistencia al Corte (kg/cm2)
M-1	1.350	13.650	709.019	0.090000	0.910000	102.519	6.916	3.458
M-2	1.400	13.600	707.032	0.093333	0.906667	100.459	7.038	3.519
M-3	1.300	13.700	701.805	0.086667	0.913333	100.058	7.014	3.507

**Muestra N° S.N+5% DE CAL A TEMPERATURA AMBIENTE (18°C)**

MUESTRAS	PARTE SUPERIOR DE PROBETA		PARTE MEDIA DE PROBETA		PARTE MEDIA DE PROBETA		LONGITUD	
	D.S.P	AREA	DMP	ÁREA	DIP	ÁREA	Li	Lf
M-1	10.00	78.54	10.99	94.86	10	78.54	15	14.01
M-2	10.00	78.54	10.94	94.00	10	78.54	15	13.99
M -3	10.00	78.54	10.97	94.52	10	78.54	15	14.01
ÁREA (cm2)	M-1	M-2	M-3					
PROMEDIO	86.70	86.27	86.53					

MUESTRA	Deformación(c m)	Longitud F(cm)	Lectura Carga (kg)	D.U (€)	F.C (1-€)	Area P (cm2)	Esfuerzo Desviador (kg/cm2)	Resistencia al Corte (kg/cm2)
M-1	0.990	14.010	656.472	0.066000	0.934000	92.827	7.072	3.536
M-2	1.010	13.990	660.620	0.067333	0.932667	92.498	7.142	3.571
M-3	0.990	14.010	649.793	0.066000	0.934000	92.642	7.014	3.507

CIEXLIAN Y LABORATORIO  
 Ing. Hermés Rojas Tiravanti  
 REG. CIP. 348840

CIEXLIAN Y LABORATORIO  
 Gilmer Yoel Vázquez Baldaña  
 TÉCNICO EN LABORATORIO

tecnico laboratorio



**CIEXLIAN S.R.L - LABORATORIO**  
**RUC : 20604291641**  
**ENSAYO DE COMPRESIÓN NO CONFINADA**  
**(MTC E-115 / A.S.T.M-1557 / AASHTO- T 180)**

**CIEXLIAN S.R.L -  
LABORATORIO**

COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL SUELO TRATADO CON CAL SOMETIDO A DIFERENTES TEMPERATURAS DURANTE EL CURADO, SUBRASANTE DE LA CARRETERA CAMPAMENTO TÚNEL CONCHANO – SIVINGAN BAJO, CHOTA

TESIS:

SOLICITANTE : JOSÉ RONALDO ESTELA TAN - EVER IVAN SÁNCHEZ VÁZQUEZ

CALICATA C-01 PROFUNDID 1.50.m

FECHA DE INFORME:

16/10/2024

Muestra N° S.N+5% DE CAL A TEMPERATURA AMBIENTE (24°C)

MUESTRAS	PARTE SUPERIOR DE PROBETA		PARTE MEDIA DE PROBETA		PARTE MEDIA DE PROBETA		LONGUITUD	
	D.S.P	AREA	DMP	ÁREA	DIP	ÁREA	Li	Lf
M-1	10.00	78.54	11.08	96.42	10	78.54	15	14.02
M-2	10.00	78.54	11.15	97.64	10	78.54	15	14.01
M-3	10.00	78.54	11.07	96.25	10	78.54	15	14.03
ÁREA (cm2)	M-1	M-2	M-3					
PROMEDIO	87.48	88.09	87.39					

MUESTRA	Deformación (cm)	L F(cm)	Lectura Carga (kg)	D.U (€)	F.C (1-€)	Area P (cm2)	Esfuerzo Desviador (kg/cm2)	Resistencia al Corte (kg/cm2)
M-1	0.980	14.020	683.807	0.065333	0.934667	93.595	7.306	3.653
M-2	0.990	14.010	689.452	0.066000	0.934000	94.316	7.310	3.655
M-3	0.970	14.030	681.145	0.064667	0.935333	93.436	7.290	3.645

Muestra N° S.N+5% DE CAL A TEMPERATURA AMBIENTE (30°C)

MUESTRAS	PARTE SUPERIOR DE PROBETA		PARTE MEDIA DE PROBETA		PARTE MEDIA DE PROBETA		LONGUITUD	
	D.S.P	AREA	DMP	ÁREA	DIP	ÁREA	Li	Lf
M-1	10.00	78.54	11.02	95.38	11.5	103.869	15	14.01
M-2	10.00	78.54	11.03	95.55	11	95.033	15	14.01
M-3	10.00	78.54	11.05	95.90	11.03	95.552	15	13.98
ÁREA (cm2)	M-1	M-2	M-3					
PROMEDIO	93.29	91.17	91.47					

MUESTRA	Deformación (cm)	Longitud F(cm)	Lectura Carga (kg)	D.U (€)	F.C (1-€)	Area P (cm2)	Esfuerzo Desviador (kg/cm2)	Resistencia al Corte (kg/cm2)
M-1	0.990	14.010	706.981	0.066000	0.934000	99.884	7.078	3.539
M-2	0.990	14.010	690.507	0.066000	0.934000	97.612	7.074	3.537
M-3	1.020	13.980	691.542	0.068000	0.932000	98.147	7.046	3.523

CIEXLIAN Y LABORATORIO  
Ing. Hermes Rojas Tiravanti  
REG. CIP 348840

CIEXLIAN Y LABORATORIO  
Gilmer Yoel Vázquez Baldaña  
TÉCNICO EN LABORATORIO

tecnico laboratorio

## ENSAYO DE COMPRESIÓN NO CONFINADA (MTC E-115 / A.S.T.M-1557 / AASHTO- T 180)

### TESIS

“COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL SUELO TRATADO CON CAL SOMETIDO A DIFERENTES TEMPERATURAS DURANTE EL CURADO, SUBRASANTE DE LA CARRETERA CAMPAMENTO TÚNEL CONCHANO – SIVINGAN BAJO, CHOTA”

### ENSAYO DE COMPRESIÓN NO CONFINADA


### CALICATA C-02

### SOLICITANTE

JOSÉ RONALDO ESTELA TAN - EVER IVÁN SÁNCHEZ VÁZQUEZ



Chota, Perú del 2024

  
CIEXLIAN LABORATORIO  
Ing. Hermes Rojas Tiravanti  
REG. CIP. 348840



**CIEXLIAN S.R.L - LABORATORIO**  
**RUC : 20604291641**  
**ENSAYO DE COMPRESIÓN NO CONFINADA**  
**(MTC E-115 / A.S.T.M-1557 / AASHTO- T 180)**

**CIEXLIAN S.R.L -  
LABORATORIO**

<b>COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL SUELO TRATADO CON CAL SOMETIDO A DIFERENTES TEMPERATURAS DURANTE EL CURADO, SUBRASANTE DE LA CARRETERA CAMPAMENTO TÚNEL CONCHANO – SIVINGAN BAJO, CHOTA</b>		<b>FECHA DE INFORME:</b>  26/10/2024
<b>TESIS:</b>		
<b>SOLICITANTE</b>	JOSÉ RONALDO ESTELA TAN - EVER IVAN SÁNCHEZ VÁZQUEZ	
<b>CALICATA</b> C-02	<b>PROFUNDIDAD</b>	1.50.m

**Muestra N° SUELO NATURAL A TEMPERATURA AMBIENTE (18°C)**


MUESTRAS	PARTE SUPERIOR DE PROBETA		PARTE MEDIA DE PROBETA		PARTE MEDIA DE PROBETA		LONGITUD	
	D.S.P	AREA	DMP	ÁREA	DIP	ÁREA	Li	Lf
M-1	10.00	78.54	11.55	104.7743235	10	78.54	15	13.01
M-2	10.00	78.54	11.99	112.9091825	10	78.54	15	13.05
M-3	10.00	78.54	12.03	113.6637949	10	78.54	15	13.02
ÁREA (cm2)	M-1	M-2	M-3					
PROMEDIO	91.66	95.72	96.10					

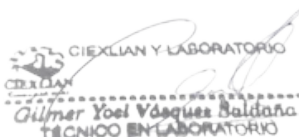
MUESTRA	Deformación(c m)	Longitud F(cm)	Lectura Carga (kg)	D.U (€)	F.C (1-€)	Area P (cm2)	Esfuerzo Desviador (kg/cm2)	Resistencia al Corte (kg/cm2)
M-1	1.990	13.010	140.000	0.132667	0.867333	105.677	1.325	0.662
M-2	1.950	13.050	150.360	0.130000	0.870000	110.028	1.367	0.683
M-3	1.980	13.020	148.250	0.132000	0.868000	110.716	1.339	0.670

**S.N+5% DE CAL A TEMPERATURA AMBIENTE (4°C)**

MUESTRAS	PARTE SUPERIOR DE PROBETA		PARTE MEDIA DE PROBETA		PARTE MEDIA DE PROBETA		LONGITUD	
	D.S.P	AREA	DMP	ÁREA	DIP	ÁREA	Li	Lf
M-1	10.00	78.54	11.05	95.8993035	11.5	103.86915	15	13.55
M-2	10.00	78.54	11.02	95.37929016	11	95.0334	15	13.75
M-3	10.00	78.54	10.99	94.86069054	11.03	95.55247086	15	13.65
ÁREA (cm2)	M-1	M-2	M-3					
PROMEDIO	93.55	91.08	90.95					

MUESTRA	Deformación(c m)	Longitud F(cm)	Lectura Carga (kg)	D.U (€)	F.C (1-€)	Area P (cm2)	Esfuerzo Desviador (kg/cm2)	Resistencia al Corte (kg/cm2)
M-1	1.450	13.550	375.312	0.096667	0.903333	103.563	3.624	1.812
M-2	1.250	13.750	353.932	0.083333	0.916667	99.363	3.562	1.781
M-3	1.350	13.650	365.213	0.090000	0.910000	99.949	3.654	1.827

  
 CIEXLIAN Y LABORATORIO  
 Ing. Hermes Rojas Tiravanani  
 REG. CIP. 348840

  
 CIEXLIAN Y LABORATORIO  
 Guillermo Yael Vázquez Baldaña  
 TÉCNICO EN LABORATORIO

tecnico laboratorio



**CIEXLIAN S.R.L - LABORATORIO**  
**RUC : 20604291641**  
**ENSAYO DE COMPRESIÓN NO CONFINADA**  
**(MTC E-115 / A.S.T.M-1557 / AASHTO- T 180)**

**CIEXLIAN S.R.L -  
LABORATORIO**

**COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL SUELO TRATADO CON CAL SOMETIDO A DIFERENTES TEMPERATURAS DURANTE EL CURADO, SUBRASANTE DE LA CARRETERA CAMPAMENTO TÚNEL CONCHANO – SIVINGAN BAJO, CHOTA**

**FECHA DE INFORME:**

**TESIS:**

**SOLICITANTE**

JOSÉ RONALDO ESTELA TAN - EVER IVAN SÁNCHEZ VÁZQUEZ

26/10/2024

**CALICATA** C-02

**PROFUNDIDAD** 1.50.m

**Muestra N° S.N+5% DE CAL A TEMPERATURA AMBIENTE (16°C)**

MUESTRAS	PARTE SUPERIOR DE PROBETA		PARTE MEDIA DE PROBETA		PARTE MEDIA DE PROBETA		LONGITUD	
	D.S.P	AREA	DMP	ÁREA	DIP	ÁREA	Li	Lf
M-1	10.00	78.54	11.20	98.52	10	78.54	15	13.6
M-2	10.00	78.54	11.35	101.18	10	78.54	15	13.53
M-3	10.00	78.54	11.15	97.64	10	78.54	15	13.57
ÁREA (cm2)	M-1	M-2	M-3					
PROMEDIO	88.53	89.86	88.09					

MUESTRA	Deformación(c m)	Longitud F(cm)	Lectura Carga (kg)	D.U (€)	F.C (1-€)	Area P (cm2)	Esfuerzo Desviador (kg/cm2)	Resistencia al Corte (kg/cm2)
M-1	1.400	13.600	385.888	0.093333	0.906667	97.644	3.952	1.976
M-2	1.470	13.530	384.738	0.098000	0.902000	99.622	3.862	1.931
M-3	1.430	13.570	394.951	0.095333	0.904667	97.374	4.056	2.028

**Muestra N° S.N+5% DE CAL A TEMPERATURA AMBIENTE (18°C)**

MUESTRAS	PARTE SUPERIOR DE PROBETA		PARTE MEDIA DE PROBETA		PARTE MEDIA DE PROBETA		LONGITUD	
	D.S.P	AREA	DMP	ÁREA	DIP	ÁREA	Li	Lf
M-1	10.00	78.54	11.02	95.38	11.5	103.869	15	13.65
M-2	10.00	78.54	10.98	94.69	11	95.033	15	13.60
M-3	10.00	78.54	11.15	97.64	11.03	95.552	15	13.70
ÁREA (cm2)	M-1	M-2	M-3					
PROMEDIO	93.29	90.74	92.34					

MUESTRA	Deformación(c m)	Longitud F(cm)	Lectura Carga (kg)	D.U (€)	F.C (1-€)	Area P (cm2)	Esfuerzo Desviador (kg/cm2)	Resistencia al Corte (kg/cm2)
M-1	1.350	13.650	410.485	0.090000	0.910000	102.519	4.004	2.002
M-2	1.400	13.600	410.720	0.093333	0.906667	100.078	4.104	2.052
M-3	1.300	13.700	410.697	0.086667	0.913333	101.107	4.062	2.031

CIEXLIAN Y LABORATORIO  
 CIEXLIAN  
 técnico laboratorio José Rojas Tiravanti  
 REG-CP-340000

CIEXLIAN Y LABORATORIO  
 CIEXLIAN  
 CIEXLIAN Y LABORATORIO  
 TÉCNICO EN LABORATORIO

