

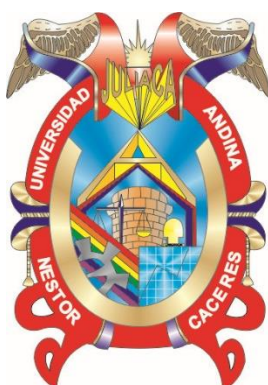


**UNIVERSIDAD ANDINA**

**NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ**

**FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**ANÁLISIS DE LA APLICACIÓN DE SILICATO DE SODIO EN LAS  
PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL SUELO DE LA  
VÍA AFIRMADA CHUCARIPO - QUEJÓN MOCCO  
DEL DISTRITO DE SAMÁN REGIÓN PUNO**

**TESIS PRESENTADA POR:**

**Bach. WALTER RUBEN CALLOPAZA MAMANI**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO CIVIL**

**JULIACA - PERÚ**

**2024**



**UNIVERSIDAD ANDINA**

**NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ**

**FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

**ANÁLISIS DE LA APLICACIÓN DE SILICATO DE SODIO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL SUELO DE LA VÍA AFIRMADA CHUCARIPO - QUEJÓN MOCCO DEL DISTRITO DE SAMÁN REGIÓN PUNO**

TESIS PRESENTADA POR:

**Bach. WALTER RUBEN CALLOPAZA MAMANI**

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

APROBADA POR EL JURADO REVISOR:

**PRESIDENTE**

:   
Dr. MILTHON QUISPE HUANCA


**PRIMER MIEMBRO**

:   
Dr. EFRAIN PARILLO SOSA

**SEGUNDO MIEMBRO**

:   
Mgtr. HERNAN PEDRO MARTINEZ RAMOS

**ASESOR DE TESIS**

:   
Dr. ARNALDO YANA TORRES

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN**

: TECNOLOGÍA DE MATERIALES – P17

**"NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"****RESOLUCIÓN DECANAL N° 1871-2024-D-UI-FICP-UANCV**

Juliaca, 24 de diciembre del 2024

**VISTO:** El expediente N° 2024- 19185 presentado por el (la) Bachiller: **WALTER RUBEN CALLOAPAZA MAMANI** estudiante de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras quien solicita **NOMINACIÓN DE JURADOS Y PROGRAMACIÓN DE FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN**.

**CONSIDERANDO:**

Que, el (la) Bach. **WALTER RUBEN CALLOAPAZA MAMANI**, quien solicita **NOMINACIÓN DE JURADOS Y PROGRAMACIÓN DE FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN** de la Tesis Titulado: **ANÁLISIS DE LA APLICACIÓN DE SILICATO DE SODIO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL SUELO DE LA VÍA AFIRMADA CHUCARIPO - QUEJÓN MOCCO DEL DISTRITO DE SAMÁN REGIÓN PUNO**, la misma que pertenece a la línea de investigación **TECNOLOGÍA DE MATERIALES** para optar el Título Profesional de **Ingeniero Civil**.

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

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

**RESUELVE:**

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

- \* **Presidente** : Dr. MILTHON QUISPE HUANCA
- \* **1er Miembro** : Dr. EFRAIN PARILLO SOSA
- \* **2do Miembro** : Mgtr. HERNAN PEDRO MARTINEZ RAMOS

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

**ARTICULO TERCERO.** - **APROBAR**, la **FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS** de el (la) bachiller: **WALTER RUBEN CALLOAPAZA MAMANI**; del informe final de la investigación (tesis) titulado: **ANÁLISIS DE LA APLICACIÓN DE SILICATO DE SODIO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL SUELO DE LA VÍA AFIRMADA CHUCARIPO - QUEJÓN MOCCO DEL DISTRITO DE SAMÁN REGIÓN PUNO** para optar el Título Profesional de **Ingeniero Civil**. de acuerdo al siguiente detalle:

- \* **FECHA** : Lunes 30 de diciembre del 2024
- \* **HORA** : 16:00 horas
- \* **LUGAR** : Aula 406 - FICP

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

Regístrese, Comuníquese, Archívese.

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



**RESOLUCIÓN DECANAL N° 1264-2024-D-UI-FICP-UANCV**

Juliaca, 11 de octubre del 2024

**VISTO:** El expediente N° 2024-CU - 14245 por el señor (a): **WALTER RUBEN CALLOAPAZA MAMANI** quien solicita **REVISIÓN DEL INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (borrador de tesis)**, el PROVEIDO - N° 1178 - 2024-UI-FICP-UANCV/J, y la **FICHA DE OPINIÓN DEL INFORME FINAL DE LA INVESTIGACION (BORRADOR DE TESIS)** formato N° 211- 2024 del integrante del comité de investigación **EPIC** de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, según al reglamento interno de trabajos de investigación conducente a grados y títulos.

**CONSIDERANDO:**

Que, el señor (a): **WALTER RUBEN CALLOAPAZA MAMANI**, ha presentado su informe final de la investigación (borrador de tesis) Titulado: **ANÁLISIS DE LA APLICACIÓN DE SILICATO DE SODIO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL SUELO DE LA VÍA AFIRMADA CHUCARIPO - QUEJÓN MOCCO DEL DISTRITO DE SAMÁN REGIÓN PUNO**, para optar el Título Profesional de **Ingeniero Civil**.

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales; el integrante del comité de investigación **Dr. Arnaldo Yana Torres** de la Escuela Profesional de **Ingeniería Civil** de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, emitió la ficha de opinión del informe final de la investigación (borrador de tesis) formato N° 211- 2024 **aprobando** el informe final de la investigación (borrador de tesis) titulado: **ANÁLISIS DE LA APLICACIÓN DE SILICATO DE SODIO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL SUELO DE LA VÍA AFIRMADA CHUCARIPO - QUEJÓN MOCCO DEL DISTRITO DE SAMÁN REGIÓN PUNO**, Correspondiente a la línea de investigación **TECNOLOGÍA DE MATERIALES**.

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

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

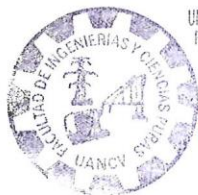
**RESUELVE:**

**ARTÍCULO PRIMERO.- APROBAR**, el **INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (BORRADOR DE TESIS)**, para la **REVISIÓN DE SIMILITUD TURNITIN**, presentado por el señor (a): **WALTER RUBEN CALLOAPAZA MAMANI**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil, con el Tema Titulado: **ANÁLISIS DE LA APLICACIÓN DE SILICATO DE SODIO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL SUELO DE LA VÍA AFIRMADA CHUCARIPO - QUEJÓN MOCCO DEL DISTRITO DE SAMÁN REGIÓN PUNO** correspondiente a la línea de investigación **TECNOLOGÍA DE MATERIALES**, en virtud a los considerandos expuestos.

**ARTÍCULO SEGUNDO.- RATIFICAR** como **ASESOR DE INVESTIGACIÓN** al (a) la), **Mgtr. ARNALDO YANA TORRES**.

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

Regístrese, Comuníquese, Archívese.



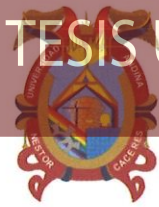
UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y Cs. PURAS

Dr. MILTHON QUISPE HUANCA  
DECANO  
CIP. 47790



Dr. Efraín Pajillo Sosa  
DIRECTOR  
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

cc.  
Archivo  
interesado (a)



**RESOLUCIÓN DECANAL N° 567-2024-D-UI-FICP-UANCV**

Juliaca, 01 de julio del 2024

**VISTO:** El expediente N° 2024-CU- 6907, presentado el o (la) Bachiller **WALTER RUBEN CALLOAPAZA MAMANI** solicitando **APROBACIÓN DE LA PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN** el **PROVEIDO – N° 485 -2024-UI-FICP-UANCV/J**, y la **FICHA DE OPINIÓN DE LA PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN** formato N° 171 -2024 del integrante del comité de investigación **EPIC** de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, según al reglamento interno de trabajos de investigación conducente a grados y títulos.

**CONSIDERANDO:**

Que, el o (la) Bachiller: **WALTER RUBEN CALLOAPAZA MAMANI** ha presentado su propuesta de investigación Titulado: **ANÁLISIS DE LA APLICACIÓN DE SILICATO DE SODIO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL SUELO DE LA VÍA AFIRMADA CHUCARIPO - QUEJÓN MOCCO DEL DISTRITO DE SAMÁN REGIÓN PUNO**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil.

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales; el integrante del comité de investigación **Mgtr. Arnaldo Yana Torres** de la Escuela Profesional de **Ingeniería Civil** de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, emitió la ficha de opinión de la propuesta de investigación formato N° 171 -2024- aprobando la propuesta de investigación titulado: **ANÁLISIS DE LA APLICACIÓN DE SILICATO DE SODIO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL SUELO DE LA VÍA AFIRMADA CHUCARIPO - QUEJÓN MOCCO DEL DISTRITO DE SAMÁN REGIÓN PUNO**.

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

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

**RESUELVE:**

**ARTÍCULO PRIMERO.- APROBAR**, la **PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN**, presentado por el o (la) Bachiller: **WALTER RUBEN CALLOAPAZA MAMANI**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil, con el Tema Titulado: **ANÁLISIS DE LA APLICACIÓN DE SILICATO DE SODIO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL SUELO DE LA VÍA AFIRMADA CHUCARIPO - QUEJÓN MOCCO DEL DISTRITO DE SAMÁN REGIÓN PUNO** correspondiente a la línea de investigación **TECNOLOGÍA DE MATERIALES**.

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

**ARTÍCULO SEGUNDO.- RECONOCER** como **ASESOR DE INVESTIGACIÓN** de al (a la) docente **Mgtr. ARNALDO YANA TORRES**.

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

Regístrese, Comuníquese, Archívese.



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

Dr. MILTHON QUISPE HUANCA  
DECANO  
CIP. 47790



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

Dr. Etraín Parillo Sosa  
DIRECTOR  
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

cc  
Archivo 2024  
Interesado (a)



## ANÁLISIS DE LA APLICACIÓN DE SILICATO DE SODIO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL SUELO DE LA VÍA AFIRMADA CHUCARIPO - QUEJÓN MOCCO DEL DISTRITO DE SAMÁN REGIÓN PUNO

### INFORME DE ORIGINALIDAD

17%

INDICE DE SIMILITUD

12%

FUENTES DE INTERNET

3%

PUBLICACIONES

12%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

### FUENTES PRIMARIAS

1	Submitted to Universidad Andina Nestor Caceres Velasquez Trabajo del estudiante	10%
2	<a href="http://hdl.handle.net">hdl.handle.net</a> Fuente de Internet	3%
3	<a href="http://repositorio.ucv.edu.pe">repositorio.ucv.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1%
4	<a href="http://fddocuments.es">fddocuments.es</a> Fuente de Internet	<1%
5	<a href="http://repositorio.uancv.edu.pe">repositorio.uancv.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1%
6	<a href="http://repositorioacademico.upc.edu.pe">repositorioacademico.upc.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1%
7	<a href="http://bdigital.unal.edu.co">bdigital.unal.edu.co</a> Fuente de Internet	<1%




### Metadatos Complementarios UANCV



<b>Título de la tesis</b>	
ANÁLISIS DE LA APLICACIÓN DE SILICATO DE SODIO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL SUELO DE LA VIA AFIRMADA CHUCARPIO – QUEJÓN MOCCO DEL DISTRITO DE SAMÁN REGIÓN PUNO	
<b>Datos de autor</b>	
Nombres y apellidos	WALTER RUBEN CALLOPAZA MAMANI
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	70762799
URL de ORCID	<a href="https://orcid.org/0009-0008-4128-5723">https://orcid.org/0009-0008-4128-5723</a>
<b>Datos de asesor</b>	
Nombres y apellidos	ARNALDO YANA TORRES
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	41414676
URL de ORCID	<a href="https://orcid.org/0000-0002-6740-5024">https://orcid.org/0000-0002-6740-5024</a>
<b>Datos del jurado</b>	
<b>Presidente del jurado</b>	
Nombres y apellidos	MILTHON QUISPE HUANCA
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	02424528
<b>Miembro del jurado 1</b>	
Nombres y apellidos	EFRAIN PARILLO SOSA
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	02416058
<b>Miembro del jurado 2</b>	
Nombres y apellidos	HERNAN PEDRO MARTINEZ RAMOS
Tipo de documento	DNI



Número de documento de identidad	01316765
<b>Datos de investigación</b>	
Línea de investigación	Tecnología de Materiales - P17
Grupo de investigación	No aplica.
Agencia de financiamiento	Sin financiamiento
Ubicación geográfica de la investigación	<p>País: Perú  Departamento: Puno  Provincia: Azángaro  Distrito: Samán</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Latitud: S 15° 17' 31"</li> <li>- Longitud: O 70° 1' 2"</li> </ul>  <p><a href="https://www.google.com/maps/d/edit?mid=1-T9dIVWrUI72dlBbE-yYQRZ5-RhMjcs&amp;usp=sharing">https://www.google.com/maps/d/edit?mid=1-T9dIVWrUI72dlBbE-yYQRZ5-RhMjcs&amp;usp=sharing</a></p>
Año o rango de años en que se realizó la investigación	Julio 2024 – Octubre 2024
URL de disciplinas OCDE <a href="https://concytec-pe.github.io/Peru-CRIS/vocabularios/ocde_ford.html">https://concytec-pe.github.io/Peru-CRIS/vocabularios/ocde_ford.html</a> - Librería	Ingeniería Civil <a href="https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.01">https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.01</a> Ingeniería de la Materiales <a href="https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.05.01">https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.05.01</a> Ingeniería del transporte <a href="https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.05">https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.05</a>

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS PURAS  
DIRECTOR  
Dr. Efraín Parillo Josa  
DIRECTOR  
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN



DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD Y RESPONSABILIDAD

Yo Walter Ruben Calloapaza Hamani, identificado con DNI Nro. 7076 2799, en mi condición de egresado de:

- Escuela Profesional
  - Programa de Segunda Especialidad,
  - Programa de Maestría o Doctorado
- Ingeniería Civil

informo que he elaborado el/la  Tesis o  Trabajo de Investigación,  Trabajo Académico denominada: Análisis de la aplicación de silicato de sodio en las propiedades físicas y mecánicas del suelo de la vía afirmada chucarpio - Quejón moco del distrito de Samán Región Puro

Asesorado por: Dr. Arnaldo Yana Torres

Es un tema original.

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

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

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

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

Juliaca 29 de Abril del 2025

Firma del Asesor (obligatoria)

Firma del Estudiante (obligatoria)



Huella



## ÍNDICE

ÍNDICE .....	i
ÍNDICE DE TABLAS .....	v
ÍNDICE DE FIGURAS .....	vi
RESUMEN .....	viii
ABSTRACT .....	x
INTRODUCCIÓN .....	xii

### CAPITULO I

#### EL PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN

1.1 Exposición de la situación problemática .....	1
1.2 Planteamiento del problema .....	3
1.2.1 Pregunta general .....	3
1.2.2 Preguntas específicas .....	3
1.3 Justificación de la investigación .....	3
1.3.1 Justificación practica .....	3
1.3.2 Justificación técnica .....	3
1.3.3 Justificación social .....	4
1.3.4 Justificación económica .....	4
1.4 Objetivos .....	4
1.4.1 Objetivo general .....	4
1.4.2 Objetivos específicos .....	4
1.5 Hipótesis .....	5



1.5.1 Hipótesis general.....	5
1.5.2 Hipótesis específicas.....	5
1.6 Variables e indicadores .....	5
1.7 Operacionalización de variables.....	6

## CAPITULO II

### MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

2.1 Antecedentes de la investigación .....	7
2.1.1 Antecedentes internacionales.....	7
2.1.2 Antecedentes nacionales .....	11
2.2 Marco teórico .....	16
2.2.1 Pavimentos.....	16
2.2.2 Partes del pavimento.....	17
2.2.3 El suelo .....	19
2.2.4 Estabilización de suelos .....	23
2.2.5 Propiedades de un suelo.....	30
2.2.6 Silicato de Sodio.....	35
2.3 Marco conceptual .....	39

## CAPITULO III

### METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1 Diseño de la investigación.....	42
3.1.1 Nivel de investigación .....	42
3.1.2 Tipo de investigación.....	42



3.1.3	Método de investigación.....	42
3.1.4	Diseño de investigación.....	43
3.2	Población y muestra.....	43
3.2.1	Población.....	43
3.2.2	Muestra.....	43
3.2.3	Diseño muestral.....	43
3.3	Ámbito de estudio.....	44
3.3.1	Descripción del área de estudio.....	44
3.3.2	Pruebas para calcular las cualidades físicas y mecánicas de la superficie.....	44

## CAPITULO IV

### ANALISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1	Presentación de resultados de la investigación.....	50
4.2	Ensayos realizados en laboratorio.....	50
4.2.1	Contenido de Humedad.....	50
4.2.2	Evaluación Granulométrica.....	51
4.2.3	Índice de Plasticidad.....	52
4.2.4	Resumen de Prueba Proctor Modificado.....	52
4.2.5	Resumen de Ensayo C.B.R.....	55
4.3	Resultados de Silicato de Sodio en el IP.....	58
4.3.1	IP de SN + 5% de SS.....	58
4.3.2	IP de SN + 10% de SS.....	59
4.3.3	Índice de Plasticidad de SN + 15% de SS.....	60



4.3.4 Comparación de los Resultados Obtenidos del IP .....	61
4.3.5 Grado de Consolidación de SN + 5% de Silicato de Sodio .....	62
4.3.6 Nivel de Consolidación de SN + 10% de Silicato de Sodio .....	63
4.3.7 Nivel de Consolidación de SN + 15% de Silicato de Sodio .....	65
4.3.8 Contraste de los Valores Hallados de la MDS .....	66
4.3.9 CBR de SN + 5% de Silicato de Sodio .....	66
4.3.10 CBR de SN + 10% de Silicato de Sodio .....	67
4.3.11 CBR de SN + 15% de Silicato de Sodio .....	68
4.3.12 Contraste de los Valores Hallados de la MDS .....	69
4.4 Discusión de resultados .....	71
CONCLUSIONES .....	74
RECOMENDACIONES .....	76
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS .....	77
ANEXOS .....	80



## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Operacionalización de variables .....	6
<b>Tabla 2.</b> Categorización de suelos según el Índice de Plasticidad.....	33
<b>Tabla 3.</b> Calicatas extraídas de la vía.....	44
<b>Tabla 4.</b> Clasificación de suelos según IP.....	47
<b>Tabla 5.</b> Contenido de humedad de las calicatas .....	51
<b>Tabla 6.</b> Resumen de granulometría de 4 calicatas.....	51
<b>Tabla 7.</b> Límites de Atterberg del suelo.....	52
<b>Tabla 8.</b> Resumen de la compactación.....	52
<b>Tabla 9.</b> Resumen de resultados del CBR.....	55
<b>Tabla 10.</b> IP de mezclar superficie natural + 5% de silicato de sodio .....	58
<b>Tabla 11.</b> IP de mezclar superficie natural + 10% de silicato de sodio .....	59
<b>Tabla 12.</b> IP de mezclar superficie natural + 15% de silicato de sodio .....	60
<b>Tabla 13.</b> Variaciones del IP conforme el % de suma de Silicato de Sodio.....	61
<b>Tabla 14.</b> Nivel de consolidación de meclar SN + 5% de silicato de sodio .....	62
<b>Tabla 15.</b> Niveles de consolidación de mezclar SN + 10% de silicato de sodio .....	64
<b>Tabla 16.</b> Niveles de consolidación de mezclar SN + 15% de silicato de sodio .....	65
<b>Tabla 17.</b> Variación del GC conforme al % de suma de Silicato de Sodio .....	66
<b>Tabla 18.</b> CBR de SN + 10% de silicato de sodio .....	67
<b>Tabla 19.</b> CBR SN + 15% de silicato de sodio.....	68
<b>Tabla 20.</b> Variación del CBR conforme al % de suma de Silicato de Sodio.....	70



## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Distribución de esfuerzos de la las capas granulares .....	17
<b>Figura 2.</b> Estabilización física de suelos.....	26
<b>Figura 3.</b> Estabilización química de suelos .....	28
<b>Figura 4.</b> Estabilización mecánica de suelos .....	30
<b>Figura 5.</b> Curvas granulométricas.....	32
<b>Figura 6.</b> Instrumento de Proctor Modificado .....	34
<b>Figura 7.</b> Producción de silicato de sodio.....	36
<b>Figura 8.</b> Concreto con silicato de sodio .....	37
<b>Figura 9.</b> Pesado de tarro más muestra .....	45
<b>Figura 10.</b> Tamizado del material.....	46
<b>Figura 11.</b> límite líquido .....	47
<b>Figura 12.</b> Compactación de la muestra en 5 capas.....	48
<b>Figura 13.</b> ensayó de CBR.....	49
<b>Figura 14.</b> Resultado de la compactación C-01 .....	53
<b>Figura 15.</b> Resultado de la compactación C-02.....	54
<b>Figura 16.</b> Resultado de la compactación C-03.....	54
<b>Figura 17.</b> Resultado de la compactación C-04.....	55
<b>Figura 18.</b> Resultados de compactaciones de la C-01 .....	56
<b>Figura 19.</b> Resultados de compactaciones de la C-02 .....	56
<b>Figura 20.</b> Resultados de compactaciones de la C-03 .....	57
<b>Figura 21.</b> Resultados de compactaciones de la C-04 .....	57
<b>Figura 22.</b> Índice plástico de suelo natural + 5% de silicato de sodio.....	59
<b>Figura 23.</b> Índice plástico de suelo natural +  10% de silicato de sodio.....	60
<b>Figura 24.</b> Índice plástico de suelo natural + 15% de silicato de sodio.....	61



<b>Figura 25.</b> Variación del Índice Plástico .....	62
<b>Figura 26.</b> Grados de compactación de SN + 5% de silicato de sodio .....	63
<b>Figura 27.</b> Grado de compactación SN + 10% de silicato de sodio .....	64
<b>Figura 28.</b> Grado de compactación de SN + 15% de silicato de sodio .....	65
<b>Figura 29.</b> CBR de SN + 5% de silicato de sodio .....	67
<b>Figura 30.</b> CBR SN + 10% de silicato de sodio .....	68
<b>Figura 31.</b> CBR de SN + 15% de silicato de sodio .....	69



## RESUMEN

La finalidad de este estudio, titulado "Análisis de la aplicación de silicato de sodio en las propiedades físicas y mecánicas del suelo de la carretera pavimentada Chucarpio-Quejón Mocco en el distrito de Samán, región Puno", es investigar los impactos de la aplicación de silicato de sodio en distintos % en las cualidades mecano-físicas de los suelos que se encuentran a lo largo de la carretera que se ha especificado. Se ha proporcionado la especificación de la carretera. En este intento de investigación en particular, se utilizaron cuatro técnicas diferentes: una clase aplicada, con un enfoque cuantitativo, de nivel explicativo y un diseño de estudio cuasi experimental. Cada uno de estos enfoques se utilizó de una manera diferente. Los hallazgos indican que el índice de plasticidad promedio en los cuatro pozos de prueba fue de 17,27%, que la densidad seca límite fue de 1,795 g/cc, que el contenido de humedad óptimo fue de 8,06% y que la disposición de soporte CBR medio fue de 4,21% al 95% de la MDS. Estos hallazgos se basan en los datos. La suma de silicato de sodio en concentraciones de 5%, 10% y 15% resultó en la adquisición de índices de plasticidad de 12.06%, 6.58% y 9.69%, respectivamente. Estos índices se adquirieron como consecuencia de la integración de silicato de sodio. En consecuencia, las mayores densidades secas que se lograron fueron 1.978 g/cc, 2.109 g/cc y 2.049 g/cc, y las disposiciones de aguante CBR se midieron en 6.21%, 12.66% y 10.22% al 95% de la MDS, de forma respectiva. Estos resultados se obtuvieron de acuerdo con la información antes mencionada. Con la suma de 10% de silicato de sodio, fue posible producir un IP de 6.58%, una densidad seca límite de 2.109 g/cc y una disposición de aguante CBR de 12.66% al 95% de la MDS. Todos estos resultados se obtuvieron en el mismo período de tiempo. El hecho de que se haya utilizado silicato de sodio para lograr estos descubrimientos los hace más significativos de lo que hubieran sido de otra manera. Una disminución del 60,22 por ciento en el índice de plasticidad, un aumento del 17,23 por ciento en el nivel de



consolidación y un incremento considerable del 199% en la disposición para sostener CBR son valores hallados que se logran mediante la mezcla de suelo natural y 10% de silicato de sodio (SN + 10% Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>).

**Palabras Clave:** Silicato de sodio, Estabilización, CBR, suelos, MDS.



## ABSTRACT

The purpose of this research project, which is titled "Analysis of the Application of Sodium Silicate on the Physical and Mechanical Properties of the Soil of the Chucarpio-Quejón Mocco Paved Road in the Saman District, Puno Region," is to investigate the effects of applying sodium silicate in different percentages on the physical and mechanical properties of the soils that are located along the road that has been specified. Specification of the road has been provided. In this particular research attempt, four different techniques were used: an applied type, a quantitative approach, an explanatory level, and a quasi-experimental study design. Each of these approaches was utilized in a different way. The findings indicate that the average plasticity index over all four test pits was 17.27%, that the maximum dry density was 1.795 g/cc, that the optimal moisture content was 8.06%, and that the average CBR support capacity was 4.21% at 95% of the MDS. These findings are based on the data. The incorporation of sodium silicate at concentrations of 5%, 10%, and 15% resulted in the acquisition of plasticity indices that were 12.06 percent, 6.58 percent, and 9.69 percent, respectively. These indices were acquired as a consequence of the integration of sodium silicate. Consequently, the greatest dry densities that were achieved were 1.978 g/cc, 2.109 g/cc, and 2.049 g/cc, and the CBR support capacities were measured to be 6.21%, 12.66%, and 10.22% at 95% of the MDS, respectively. These results were obtained in line with the aforementioned information. With the addition of 10% sodium silicate, it was possible to produce a plasticity index of 6.58%, a maximum dry density of 2.109 g/cc, and a CBR support capacity of 12.66% at 95% of the MDS. All of these results were reached within the same time frame. The fact that sodium silicate was used to accomplish these discoveries makes them more significant than they would have been otherwise. A decrease of 60.22 percent in the plasticity index, an increase of 17.23 percent in the degree of compaction, and a considerable rise of 199% in the capacity to



sustain CBR are all outcomes that are brought about by the combination of natural soil and 10% sodium silicate (SN + 10% Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>).

**Key words:** Sodium silicate, Stabilization, CBR, soils, MDS.



## INTRODUCCIÓN

El presente estudio titulado Análisis de la Aplicación de Silicato de Sodio en las Propiedades Físicas y Mecánicas del Suelo de la Vía Afirmada Chucarpio – Quejón Mocco del Distrito de Samán Región Puno, La meta de este proyecto es evaluar las fallas frecuentes que se producen en las carreteras como consecuencia de la disposición portante de las superficies de cimentación. También se destaca la necesidad de trabajar para reparar los suelos que son débiles en capacidad portante. Debido a que el suelo de la carretera en cuestión es inestable en este momento, no es posible usar para la construcción de pavimento flexible porque no es apto para el propósito.

El paso a paso del control de superficies se utiliza para mejorar sus características físicas y mecánicas de las superficies que no cumplen con los estándares esenciales para la creación de infraestructuras. Esto se logra mejorando las cualidades mecano-físicas de la superficie. Mientras estamos en el proceso de presentación de un proyecto de infraestructura, a menudo nos encontramos con suelos arcillosos que, al exponerse al agua, presentan propiedades plásticas y sensibilidad volumétrica. Esto es algo que nos encontramos con bastante frecuencia. Esto hace que los asentamientos se hagan visibles cuando estos suelos se exponen a cargas, lo que tiene una influencia perjudicial en las edificaciones que se crean sobre este tipo de suelos. Como resultado de esto, se desarrollan asentamientos. El control de las superficies arcillosas se puede conseguir mediante una variedad de enfoques disponibles para el usuario.

Debido a que el material que constituye la ruta de estudio tiene cualidades que necesitan ser mejoradas, es necesario evaluar las cualidades tanto antes como luego del empleo de silicato de sodio para obtener los datos numéricos y los cálculos porcentuales necesarios para el objetivo de estabilización del suelo. La meta de este proyecto es analizar la utilización de un aditivo que tenga un efecto positivo en la estabilidad de la superficie y



determinar si se puede utilizar o no. Una evaluación de suelos naturales, una investigación sobre las características del suelo después de haberle agregado silicato de sodio y una determinación de las cantidades de silicato de sodio que son más eficientes para su integración son las metas de este proyecto.

Para su conveniencia, este proyecto se divide en cuatro capítulos, cada uno de los cuales se detalla con mayor profundidad a continuación:

El primer paso es proporcionar una descripción general de la metodología de investigación, la metodología del problema, la formulación del problema, los objetivos, la justificación, la construcción de la hipótesis y las variables de investigación. El 2do componente es el marco teórico, que incluye una revisión de la investigación que se ha realizado, así como una explicación de los fundamentos teóricos que se utilizaron en el estudio. Este marco es el segundo componente. El tercer componente del sistema de investigación es la metodología de estudio, que contiene el diseño metodológico y el marco de procedimientos. Este componente proporciona una descripción general de la metodología de investigación. El propósito de esta sección es proporcionar una explicación de la cantidad de cemento que se utilizó para las unidades, detallar las especificaciones de la prensa que se utilizó para el propósito de la compactación de la mezcla y describir los procedimientos que se utilizaron en las pruebas de laboratorio que tuvieron lugar para el propósito de este estudio. La cuarta parte, denominada "Resultados y discusión", contiene un análisis comparativo que se presenta en el contexto de los fenómenos investigados. En esta sección se ofrece una descripción completa de los valores hallados en base a los experimentos que tuvieron lugar como parte de este estudio. Además, los apéndices y las referencias bibliográficas se proporcionan al último del proyecto.



## CAPITULO I

### EL PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN

#### 1.1 Exposición de la situación problemática

En la actualidad, el Perú es un país que enfrenta una amplia variedad de desafíos, algunos de los cuales incluyen cuestiones políticas, económicas y sociales al mismo tiempo. La insuficiente construcción de nueva infraestructura vial tiene una influencia significativa en el entorno social y económico de la zona. Este impacto es un resultado directo de la falta de una construcción vial adecuada. En los Estados Unidos, existe un componente considerable de las vías de comunicación interna del país que ahora son vías sin pavimentar, y los valores estadísticos indican que esta es una parte considerable del total general. Una abrumadora mayoría de las personas está de acuerdo en que esto es correcto. Durante el curso de nuestra investigación sobre la ausencia de pavimento en algunas carreteras, llegamos a la conclusión de que los siguientes elementos son los responsables de este fenómeno: Como resultado del volumen relativamente bajo de tráfico que ocurre en algunas vías de comunicación, las regulaciones nacionales que están actualmente en vigor estipulan que ciertas carreteras deben continuar sin pavimentar o sin asfaltar. Los valores del Índice Promedio Diario Anual (IMDA) son inferiores a los que se deben alcanzar para que se declare una emergencia, tal como lo estipula la legislación vigente en el Perú. La



pavimentación de algunas carreteras ya no es factible desde la perspectiva financiera cuando se toma en cuenta este criterio. Es muy necesario que estas vías sigan existiendo para garantizar que la economía peruana siga expandiéndose a nuevas alturas. El hecho de que puedan dar acceso tanto a zonas urbanas como rurales, así como a los centros de extracción de las industrias minera, forestal y agrícola, es la razón por la que se ha presentado esta condición. Existe una relación entre la existencia de carreteras no pavimentadas y los problemas respiratorios que se producen por las emisiones de polvo provenientes del movimiento de los automóviles. Esta relación se ha demostrado mediante investigaciones.

Como señalan Casafranca y Pahuachón (2014), los caminos rurales de la región Puno se hallan en un estado deplorable y presentan una gran cantidad de desafíos para quienes los transitan. Por ello, las rutas rurales se ven afectadas negativamente, ya que se hace más difícil que el tráfico comercial llegue a las capitales distritales. Esto, a su vez, tiene una influencia perjudicial sobre las rutas rurales.

Los caminos continúan degradándose a pesar de que las autoridades municipales y regionales les prestan poca atención. Esto, a su vez, reduce el grado de comodidad del que gozan los usuarios y dificulta la gestión del flujo de tráfico alrededor de las carreteras.

La importancia de este camino no se puede subestimar, no solo para las personas que residen en la región circundante, sino también para quienes llegan desde otras áreas del mundo. Se recomienda que se ofrezca una alternativa en manera de presupuesto para la próxima intervención vial. Esta sugerencia se realiza después de tomar en cuenta los resultados. Esta idea, que se traduciría en una mejora en el estado de las carreteras y un aumento en el nivel de servicio ofrecido a los vecinos de la zona, podría ser tomada en consideración y puesta en práctica por las autoridades de la comunidad.



## 1.2 Planteamiento del problema

### 1.2.1 *Pregunta general*

¿Cómo influye la aplicación de silicato de sodio en las propiedades físicas y mecánicas del suelo de la vía afirmada Chucarpio – Quejón Mocco del distrito de Saman Región Puno?

### 1.2.2 *Preguntas específicas*

- ¿Cuáles son las propiedades físicas y mecánicas del suelo natural de la vía afirmada Chucarpio – Quejón Mocco del distrito de Saman?
- ¿Cuál es la aplicación de silicato de sodio en la máxima densidad seca y óptimo contenido de humedad de la vía afirmada Chucarpio – Quejón Mocco del distrito de Saman?
- ¿Cuál es la aplicación de silicato de sodio en la capacidad de soporte de la vía afirmada Chucarpio – Quejón Mocco del distrito de Saman?

## 1.3 Justificación de la investigación

### 1.3.1 *Justificación practica*

Si bien la explicación se basa en el uso de técnicas y procesos bien establecidos para el objetivo de estabilización, es importante señalar que existen variaciones en los porcentajes de aplicación y alteraciones en la clase de superficie que requiere ser mejorada durante el proceso. Además, como consecuencia de esto, hay una distribución de información creativa, así como procesos de mezcla mejorados con el objetivo de mejorar los materiales inestables del suelo.

### 1.3.2 *Justificación técnica*

En este aspecto específico, hay una variedad de formas que se pueden emplear con el objetivo de optimizar y controlar la superficie para garantizar su idoneidad para la construcción y evitar problemas de asentamiento a largo plazo. Estos enfoques es posible

usar para optimizar y estabilizar la superficie. La introducción de silicato de sodio dará como producto un incremento del confinamiento del suelo y una reducción de las presiones de poro que se crean por el paso de vehículos pesados. Esto puede ser perjudicial para los peatones y el pavimento, ya que reducirá la cantidad de presión que actúa sobre el suelo. Debido a que esta técnica limitará la ocurrencia de fenómenos de asentamiento, hará que el pavimento sea más robusto ante cualquier situación que pueda ocurrir durante el proceso de construcción. Como resultado, esta estrategia será más práctica y segura durante todo el proceso de construcción.

### **1.3.3 Justificación social**

Este estudio presenta un método para la estabilización y aumento de suelos que evita el asentamiento en la subrasante. Este método se describe dentro del alcance de esta investigación. Debido a que les da la oportunidad de realizar investigaciones sobre la región proyectada, lo que les permitirá adquirir conocimientos sobre los diversos tipos de suelo, esta actividad será beneficiosa para las personas porque les da la oportunidad de hacerlo.

### **1.3.4 Justificación económica**

Es posible que el control de la superficie de la subrasante pueda reducir los riesgos económicos asociados con el hundimiento, el asentamiento y el colapso de la infraestructura. Estos riesgos son causados por el transporte de autobuses, camiones y otros vehículos.

## **1.4 Objetivos**

### **1.4.1 Objetivo general**

Analizar la aplicación de silicato de sodio en las propiedades físicas y mecánicas del suelo de la vía afirmada Chucarpio – Quejón Mocco del distrito de Saman Región Puno

### **1.4.2 Objetivos específicos**

- Determinar las propiedades físicas y mecánicas del suelo natural de la vía afirmada Chucarpio – Quejón Mocco del distrito de Saman.



- Analizar la aplicación de silicato de sodio en la máxima densidad seca y óptimo contenido de humedad de la vía afirmada Chucarpio – Quejón Mocco del distrito de Saman.
- Analizar la aplicación de silicato de sodio en la capacidad de soporte de la vía afirmada Chucarpio – Quejón Mocco del distrito de Saman.

## 1.5 Hipótesis

### 1.5.1 *Hipótesis general*

El uso de la aplicación de silicato de sodio en las propiedades físicas y mecánicas del suelo de la vía afirmada Chucarpio – Quejón Mocco del distrito de Saman, mejora las propiedades del suelo natural.

### 1.5.2 *Hipótesis específicas*

- Las propiedades físicas y mecánicas que presenta el suelo de la vía afirmada Chucarpio – Quejón Mocco del distrito de Saman, presentan un índice de plasticidad alto y un CBR inadecuado.
- Al determinar la aplicación de silicato de sodio mejora la máxima densidad seca y el óptimo contenido de humedad de la vía afirmada Chucarpio – Quejón Mocco del distrito de Saman
- Al determinar la aplicación de silicato de sodio mejora en la capacidad de soporte de subrasante de la vía afirmada Chucarpio – Quejón Mocco del distrito de Saman

## 1.6 Variables e indicadores

### ✓ Variable independiente

Silicato de sodio

#### a. Indicadores

- Combinación

✓ **Variable dependiente**

Cualidades físicas y mecánicas

**b. Indicadores**

- LL, LP, IP, CBR, MDS

**1.7 Operacionalización de variables****Tabla 1.***Operacionalización de variables*

VARIABLES	DEFINICIÓN	DIMENSIÓN	INDICADOR
<b>Variable independiente:</b> <b>Silicato de sodio</b>	A la hora de describir la sustancia de la que se habla, se suele utilizar la expresión "solución acuosa". Este agente estabilizador puede presentarse en una amplia gama de formas físicas diferentes, debido a que no posee un estado característico particular. Además, es una solución adecuada, ya que es fácil de manipular, no presenta riesgos significativos y tiene una densidad de 2,40 gr/cm <sup>3</sup> . Todas estas características la convierten en una opción ideal. Garzón et al. (2017)	%	Combinación
<b>Variable dependiente:</b> <b>Cualidades físicas y mecánicas</b>	Se debe realizar un examen en profundidad de las cualidades físicas y mecánicas esenciales que deben estar presentes en una base granular para que satisfaga los criterios. EG-2013 (MTC, 2013).	Propiedades físicas y mecánicas	LL, LP, IP, CBR, MDS



## CAPITULO II

### MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

#### 2.1 Antecedentes de la investigación

##### 2.1.1 *Antecedentes internacionales*

A lo largo de los años se han desarrollado una gran gama de usos para el silicato de sodio, uno de los cuales es servir como agente estabilizador con el fin de mejorar el suelo. Según Nepomuk (1818), se supone que los primeros usos produjeron en Europa y Estados Unidos a mediados del siglo XIX. Estas aplicaciones podrían haber tenido una variedad de propósitos. La base de todas y cada una de estas aplicaciones se realizó mediante investigación. Teniendo en cuenta la información a la que se tiene acceso actualmente, parece que los silicatos solubles existen desde la antigüedad. Se supone que la fabricación de estos silicatos comenzó en el antiguo Egipto hace más de cinco mil años, cuando se mezcló arena de sílice con sosa natural. Esto es según una serie de informes que se han recopilado. Además, la Historia Naturalis de Plinio el Viejo tiene una historia que es particularmente importante ya que detalla el desarrollo involuntaria de vidrio soluble por parte de los marineros fenicios. Esta historia se puede encontrar en el libro. Comenzaron el proceso de preparación de sus comidas utilizando un bloque de carbonato de sodio como base para el proceso de cocción. Esto se hizo después de haber llegado a un limo arenoso.



Debido a esto, la fabricación de vidrio soluble se llevó a cabo de una manera que no fue del todo deliberada. El calor que se generaba por el fuego hizo que fuera más fácil realizar la interacción entre el carbonato de sodio y la arena de sílice, lo que finalmente llevó a la fabricación de vidrio. Esta interacción fue el catalizador para la creación de vidrio. Los alquimistas del siglo XVII reconocieron y utilizaron silicatos solubles, como documentan los escritos de Glauber y Agricola; sin embargo, no fue hasta el siglo XIX, con la investigación y el desarrollo industrial, que esta clase de conformantes experimentó un avance significativo en las diversas aplicaciones que impregnan. El ingeniero holandés Hugo Joosten utilizó el procedimiento de grouting para aplicar silicato de sodio en superficies que eran bastante profundas. A continuación, aplicó cloruro de calcio en la zona. Como resultado de la investigación realizada por Cruz y Federico (2016), se ha demostrado que esta estrategia no es especialmente beneficiosa para la estabilidad del suelo a mayores elevaciones. A pesar de que el enfoque de conducción se utiliza a menudo en superficies que pueden examinarse para determinar su filtrabilidad, este fue el resultado. Se realizó un análisis en profundidad de los silicatos alcalinos que se utilizan con más frecuencia. Además, esto puede deberse al hecho de que son los más fácilmente accesibles en el mercado, lo que es otra posible explicación. En la zona de la ingeniería civil, el silicato de sodio no solo sirve como estabilizador, sino también en el tratamiento de aguas, donde funciona como alcalinizante, promueve la sedimentación y actúa como agente de retención de hierro, magnesio y otros elementos. Además, el silicato de sodio se utiliza como estabilizador. Existe una amplia variedad de aplicaciones para el silicato de sodio en varias industrias diferentes. De manera similar a como se utiliza en la fabricación de cemento, también se utiliza como agente aglutinante en el desarrollo de cementos antiácidos, que son conocidos por sus excepcionales capacidades de aislamiento térmico. Como aplicación final, este material se utiliza para fines de consolidación de suelos. Este proceso implica bombearlo al suelo a alta presión junto con otros elementos químicos.



En el proyecto de investigación que Dharini y sus colegas (2023) han titulado "Mejora de la resistencia de suelos arcillosos expansivos usando cal como elemento estabilizador de la superficie junto con silicato de sodio como producto químico de lechado", los investigadores pretenden mejorar la resistencia de suelos arcillosos expansivos que son fácilmente accesibles en el área circundante usando cal como elemento controlador de la superficie y silicato de sodio como producto químico de lechado. Se emplea cal hidratada en polvo como agente estabilizador, mientras que el silicato de sodio se utiliza como componente del proceso de lechado. Este logro se ha completado con éxito. En el procedimiento se describe una técnica de estudio experimental, que implica la prueba Proctor convencional además de una prueba de  $F'c$  sin confinamiento que tuvo lugar a un nivel del 10%. Tuvieron lugar ambos ensayos. Durante el proceso de realización de la prueba de  $F'c$  sin confinamiento, las cantidades de silicato de sodio variaron al 2%, 4%, 6%, 8% y 10%. Al mismo tiempo, se mantuvo la cantidad adecuada de cal durante todo el procedimiento. Con la finalidad de optimizar la calidad de la superficie, la investigación tuvo lugar con la finalidad de encontrar la cantidad adecuada de contenido de cal que estaba presente. Se halló que el porcentaje de CBR de las superficies que habían sido manipulados con una mezcla óptima de cal y silicato de sodio era 7,86 veces mayor que el valor de CBR de las superficies que no habían sido tratados. Esta fue la conclusión a la que alcanzaron los estudiosos después de realizar el estudio. La cal, por sí sola, es beneficiosa; pero, cuando la cal se combina con silicato de sodio, las cualidades de resistencia de la superficie aumentan considerablemente. Este es uno de los hallazgos que se realizó en el artículo.

Apablaza, J. (2015) preparó una tesis con el título "Caracterización de Polímeros Fosfosiliciclásticos para obtener su título como Ingeniero Civil de la Universidad Austral de Chile, situada en Valdivia, Chile. La tesis fue escrita con el fin de cumplir con los requisitos para el título. Según él, pudo lograr el éxito en la fabricación de morteros geopoliméricos mediante el uso de fosforita, que es una sustancia fosfosiliciclástica que se



origina en Bahía Inglesa, que se encuentra en la costa norte de Chile, en conjunto con arena, hidróxido de sodio y componentes de silicato de sodio. La fabricación de estos morteros se logró mediante la activación alcalina del material fosfosiliciclástico, que se utilizó como reemplazo del cemento. La densidad total de la Nota de aluminosilicato, que es de 2100 kilogramos por metro cúbico, es el resultado de las contribuciones de tres componentes diferentes. Otro componente de esta densidad es la presencia de arena y solución alcalina. La selección del geopolímero número 11 se realizó después de la síntesis de catorce tipos distintos de geopolímeros. Este geopolímero en particular fue seleccionado porque cumplía con las diecisiete condiciones, que incluían adhesión, cohesión, desmoldeo y peso propio. Los componentes de la composición incluían arena que pesaba 367,57 gramos, una Nota de aluminosilicato que pesaba 107,52 gramos y una solución alcalina que pesaba 64,51 gramos. La solución alcalina estaba compuesta por 25,81 gramos de silicato de sodio, 12,90 gramos de hidróxido de sodio y 25,8 gramos de agua. La resistencia a la flexión se dimensionó en 26,4 kg/cm<sup>2</sup> luego de 28 días de curado, y el módulo de elasticidad, que se aproximó utilizando el método del módulo de Young, fue de 20509,2 kg/cm<sup>2</sup>. Ambos valores se hallaron luego de que el insumo se hubiera curado. De acuerdo con las normas establecidas por la UIC, esto demuestra que el material se clasifica como una clase de mortero compuesto de cemento y cal. Los ensayos de compresión arrojaron valores de 101,66 kg/cm<sup>2</sup> y 114,2 kg/cm<sup>2</sup> respectivamente luego de 28 y 60 días de curado seguidos de la finalización del proceso de curado. Estas cifras se calculan en base al experimento de compresión. Se encontró que el mortero era apropiado para su uso como mortero para juntas de mampostería reforzada ya que estaba en conformidad con la norma chilena NCh158of67. Esta fue la razón de los resultados satisfactorios.

Por otra parte, Caballero (2017) realizó un estudio que se tituló “Estabilización química con silicato de sodio del material de préstamo de la vía La Primavera – Bonanza – La Venturosa en el departamento del Vichada”. Esta investigación fue publicada en el año



2017. Fue en el año 2017 cuando se hizo pública esta investigación. La finalidad fundamental de esta investigación es analizar la resistencia y durabilidad de los insumos arcillosos del suelo que se encuentran mayoritariamente a lo largo de la ruta que ofrece una conexión entre La Primavera y Puerto Carreño. Para realizar la evaluación, se incorpora silicato de sodio al suelo en varios puntos durante el procedimiento. Una clase aplicada, un nivel explicativo y un modelo de investigación experimental son los tres componentes que controlan el enfoque. Los porcentajes que se asignan a cada uno de estos componentes son quince por ciento, veinticinco por ciento y cincuenta dólares respectivamente. La suma de silicato de sodio influyó positivamente en las cualidades mecánicas del material de préstamo que se utilizó en la construcción de la vía de estudio. Según los resultados del estudio, los materiales obtenidos en el lugar seleccionado tienen una composición clasificada como limo y arcilla de color rojizo. Esta es la conclusión que es posible sacar de los valores. A diferencia de los índices plásticos para este material, que pueden variar entre el 13% y el 19%, las restricciones líquidas para este material pueden ser del 31% al 37%, respectivamente. Se ha demostrado que la sustancia química en cuestión presenta las limitaciones estándar de Atterberg. Según los datos, la composición litológica de la zona investigada es constante en toda la región en su mayor parte. Además, cuando el agua de consolidación tiene una concentración de silicato de sodio del cincuenta por ciento, las resistencias del suelo aumentan a alrededor de doce kilogramos por centímetro cuadrado y la tasa de desprendimiento alcanza el setenta por ciento. Esto se debe a que la concentración de silicato de sodio en el agua de consolidación aumenta. Una forma de demostrarlo es observar. Las cualidades de la superficie han demostrado una optimización de esta manera dentro del contexto de estos hechos y condiciones específicas.

### **2.1.2 Antecedentes nacionales**

La investigación fue realizada por Ynfa, J. (2017), y el proyecto se tituló "Estudio de la Influencia de la Emulsión Asfáltica Catiónica con Adiciones de Silicato de Sodio en



la Solidificación e Inmovilización de Metales Pesados en Relaves Polimetálicos, Caylloma - Perú". La investigación de Ynfa fue publicada en el 2017. Cabe señalar que cada ejemplar contaba con los siguientes componentes: En el envío se incluyeron los siguientes artículos: 180 gramos de relaves de Minera Bateas S.A.C., 55.83 gramos de cemento portland 1P, 3.6 gramos de cal, 22.3 mililitros de agua, 27 mililitros, 13.5 mililitros y 6.7 mililitros de emulsión asfáltica, así como tres mililitros y 0.5 mililitros de silicato de sodio. Como la muestra de control no contenía ni de compresión axial arrojó un resultado de 47,51 MPa. Esto se debió al hecho de que el estudio no incluyó ninguna de estas sustancias. La muestra T9, que tenía 6,7 cc de emulsión encerrada en su interior, pudo alcanzar una presión de 50,29 MPa. La muestra T7, que consistía en 6,7 ml de emulsión y 1,5 ml de silicato de sodio, se produjo con éxito aplicando una presión de 50,21 MPa. La muestra estaba formada por estos dos componentes. Se logró una presión de 49,46 megapascales con la muestra T6, que tenía un volumen de 13,5 mililitros de emulsión. La muestra T8 pudo registrar una presión de 47,63 megapascales cuando se llenó con 6,7 mililitros de emulsión y 1,5 mililitros de silicato de sodio que contenía silicato de sodio. Se determinó que la muestra T5, que estaba compuesta por 13,5 ml de emulsión y 1,5 ml de silicato de sodio, fue capaz de obtener un valor de 39,89 MPa. La muestra T3, que tenía 27 mililitros de emulsión en ella, fue capaz de alcanzar una presión de 35,44 megapascales (MPa). Para la muestra T4, que consistía en 13,5 ml de emulsión y 3 ml de agua de silicato de sodio, se observó una presión de 33,48 MPa. Este valor se determinó midiendo la presión. Después de aplicar una presión de 27,28 megapascales, se produjo la muestra T2. Esta muestra estaba compuesta por 27 mililitros de emulsión y 1,5 mililitros de silicato de sodio. En comparación con el espécimen de control, las muestras que incluían silicato de sodio y emulsionante no mostraron diferencias estadísticamente significativas en términos de sus propiedades. Para alcanzar con los requerimientos del ensayo de lixiviación, se seleccionaron un gran número de especímenes, incluyendo dos unidades de T9 y dos unidades de T7. Una unidad de cada



espécimen T9 y T7 se sumergió en una mezcla ácida que incluía ácidos sulfúrico y nítrico durante setenta y cinco horas. Esto se hizo con el fin de completar el experimento. Además, los T9 y T7 restantes se sumergen en una solución alcalina, lo que conduce a la extracción de metales libres. Este proceso se repite hasta que se obtienen las cantidades deseadas de metales. Además, se utiliza un pH de 10. El impacto que la mezcla ácida, que tenía un pH de 4, tuvo sobre las muestras fue equivalente al efecto que tendría la lluvia ácida. La concentración de plomo en el espécimen de control fue de 0,0054 miligramos por litro, mientras que la concentración de plomo en el espécimen T9 fue de 0,0435 miligramos por litro y el valor de plomo en la muestra T7 fue de 0,0071 miligramos por litro. Por otro lado, la concentración de plomo en el espécimen T7 fue de 0,0071 miligramos por litro. En todos y cada uno de los casos, no estaba presente el zinc. Según los hallazgos, la concentración de cobre libre en el espécimen de control fue de 0,0056 miligramos por litro. Por otro lado, la concentración de cobre libre en T9 fue de 0,0079 miligramos por litro y la concentración en T7 fue de 0,0081 miligramos por litro. En la cantidad más alta que se puede tolerar, la concentración de microgramos por litro es de 0,02%. Se descubrió que T9 tenía hierro libre en una concentración de 0,037 miligramos por litro, pero ni T7 ni el control revelaron niveles significativos del elemento. En el medio alcalino, la concentración de plomo que detectó T9 fue de 0,0116 miligramos por litro, mientras que la concentración de plomo que registró T7 fue de 0,0048 miligramos por litro. La concentración de plomo en el espécimen de control se midió y fue de 0,0376 miligramos por litro cuando se colocó en el medio alcalino. El zinc no estaba presente en ninguna de las muestras de control que se estaban examinando. Se descubrió una cantidad de cobre libre en la muestra de control en una concentración de 0,0106 miligramos por litro. Por otra parte, la concentración de cobre en T9 fue de 0,0056 miligramos por litro, y el contenido de plomo en T7 fue de 0,0075 miligramos por litro. Estas concentraciones fueron todas inferiores al umbral que habría permitido la detección. Un contenido de plomo de 0,02 microgramos por litro se considera



dentro del límite aceptable. Después de realizar el experimento, se descubrió que la cantidad de hierro libre fue de 0,049 miligramos por litro. Por otra parte, las concentraciones de T7 y T9 no fueron detectables en el medio alcalino, donde la concentración máxima permitida es de 0,3 miligramos por litro. Los patrones T7 y T9 continúan estando por debajo de los límites permitidos, a pesar de que cada uno de estos patrones incluye metales libres. T7 es mejor que los otros dos patrones en términos de su capacidad para inmovilizar metales. Esta diferencia se puede ver en la comparación.

En el proyecto de investigación que realizan Aguilar y Cárdenas (2023), titulado “Estabilización de suelos arenosos mediante la adición de silicato de sodio en la subrasante de la Alameda Sur de Chorrillos”, los investigadores están interesados en hallar el % de silicato de sodio que contribuye a aumentar la capacidad portante del suelo. En la investigación mencionada en este artículo se utilizaron diversas metodologías de investigación, incluidas técnicas cuantitativas, aplicadas, explicativas y experimentales. Para ello se estudiaron muestras de suelos naturales y sintéticos, y se aplicó silicato de sodio en las siguientes proporciones: 4%, 6%, 8% y 10% respectivamente. Los valores hallados de la prueba de Proctor modificada sugieren que la capacidad portante es de 47.7% de CBR cuando el contenido de MDS es de 100% y se toma en cuenta 10% de silicato de sodio. Esto ha sido determinado por los hallazgos de la prueba. Además, la incorporación de un 10% de silicato de sodio en el material conduce a una densidad de 1.916 gr/cm<sup>3</sup> y una concentración de oxígeno del 8,1% en el interior de la propia sustancia. Debido a que el aumento de la disposición de consolidación y de la disposición de aguante CBR crece gradualmente con la aplicación de silicato de sodio en los % especificados anteriormente, los valores hallados del análisis del proyecto que aún se desconoce el % máximo de aplicación. Una de las conclusiones a las que se llegó fue la conciencia de que es posible lograr la estabilización de suelos naturales que no son adecuados para el silicato de sodio. Es posible que esto se deba a las mejoras significativas que se realizaron en el suelo.



El proyecto de investigación de Chávez (2021), titulado “Silicato de Sodio para la Estabilización de Suelos en el tramo La Menta km 00+000 – Garabato km 1+430 Distrito Las Lomas-Provincia y Departamento de Piura”, tiene como finalidad realizar un análisis de los resultados de las pruebas para hallar las cualidades de las superficies que han sido tratados con silicato de sodio en cuatro cantidades diferentes. Específicamente, el IP, el grado de compactación y el California Bearing Ratio (CBR) son los puntos focales de esta investigación. La técnica que se utilizó para realizar el trabajo de investigación se caracterizó por las siguientes características: un tipo aplicado, un nivel explicativo, un enfoque cuantitativo y un diseño y metodología de estudio experimental. En el proceso se utilizó 4%, 6%, 8% y 10% de silicato de sodio. Los datos indican que el IP disminuyó de 20% a 15,5% después de la suma de 10% de silicato de sodio a la mezcla. Este fue el caso cuando se midió el índice plástico. Si tenemos en cuenta que el material utilizado para la estabilización tiene densidades muy cercanas a los 2,4 g/cm<sup>3</sup>, este es un paso absolutamente importante para conseguir el grado de compactación requerido. Existe una relación entre el incremento del estabilizador y la optimización de la densidad del suelo, algo que puede apreciar cualquier persona que preste atención al tema. En lo que respecta al índice de carga de California (CBR) de superficie natural, se informa de un promedio de 6,03%. Esta medida se tiene en cuenta. Por otro lado, se consigue un CBR de 39,75% con el uso de un % adecuado de contenido de silicato de sodio de 7,77%. Esta investigación llegó a la conclusión de que el estándar del IP tiene una tendencia a disminuir cuando se aplican cantidades crecientes de silicato. Este fue uno de los resultados de la investigación. Existe una tendencia a la estabilidad dentro de este rango, que se ha demostrado que es la concentración óptima de silicato, que se encuentra entre el 6% y el 8%. El valor promedio que se logró fue de 7,77% en comparación con el valor ideal. Este fue el valor que se obtuvo. Las propiedades geomecánicas de los suelos que se ensayaron mejoraron con el uso de este valor. Además, el coeficiente de desempeño (CBR) del material que se había



estabilizado alcanzó el 39,75% del CBR promedio, lo que es una optimización relevante en contraste con el CBR del material que no se había estabilizado. Esto se debe a que el CBR del material estabilizado fue mucho mayor que el CBR promedio.

## 2.2 Marco teórico

### 2.2.1 Pavimentos

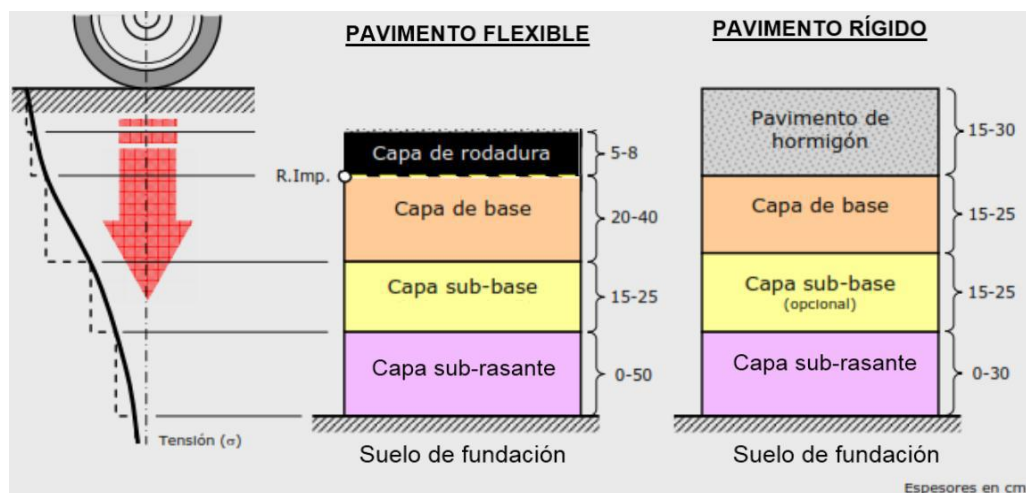
Conforme al Manual de Carreteras de la Comisión de Transporte de Maryland (2013), la capa o base que crea la superficie de una estructura construida o un paisaje artificial se denomina pavimento. El pavimento define la superficie del edificio o paisaje. El término "capa superficial" se utiliza con frecuencia para referirse al pavimento que se utiliza durante la construcción. El pavimento es un componente importante del suelo de la vía, visto desde la perspectiva de la rama de la ingeniería conocida como ingeniería civil. Una capa de cimentación es un estrato que se compone de uno o más insumos que se han depositado cuidadosamente sobre un terreno natural o plano. Esta es una forma de describir una capa de cimentación. Además de mejorar el aguante de la superficie a la erosión, el propósito principal de esta capa es facilitar el movimiento tanto de personas como de vehículos dentro de la región. Existe una variedad de insumos que es posible utilizar para construir revestimientos de pavimento. Algunos de estos materiales incluyen piedra, madera, asfalto, hormigón y algunas oportunidades más. En la construcción de pavimentos, es posible hacer uso de cualquiera o todos estos materiales disponibles. La disposición de aguantar pesos de tráfico, la capacidad de resistir los efectos atmosféricos, la capacidad de ofrecer una textura superficial correcta para las velocidades de tráfico previstas, la capacidad de soportar el desgaste por abrasión de los neumáticos, la capacidad de garantizar la longevidad, la capacidad de ser económicamente viable y la garantía de seguridad son requisitos que los pavimentos deben cumplir para ser considerados adecuados.

Por otro lado, Ortega y Villafuerte (2015) afirman que los pavimentos se construyen a partir de una serie de capas de material que se han ensamblado en un orden determinado.

Estas capas son las encargadas de acumular rápidamente los pesos del tránsito y luego distribuirlos a los niveles que se encuentran debajo de ellas de forma dispersa, formando así una superficie que sea de base. En el desarrollo de elaboración de pavimentos flexibles se utilizan superficies delgadas o aglutinantes. La base de los pavimentos está formada por capas, que consisten en la base y la subbase, entre otras combinaciones. En cuanto a la eficiencia de estos pavimentos, la disposición de los niveles inferiores para deformarse cuando se ven sometidas a esfuerzos es de suma importancia. En los pavimentos rígidos, la existencia de una losa de hormigón capaz de aguantar rápidamente los esfuerzos que se aplican por el tráfico automotor y transmitirlos a las capas que se encuentran debajo de ella es lo que los distingue de otros tipos de pavimentos.

**Figura 1**

*Distribución de esfuerzos de las capas granulares*



Nota: (Bañón Blázquez y Beviá García, 2010, Tomo II, pág. 19-8)

### 2.2.2 Partes del pavimento

- **Capa de rodadura:** Podrían ser de la clase rígida, flexible o semirrígida.
- **Base:** Nivel compuesta por un insumo estructural y cuyo espesor se determina en función de los requisitos de diseño que se estén utilizando. Según la integración del material de la subbase que se esté considerando, la aplicación de esta capa puede realizarse tanto en el nivel de la subbase como



en el nivel del subsuelo. Esta capa se encarga de absorber las tensiones que se generan por las cargas que se aplican al vehículo y, a continuación, se espera que transmita dichas tensiones de forma uniforme a la subbase y a la superficie de la cimentación, respectivamente. El relleno debe ser resistente a los cambios de temperatura y humedad y no es posible presentar fluctuaciones de volumen que puedan influir negativamente en la construcción del pavimento. Además, el relleno no debe presentar fluctuaciones de volumen. Para garantizar un drenaje suficiente, es necesario controlar la proporción de partículas. Existe la posibilidad de que una cantidad excesiva de partículas obstruya los huecos de la cimentación, lo que repercutirá en la disposición de la cimentación para dejar el paso del líquido mediante ella (Lomparte et al, 2019).

- **Subbase:** Capa que mantiene su adherencia a la subrasante y está formada por un material de carácter estructural. Por la forma en que se diseñó el producto, el espesor de esta capa está predeterminado. Esta capa está compuesta por componentes granulares y es evidente que estos componentes presentan un grado sustancial de gradación. La incorporación de una subbase da como resultado una mejora en la disposición de peso de la superficie, lo que a su vez da como resultado una disminución en el espesor requerido del nivel de apoyo. Para evitar que cualquier defecto o deficiencia en la cimentación tenga un impacto en la base, esta capa es la que está diseñada para rectificar tales problemas. Ejemplos de estos defectos y cualidades aberrantes incluyen variaciones en el volumen, la elasticidad y la flexibilidad. Todos estos son ejemplos de fallas y características. Además de esto, es esencial que desempeñe la función de drenaje para el pavimento para evitar que el agua pueda penetrarlo y que las partículas sean

transportadas. Como resultado de la instalación de esta nivel, se maneja el ascenso capilar del líquido que viene de los mantos freáticos circundantes u otras Notas, protegiendo así al pavimento del hinchamiento que puede ocurrir en lugares específicos, como aquellos que son propensos a las heladas (Lomparte et al, 2019).

- **Subrasante:** El terreno que se sitúa instantáneamente debajo del pavimento posee la disposición de influir en el desempeño del pavimento debido a su resistencia. Aparte de actuar como cimentación del pavimento, la tierra también sirve como base del pavimento. Payne (2017) afirma que las tareas fundamentales del nivel de subrasante son aceptar y soportar los pesos de tránsito que impone el pavimento, así como transferir estas cargas a la estructura del terraplén de manera adecuada. Además, la capa de subrasante es responsable de preservar la integridad del terraplén. Una vez culminados los movimientos de tierra conforme con las especificaciones del estudio, la estructura del pavimento se construye sobre la base del nivel superior de los movimientos de tierra, que normalmente está compuesto por una subbase, una base y una capa de hormigón o asfalto. Esta capa sirve de base para la estructura del pavimento. El material en cuestión se caracteriza por adoquines y otras capas granulares que se han seleccionado o clasificado a partir de cortes y extracciones de canteras. Este material tiene propiedades tanto granulares como sólidas (Lomparte et al, 2019).

### 2.2.3 *El suelo*

Conforme con los descubrimientos de Juárez Badillo y Rico Rodríguez, se ha demostrado que estos sedimentos están conformados por moléculas sólidas que no están cementadas. Estos fenómenos se producen por la alteración de las rocas o superficies que han sido empujados por elementos como el agua, el hielo o el viento, con la ayuda de la

gravedad. Ejemplos de tales elementos son el viento, el agua y el hielo. La presencia de material orgánico en estos sedimentos es otra posibilidad que no debe descartarse.

Según el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2012), el suelo de cimentación es la topografía que está compuesta por tierra, roca o una mezcla de cualquiera de estos dos materiales. Es necesario aprovechar la sección del suelo de cimentación que ha sido compactada y nivelada para dar soporte a los pavimentos.

### **2.2.3.1 Clasificación de suelos**

Establecimiento de un plan de organización de superficies Los procesos que controlan la producción de superficie han conducido al proceso de una gama de sistemas de clasificación y se han elaborado planes de organización. Dada la gran cantidad de diferentes tipos de suelos que se pueden descubrir en la Tierra, esto no debería sorprendernos. Los criterios que especifica el sistema y la aplicación que lo define se utilizan para establecer el área de aplicación que se asigna a cada sistema. Esta área de aplicación está designada por los criterios que define el sistema. SUCS y AAHSTO son las categorías que están abiertas para que los participantes elijan.

#### **2.2.3.1.1 Sistema unificado de clasificación de suelos (S.U.C.S)**

Además de proporcionar información descriptiva esencial sobre la superficie, el plan de organización de superficies (SUCS) también le da a cada suelo un nombre de grupo y un símbolo o símbolos para representarlo. Hay dos clasificaciones principales que se pueden aplicar al suelo: suelos de grano grueso, que están conformados por arena y grava, y superficies de grano fino, que están formados por limo y arcilla.

#### **I. Suelos gruesos**

Es posible clasificar estos suelos en dos categorías separadas, que se especifican de la siguiente manera: La capacidad del filtro No. 4 para preservar más del cincuenta por ciento del componente grueso del material es una de las primarias cualidades que separa a las gravas de otros tipos de filtros. Según Crespo (2004), como se menciona en la página



92, las arenas se identifican por el hecho de que al menos el cincuenta por ciento de su fracción gruesa es capaz de pasar por el tamiz número cuatro. Esta es la característica definitoria de las muestras de arena.

A la hora de clasificarlas, se pueden utilizar cuatro categorías:

Material desprovisto de finos, bien calibrado, denotado por el símbolo (W), que al combinarse con símbolos genéricos, da como resultado grava bien calibrada (GW) y arena bien calibrada (SW); elemento desprovisto de finos, mal calibrado, representado por el símbolo (P), que al combinarse con símbolos genéricos, da como resultado grava mal calibrada (GP) y arena mal calibrada (SP); Los materiales que contienen finos que no son plásticos se representan con el símbolo (M), que al combinarse con símbolos generales, da como resultado grava limosa (GM) y arena limosa (SM). Por otro lado, los materiales que incluyen partículas plásticas se denotan con el símbolo (C). Cuando se combinan con símbolos generales, se producen grava arcillosa (GC) y arena arcillosa (SC) como consecuencia de esta combinación.

## II. Suelos Finos

Crespo (2004, pág. 92) dijo que cuando las superficies se separan en 3 conjuntos distintos: el primer grupo está compuesto por limos y arcillas que tienen un LL inferior al 50%, el segundo grupo está compuesto por suelos que tienen un LL por encima del 50% y el tercer grupo está formado por suelos finos altamente orgánicos.

Las características de compresibilidad baja y media están relacionadas con las superficies que tienen un LL inferior al 50 %. Estos suelos se caracterizan por su compresibilidad baja y media. Los limos inorgánicos con baja compresibilidad se denotan con las letras ML, las arcillas inorgánicas con baja compresibilidad se denotan con CL y los limos y arcillas orgánicos con baja compresibilidad se denotan con las letras OL. En conjunción con los símbolos generales, el hecho de que estos limos y arcillas tengan un signo que se denota con la letra L sugiere que tienen una compresibilidad baja. En el caso

de que el LL sea superior al 50%, los suelos se clasificarían como suelos de alta compresibilidad, que se denotan con los símbolos (H) en la siguiente oración. En otras palabras, es un símbolo que indica alta compresibilidad. El signo (Pt) se utiliza para designar cada uno de estos suelos de forma independiente. Existen varias clases de superficies elevadamente orgánicos, como la turba o los suelos pantanosos, y el signo se usa para denotar estos suelos (Juárez, 2005 p. 155).

### **2.2.3.1.2 Sistema clasificación de suelos AASTHO**

De acuerdo con el enfoque que utiliza la Sociedad Estadounidense de Funcionarios de Transporte por Carretera (ASHTO), el suelo puede clasificarse en dos categorías separadas: suelos limo-arcillosos y suelos granulares. En lo que respecta a la calidad, los materiales que se consideran subrasantes pueden variar desde satisfactorios hasta deplorables. Para ello se utiliza el (IG), que es una medida de estándar de superficie. Cuando el IG se reduce, el estándar de la superficie sigue mejorando. Esta es la tendencia general (Gualán, 2014, p. 26).

#### **A. Suelos Granulares**

Las partículas que se encuentran incrustadas en estas superficies se organizan en tres grupos: A-1, A-2 y A-3. Estas categorías se utilizan para categorizar las partículas. La presencia de partículas que puedan pasar a través de un tamiz con una dimensión de malla de 200 y que representen menos del 35 por ciento del total se puede utilizar para identificarlas.

Piedras, gravas, arena y un agente aglutinante que sea algo flexible son algunos de los componentes que se incluyen en los suelos que incluyen el Grupo A-1. Estos suelos han sido clasificados adecuadamente y también contienen otros componentes. Además, se incluyen en esta categoría combinaciones de calidad excepcional que no contienen ningún agente aglutinante. El material granular que se designa como perteneciente a la categoría División A-2 se define como que tiene un contenido de partículas finas inferior al 35 por

ciento. Además de tener un bajo grado de elasticidad, las arenas finas de playa que se clasifican como pertenecientes al grupo A-3 incluyen una cantidad despreciable de limo (Gualán, 2014, p. 27).

## **B. Suelos Finos**

La composición limosa-arcillosa de estos suelos, en combinación con la presencia de partículas que contienen un porcentaje superior al 35 por ciento y que son capaces de pasar mediante de un tamiz con una dimensión de malla de 200, permite la clasificación de estos suelos en cuatro grupos separados: A-4, A-5, A-6 y A-7. Otras categorías incluyen A-7, A-6 y A-7.

Se considera que un suelo pertenece al grupo A-4 si es limoso, tiene poca o ninguna flexibilidad e incluye al menos un 75% de partículas que pueden pasar mediante de un tamiz con una dimensión de paso de 200. Esta organización se basa en la disposición de la superficie para filtrar partículas. Los suelos del grupo A-5 se distinguen por su alto límite líquido y flexibilidad, ambas características de los suelos que pertenecen a esta categorización. Se puede hacer una comparación entre estos suelos y los que se clasifican como suelos de categoría A-4. Se exige que el setenta y cinco por ciento de estas superficies puedan pasar por el tamiz # 200. Las arcillas plásticas se clasifican como pertenecientes al Grupo A-6. Las superficies que incluyen al Grupo A-7 son elásticos y tienen límites líquidos altos, lo que los hace equivalentes a las superficies que pertenecen al Grupo A-6. Con altas restricciones líquidas, se especifican los suelos que caen en la categoría del Grupo A-7 (Gualán, 2014, p. 27).

### **2.2.4 Estabilización de suelos**

Según la investigación realizada por Álvarez Pabón en 2010, el término "modificación del suelo" se utiliza para describir una colección de diferentes enfoques físicos y químicos que se utilizan para cambiar las cualidades de las superficies que son relevantes para ciertas aplicaciones de ingeniería. La meta de este proyecto es hallar si la

combinación del material y el estabilizador es apropiada o no para una determinada aplicación antes de seguir adelante con la investigación. Al actuar de esta manera, será posible prevenir la necesidad de materiales alternativos que son prohibitivamente costosos o muy difíciles de conseguir. La versión que se distribuyó fue la que elaboró el MTC en el año 2008 y que se tituló Manual para el Diseño de Caminos de Tierra con Bajo Volumen de Tráfico. Es el desarrollo que tiene como finalidad fortalecer la resistencia, durabilidad, insensibilidad al agua y estabilidad durante el uso continuo para hacerlo capaz de aguantar las más duras situaciones climáticas. El control, que es posible ser de tipo granulométrico o mecánico, es un enfoque que se puede utilizar para adquirir suelos que presenten mayor granulometría, plasticidad, permeabilidad o impermeabilidad. Esto se puede lograr mediante el uso de cualquiera de los dos métodos. Uno de los procesos que se incluye en este enfoque es la amalgamación de dos o más suelos que tengan características notablemente diferentes entre sí.

#### 2.2.4.1 Clases de estabilización de suelos

##### A. Estabilización física

En el Manual de Carreteras publicado en 2014, titulado “Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos”, se menciona que esta clase de control se usa para optimizar la superficie generando cambios físicos en su interior. Los pavimentos también se incluyen en este apartado. A continuación, se enumeran los métodos más significativos, que se encuentran entre los muchos que existen:

- ✓ **Mezclas de Suelos:** Cuando se realiza por sí sola, esta técnica de estabilización no proporciona los efectos esperados, a pesar de que es ampliamente utilizada. Siempre es necesario incluir el componente de compactación como un componente extra para obtener los buenos resultados deseados.



El alto grado de fricción interna que está presente en las arenas con grava y otros suelos de grano grueso hace posible que este tipo de suelos soporten una cantidad significativa de estrés que es impuesta por el medio ambiente que los rodea. Debido a que no hay cohesión en el suelo, las partículas del suelo pueden moverse libremente. Esta cualidad no contribuye a la estabilidad del suelo porque no lo hace estable. A medida que los autos pasan por el suelo, existe la posibilidad de que las partículas se desagreguen y tal vez se desprendan de la calzada.

Las arcillas, por otro lado, tienen un alto grado de cohesión y muy poca fricción entre sus partículas, lo que las lleva a perder su estabilidad cuando se someten a un nivel importante de contenido de humedad. Las arcillas se caracterizan por su alto grado de cohesión sobre su baja fricción. Al mezclar estos dos tipos de suelo en las proporciones adecuadas, es posible generar una sustancia que sea estable. Para lograr que las partículas sean capaces de adherirse entre sí, este material aprovecharía la elevada fricción interna de un suelo.

- ✓ **Vibroflotación:** Carlos Fernández Loaiza nació en México en el año 1982. Su año de nacimiento fue 1982. Una frase que a veces se utiliza para referirse a este método es llamada vibrocompactación, que es un término que detalla el paso a paso de compactación de la superficie que se logra mediante el uso de vibradores. Tomar cualquier cosa en consideración es una señal de que el método se está tomando en cuenta. El uso de este método de tratamiento tiene el potencial de estabilizar suelos granulares, como arena y grava, entre otras condiciones. Mediante el uso de vibración, el método consiste en suspender las partículas para facilitar su reorganización en una forma más compacta.

**Figura 2***Estabilización física de suelos***B. Estabilización química**

Una investigación realizada en Santiago de Chile en 2013 por Solminihaq, Echeverría y Thenoux indicó que la estabilización química es un proceso que incluye la alteración de las cualidades químicas de la superficie a través el uso de un aditivo en particular. Cuando este aditivo se integra al suelo, las características moleculares superficiales de las partículas del suelo se modifican en la gran parte de las situaciones. Existen ciertas circunstancias en las que el aditivo hace que los granos creen conexiones entre sí, lo que eventualmente lleva a un incremento en la resistencia de los granos.

La aplicación de agentes químicos es una técnica que se utiliza con el propósito de estabilizar químicamente los suelos. Estos agentes deben mezclarse entre sí de manera consistente con el suelo que se va a tratar y curar conforme con los requisitos técnicos del producto. Estas normas se detallan en la Norma Técnica para Estabilizadores Químicos MTC E 1109 – 2004, publicada en el año 2004. Siempre que se aplica un estabilizador químico al suelo, el objetivo principal es impartir ciertos atributos al suelo que ha sido tratado dentro de un espesor que se ha definido de antemano. Estas características se pueden mejorar durante la etapa de construcción del desarrollo de edificación o en la etapa de operación del desarrollo de edificación. Ambas fases son potencialmente aplicables.



En la sección del Manual de Carreteras de 2014 titulada "Suelos, geología, geotecnia y pavimentos", se señala que el uso de ciertos agentes químicos es el factor principal responsable de esta forma de estabilidad. Debido al empleo de estos compuestos, se requiere tanto la sustitución de iones de metal como la alteración de la composición química de los entornos del suelo que se ven afectados. Según diversas estimaciones, los siguientes son algunos de los elementos que se consideran entre los más utilizados:

- **Cal:** Los suelos arcillosos se vuelven menos flexibles como consecuencia de esto, lo que también conduce a una gran disminución de los gastos asociados con el proceso.
- **Cemento Portland:** La arena y la grava fina son usos típicos para este producto químico, que es reconocido por su disposición para fortalecer la resistividad de la superficie. La arena y la grava fina son otras aplicaciones comunes.
- **Productos Asfálticos:** Es una emulsión que se utiliza a gran escala y se implementa en el caso de materiales triturados que no tienen una calidad cohesiva.
- **Cloruro de Sodio:** Es principalmente eficaz para arcillas y limos debido a que es impermeable al agua y reduce el número de polvo que está existente en la superficie.
- **Cloruro de Calcio:** El empleo de este producto químico es una técnica generalizada que se utiliza para aumentar la durabilidad de las capas de asfalto, impermeabilizarlas y alargar la vida útil de las capas de asfalto.
- **Polímeros:** Cuando se aplica a los suelos, a menudo se utiliza con la finalidad de incrementar la resistencia de la superficie, optimizar su impermeabilidad y prolongar la durabilidad del suelo.

**Figura 3**

*Estabilización química de suelos*

**C. Estabilización mecánica**

La observación de que es el tipo más fundamental de estabilidad la hizo Raúl A. Colombo en su investigación científica que se publicó en el año 2004. Para ser más específicos, esto se debe específicamente al hecho de que no solo proporciona ciertas ventajas por sí solo, sino que también funciona en combinación con otros tipos de estabilidad. La aplicación de energía mecánica a la mayor parte del suelo tiene el potencial de establecer la estabilidad, lo que conducirá a los resultados más favorables que se pueden lograr potencialmente. Para garantizar que se le asignen a una determinada capa cargas que estén en línea con las de otras capas, se lleva a cabo este procedimiento. Para estabilizar el suelo utilizando estos métodos, una de las cosas más importantes que se deben hacer es regarlo. Esta es una de las cosas más importantes que se deben hacer. Para garantizar que se cumplan los requisitos, es necesario incluir el porcentaje que se estableció mediante los procesos de examen. Es necesario compactar el material utilizando el equipo de compactación adecuado que esté especialmente diseñado para el tipo de material que se está utilizando. Esto se debe a que el proceso de arado produce una serie de pérdidas, entre ellas la mezcla, la evaporación y otros procesos similares.



Este método de estabilización del suelo desarrolla un incremento de la densidad del suelo, lo que conduce a una optimización significativa sin producir más reacciones químicas significativas. A continuación, se incluye una lista de los procedimientos de estabilización mecánica que se utilizan la mayoría de las veces:

- **Compactación:** Se trata de un procedimiento que se lleva a cabo a menudo con el uso de métodos mecánicos e incluye el acercamiento de las partículas del suelo entre sí. Esto es algo que se puede lograr liberando aire de los poros, lo que produce una reducción bastante rápida del número de huecos en todo el material. Como consecuencia de esto, se producen cambios relevantes en el volumen de la superficie, que afectan principalmente al volumen del aire.

Según Chang (2007), el desarrollo de compactación incluye la densificación de las moléculas de la superficie a través el uso de compresión mecánica para lograr el mayor grado posible de contacto entre individuos. Esto conduce a un aumento de la densidad seca, lo que a su vez dirige a una reducción de la conexión entre el espacio vacío y el espacio total.

Mediante el proceso de compactación, el suelo consigue aumentar tanto su resistencia como su capacidad para soportar cargas. Como consecuencia de esta propiedad del material, se reducen tanto la compresibilidad como la capacidad de absorción de agua. Existe una correlación entre una caída de la relación de huecos y una caída del número de asentamientos que se han producido.

Aunque existen numerosas ventajas en el uso de la compactación, también existen algunas desventajas relacionadas con su uso. El material que se forma como consecuencia de una compactación excesiva resulta ser uno de los más propensos a fracturarse que otros materiales. Existe una correlación

entre la presencia de humedad y un aumento del potencial de hinchamiento, así como del potencial de expansión del material de suelo fino. El frío también provoca un aumento del potencial de expansión presente en el material.

**Figura 4**

*Estabilización mecánica de suelos*



### 2.2.5 Propiedades de un suelo

#### A. Prueba de contenido de humedad

El análisis de humedad permite obtener información importante acerca del contenido de humedad del suelo, ya sea en su manera nativa como en la modificada, que puede utilizarse para tomar decisiones informadas sobre el futuro del suelo. Tras la primera etapa de determinación del peso de la muestra, se procede a su secado en un horno que continúa a una T° de alrededor de 110 °C antes de pasar a la siguiente fase. Tras el proceso de deshidratación, la muestra se somete a un paso a paso de pesaje para hallar la cantidad de humedad que posee (Neyra, 2016).

Esta proporción se obtuvo mediante la fórmula que se presenta en los siguientes párrafos:

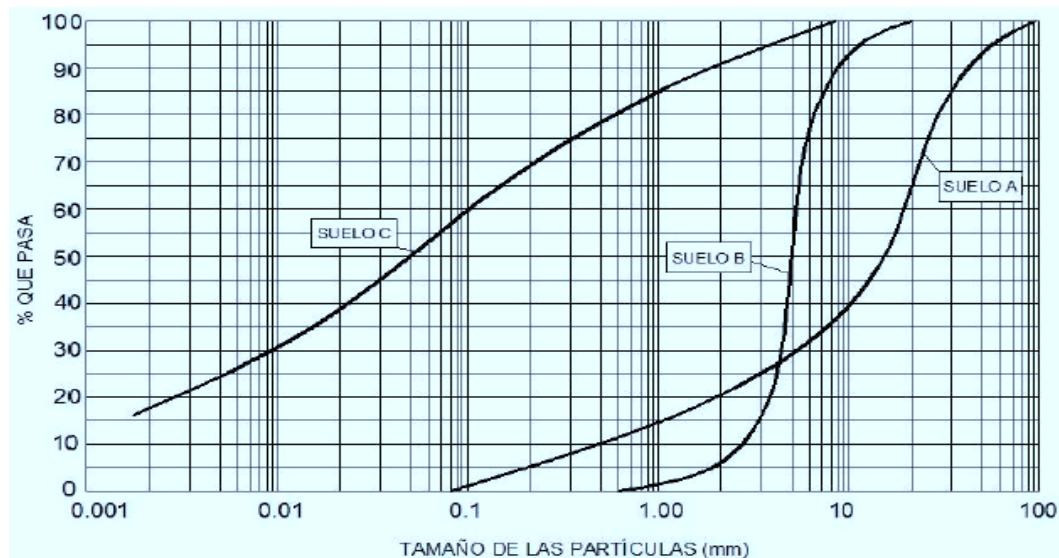
$$W = \frac{W_w}{W_s} * 100\% \dots \dots \dots Ec \text{ N}^\circ 1$$



## B. Análisis granulométrico:

A continuación, el espécimen de superficie se pasa por una serie de tamices con aperturas que se van haciendo cada vez más pequeñas, hasta llegar a la malla N° 200 (0,074 mm), que es la abertura más pequeña. Inicialmente, se mide el peso de la suciedad que se encuentra dentro de cada tamiz. Luego, se determina el % de cada uno de ellos en proporción al peso total del espécimen. Seguidamente, estos porcentajes se suman a los porcentajes que se mantienen en todos los anchos de malla mayores. Este proceso se repite hasta completar el total. Como consecuencia de esta adición, se incrementará la proporción de partículas de suelo que son más pequeñas que el tamaño que indica la malla que se ha establecido. En 2005, Juárez Badillo y Rico Rodríguez realizaron un estudio para hallar las ocasiones que rodearon el incidente. Este enfoque hace posible calcular los puntos de la curva acumulativa que corresponden a cada abertura. Esto es posible gracias al uso de este método. Existe la posibilidad de que la puesta en práctica de este método sea difícil en circunstancias en las que las aberturas estén algo próximas entre sí. Por ejemplo, el uso de mallas con tamaños de No. 100 (0.149 mm) y No. 200 (0.074 mm) requeriría la utilización de agua como estrategia de limpieza para facilitar el paso de la muestra. Es esencial realizar un análisis que se apoya en una gama de fundamentos distintos cuando se trata de tamaños de suelo que son más bien pequeños. Como ejemplo de una de estas ideas, pensemos en el método del hidrómetro, que en ciertas comunidades también se conoce como método del densímetro. El hecho de que este método sea capaz de realizar exámenes exhaustivos es lo que lo diferencia de otros métodos.

Un ejemplo de un suelo formado por partículas del mismo tamaño en toda su extensión se muestra mediante una línea vertical. Por otro lado, una curva que es visiblemente plana indica la existencia de una considerable variedad de tamaños de partículas, lo que se observa a menudo en suelos heterogéneos o bien gradados.

**Figura 5***Curvas granulométricas*

Nota: Juárez Badillo, Rico Rodríguez.

- A Superficie correctamente gradado y de grano grueso
- B Superficie incorrectamente gradado, poco uniforme
- C Suelo arcilloso o limoso

### C. Limite liquido:

Según Crespo (2004), en la página 70, la variable que permite la transición de la superficie de un estado líquido a uno plástico es el contenido de humedad de la superficie, el cual se denota cómo % del peso seco de la muestra.

Para poder hallar el LL de la superficie es necesario hacer uso de los siguientes aparatos: la olla Casa Grande, el ranurador de acero inoxidable que puede ser plano o curvo, la balanza que tiene una precisión de 0,1 g, el horno de secado y el calibrador que tiene una medida estimada de 0,1 cm. Como se indica en la página 42 de la publicación de Botía (2015), los elementos que se van a utilizar consisten en cuarenta tamices, recipientes para hallar la cantidad de humedad existente y una espátula.

Es suficiente que por el tamiz No. 40 pasen una cantidad de gramos, que oscila entre 150 y 200 gramos, lo que expresa una proporción representativa de toda el espécimen.

Existe la posibilidad de que la cantidad de muestras que fluyen libremente se pueda reducir de manera eficiente al dividir en cuartos o separar las muestras (MTC, 2016, p. 68).

$$LL(\%) = \left(\frac{N}{25}\right)^{0.121} \dots \dots \dots Ec N^{\circ} 5$$

### D. Límite plástico e IP:

Utilizando el IP, que es una dimensión de la cantidad de fluctuación de humedad que permite que la superficie presente un comportamiento plástico, es posible obtener una categorización completa del suelo. Si el IP de una superficie es elevada, señala que la superficie tiene una gran cantidad de arcilla, por otro lado, que un suelo con un IP bajo indica que la superficie contiene una cantidad comparativamente baja de arcilla. MTC (2014)

$$LP(\%) = \frac{\text{Peso del agua}}{\text{Peso seco del horno}} * 100 \dots \dots Ec N^{\circ} 6$$

$$IP = LL - LP \dots \dots Ec N^{\circ} 7$$

**Tabla 2**

*Categorización de suelos según el Índice de Plasticidad*

IP	Plasticidad	Cualidades
20<IP	Alta	Superficie muy arcillosa
7<IP<20	Media	Superficie arcillosa
7>IP	Baja	Superficie poco arcillosa
0=IP	No plástico (NP)	Superficie exenta de arcilla

**Nota:** (MTC, 2014).

### E. Ensayo de Proctor Modificado:

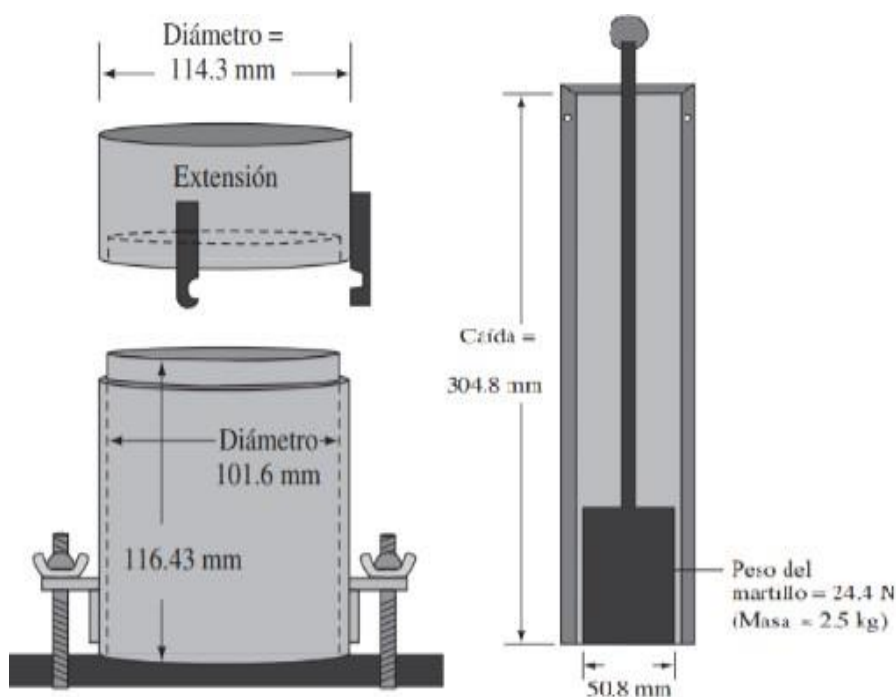
La norma NTP 339.141 describe un método para hallar la conexión entre el contenido de agua y el peso unitario seco de la superficie que se ha compactado en un molde con un diámetro de cuatro pulgadas. El método implica el uso de un apisonador que se ha

dejado caer desde una altura de dieciocho pulgadas para generar una vigorosa fuerza de compactación.

La finalidad principal del estudio es determinar la magnitud de la conexión que existe entre la relación del peso unitario seco en un cierto volumen y la cantidad de líquido que está existente en la superficie. Al comprimir cinco capas de materiales con diferentes grados de humedad dentro de un molde se obtiene una forma circular. La curva está determinada por la densidad seca límite y el contenido de humedad óptimo, ambos factores relacionados entre sí.

**Figura 6**

*Instrumento de Proctor Modificado*



#### **F. Prueba de valor relativo de aguante CBR en laboratorio:**

Esta prueba está diseñada para medir la disposición portante de superficies y agregados que han sido consolidados en el laboratorio, bajo circunstancias de humedad ideal y diversos grados de consolidación, como lo afirma Hernández (2008). El propósito de esta prueba es hallar la disposición portante de las superficies y agregados. También es el propósito de la prueba calcular la durabilidad al corte de la superficie en circunstancias



de humedad y densidad controladas. Esto hará que sea mucho más simple determinar un % de conexión de aguante. La División de Carreteras de California del Departamento de Transporte ideó esta prueba en 1929 con el fin de identificar y analizar la aceptabilidad de la superficie para su empleo como material de subbase o apoyo en la ejecución de carreteras y aeropuertos. La prueba fue diseñada para determinar si el suelo es adecuado o no para su uso en estas capacidades.

### 2.2.6 *Silicato de Sodio.*

Kermani et al. (2015, citado en Aguilar, 2023) que el desarrollo de estabilización de la superficie mediante el empleo de silicato de sodio es un enfoque químico que se usa para optimizar las características de la superficie, especialmente en los tipos de suelo arenoso, respectivamente. El compuesto químico silicato de sodio, que se representa por la fórmula  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ , también se conoce como vidrio. Además de ser conocido como vidrio o cristal líquido, el compuesto químico también contiene la palabra vidrio.

En concreto, el material en cuestión es un tipo de solución que entra en la categoría de acuosa. Debido a que no existe un rasgo identificativo asociado a este agente estabilizador, se puede hallar en una amplia gama de diversas formas físicas. En vista de que es fácil de manipular, que no presenta ningún peligro y que tiene una densidad de  $2,40 \text{ gr/cm}^3$ , es una alternativa que se juzgaría razonable.

Este componente en particular está compuesto por una sustancia de color blanco y que se disuelve fácilmente en agua. A través de su interacción con sustancias químicas como el ortosilicato de sodio y el piroxilicato de sodio, es posible conformar soluciones alcalinas solubles en agua y de aspecto vítreo. Estas soluciones se producen como consecuencia de la reacción.

Adicionalmente, con el fin de contribuir al desarrollo de la integridad estructural de las paredes verticales y los techos del túnel, se utiliza un adhesivo único en su tipo que está compuesto de silicato de sodio. Este pegamento se emplea. La mezcla de lechadas de arena

y pegamento se logra mediante el uso del método de inyección, que es el mecanismo por el cual se realiza esto (Javadzadeh, 2021).

### 2.2.6.1 Cualidades físicas y químicas del silicato de sodio

En cuanto al potencial de hidrógeno (pH), la relación entre el silicato de sodio alcalino y el silicato de sodio neutro es idéntica. Ambos tipos de silicato de sodio están compuestos de sodio. Existe una relación entre la cantidad de ( $\text{Na}_2\text{O}$ ) presente y el grado en que aumenta su alcalinidad. Los silicatos de sodio se clasifican como neutros cuando la relación es superior a tres ( $R \geq 3$ ). Esta clasificación se basa en la ecuación que describe la relación. Alternativamente, cuando la relación es inferior a tres ( $R < 3$ ), específicamente cuando la relación es de aproximadamente dos, se clasifican como alcalinos. Esta clasificación se basa en la relación. Es posible observar esto en la Tabla 5 a continuación. En términos de su peso molecular, el silicato de sodio tiene un valor de 122,05 y su punto de fusión puede estar entre 1088 grados Celsius y 1088 grados Fahrenheit.

**Figura 7**

*Producción de silicato de sodio*



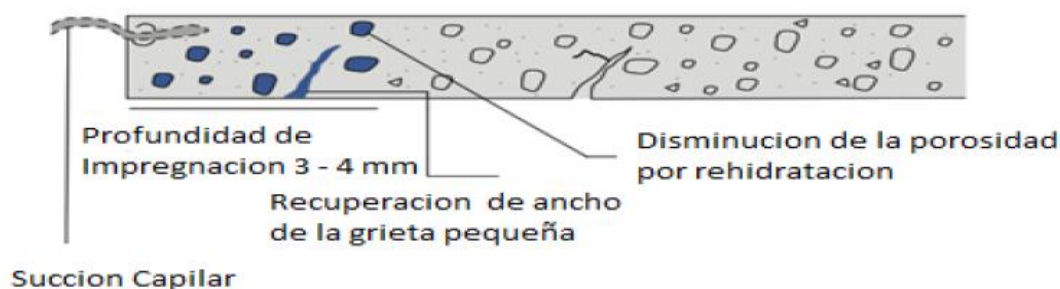
### 2.2.6.2 Relevancia del Manejo del Suelo en Construcción

Cuando se trata de garantizar el control y la vida útil de los proyectos de construcción, es muy vital gestionar el suelo de forma eficaz. Al realizar un estudio de la

composición del suelo, así como de sus capacidades mecánicas, los ingenieros pueden crear cimientos adecuados para el proyecto en cuestión. Como consecuencia de esto, es posible disminuir la posibilidad de que se desarrollen problemas como asentamientos y fallos estructurales. Al realizar un estudio exhaustivo del suelo, no solo es posible hacer el empleo más eficaz de los recursos disponibles, sino que también hace que el proceso de construcción sea más seguro. Un estudio sobre la resistencia a la corrosión y el rendimiento del hormigón tratado con silicato de sodio.

### Figura 8

*Concreto con silicato de sodio*



#### 2.2.6.3 Aditivos Químicos para el Mejoramiento de la Superficie

Para optimizar las cualidades geotécnicas de las superficies que no cumplen los criterios para la ejecución, son necesarios agentes químicos como el silicato de sodio. Estos suelos no son adecuados para la construcción. Debido a estos aditivos, el comportamiento molecular del suelo se modifica en respuesta a las cargas y la humedad presentes. Esto ocurre como consecuencia de la presencia del suelo. Como resultado de esto, transforman los suelos que son inadecuados en materiales que son más adecuados para sostener estructuras. Esto se logra mejorando la resistencia de la superficie y su disposición para aguantar pesos.

#### 2.2.6.4 Mecanismo de Acción del Silicato de Sodio en Suelos

En el proceso de utilización de este producto químico se producen geles de sílice que ayudan a reforzar la cohesión entre las moléculas de la superficie, lo que en última



instancia se traduce en un incremento del aguante de las partículas del suelo y una reducción de su permeabilidad. La ocurrencia de este evento posee el impacto de reducir la posibilidad de que se produzca erosión y deterioro como consecuencia del mismo. Como consecuencia de su adaptabilidad, se puede utilizar para una gran gama de usos, incluidas las inyecciones en cimientos y mezclas con suelos, entre otras cosas.

#### **2.2.6.5 Aplicaciones Históricas y Progresos en Europa y EE.UU.**

Cuando se introdujo por primera vez el silicato de sodio, fue objeto de una gran cantidad de estudios que han demostrado que es servible para aumentar la resistencia de las superficies arcillosas y arenosas. Esta investigación tuvo lugar desde el inicio de su introducción. Se han documentado varios ejemplos exitosos como resultado estudio que tuvo lugar tanto en Europa como en los Estados Unidos. Estos casos sugieren que es eficaz en una gran variedad de situaciones climáticas adversas.

#### **2.2.6.6 Investigaciones Recientes sobre el Rendimiento del Silicato de Sodio**

Como consecuencia de los recientes esfuerzos científicos, se ha incrementado nuestra comprensión de las interacciones químicas que tienen lugar entre el silicato de sodio y una variedad de suelos. El silicato de sodio no sólo mejora la resistencia, sino que también reduce la flexibilidad del suelo, que es un componente crucial para extender la vida útil de la infraestructura de conservación de vías. Los resultados de estos ensayos señalan que el silicato de sodio contribuye significativamente a esta mejora.

#### **2.2.6.7 Investigaciones sobre Estabilización de Suelos en Perú**

Se ha realizado un estudio detallado en Perú con el propósito de investigar el problema de la inestabilidad del suelo en áreas propensas a terremotos. Según los resultados de estas investigaciones, el silicato de sodio tiene la disposición de optimizar significativamente las características geotécnicas de las superficies del área circundante, aumentando así la seguridad de la ejecución de infraestructura en zonas propensas a



terremotos. Esto se debe a que el silicato de sodio tiene la disposición de aumentar la cantidad de minerales presentes en el suelo.

### 2.3 Marco conceptual

1. **CBR.** Para analizar la disposición de pesos de las superficies compactadas, como terraplenes, capas de pavimento y subrasantes, así como para clasificar los suelos, es posible utilizar el aguante de la superficie como métrica. Esto también es útil para obtener información sobre el suelo.
2. **Contenido de humedad.** Este componente esencial del suelo tiene una influencia considerable en las características del suelo, que incluyen las variaciones de volumen, cohesión y estabilidad mecánica, entre otras características.
3. **Estabilización.** El paso a paso de estabilización necesita la incorporación de una variedad de componentes diferentes para optimizar las cualidades físicas y químicas de la superficie que no se han identificado en gran detalle. La realización de esta tarea se está realizando con la intención de lograr los resultados que se buscan.
4. **Granulometría.** La granulometría es el método que se usa en el desarrollo de estimación de la cantidad de granos para cada clasificación de dimensión, tal como lo indica una escala de tamaño de partícula. Este método se utiliza para cuantificar los tamaños de los granos que se incluyen dentro de un depósito sedimentario dentro del proceso de estimación del número de granos. La técnica que aquí se analiza se denomina granulometría.
5. **Índice plástico.** El comportamiento plástico de la superficie es posible medir mediante el IP y, en función de esta información, se puede estimar el nivel de humedad en el que las arcillas mantienen su fluidez.



- 6. Límites de consistencia.** Cuando se habla de suelos de grano fino, la frase "límites de Atterberg" se refiere a un conjunto de tres parámetros que caracterizan las distintas fases de consistencia que puede presentar un suelo de grano fino en función de la cantidad de humedad que contenga. Estas fases están determinadas por la cantidad de humedad que posee la superficie. En particular, el LL, el LP y el límite de contracción son temas que se tratan en esta sección.
- 7. Proctor modificado.** Es de suma importancia establecer una conexión entre la densidad seca de los materiales y el contenido de humedad de su compactación cuando se trata de los niveles de nivelación y pavimentación. También, sirve como punto de referencia con el que se puede evaluar la calidad de la compactación que tiene lugar en la zona. Este es un beneficio adicional.
- 8. Silicato de Sodio.** Uno de los materiales inorgánicos que se utilizan con la meta de optimizar la estabilidad de la superficie es el silicato de sodio. Para crear este químico, en el desarrollo de elaboración se usa una mezcla de carbonato de sodio y dióxido de silicio, que se deriva de arenas de sílice.
- 9. Subrasante.** En el contexto de la construcción de pavimentos, la palabra "subrasante" hace alusión al nivel de superficie natural que actúa como soporte para el proceso de construcción del pavimento. Las cualidades únicas de los insumos de la subrasante son lo que los diferencia de otros materiales y el conformantes de los insumos de la subrasante está determinada por estas propiedades.
- 10. Suelos arcillosos.** En comparación con otras dimensiones de moléculas, como el limo y la arena, las superficies arcillosas se definen por la presencia de una proporción sustancial de moléculas de arcilla. Esta es la cualidad



definitoria de las superficies arcillosas. Son vulnerables a las inundaciones porque pueden guardar una gran cantidad de líquido, lo que los hace sensibles a las inundaciones.

**11. Suelos blandos.** Dos características que distinguen a los suelos blandos de otros tipos de suelos son un mayor grado de flexibilidad y un menor nivel de resistencia. Los suelos blandos se definen por estas dos características. Debido a que están compuestos principalmente de arcilla blanda o barro, tienen un elevado contenido de humedad y una disposición de carga deficiente. Esto se debe a la composición de la arcilla o el barro.

**12. Suelo natural.** La superficie natural está compuesto de moléculas que son cohesivas por naturaleza e incluyen componentes tanto orgánicos como minerales. Estas partículas son las que forman el suelo natural. La disolución de estas partículas se puede lograr mecánicamente con una pequeña cantidad de energía o simplemente haciéndolas girar en agua. Ambos métodos son ejemplos de métodos de disolución.



## CAPITULO III

### METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

#### 3.1 Diseño de la investigación

##### 3.1.1 Nivel de investigación

La evaluación que se presenta en la tesis tiene como objetivo proporcionar una explicación de las variables que condujeron a la situación problemática. El experimento, por otro lado, está diseñado para estudiar la conexión entre las variables independientes y las dependientes; por ende, el nivel que se utiliza es el nivel explicativo.

##### 3.1.2 Tipo de investigación

En vista del hecho de que hace uso de técnicas prácticas de muestreo, ensayos de laboratorio y la evaluación de los datos que se obtienen al ejecutar estos procesos, este proyecto es un ejemplo de estudio aplicado. Estamos poniendo en práctica la información que se obtuvo de la investigación anterior a través de este esfuerzo.

##### 3.1.3 Método de investigación

Se utilizó un método inductivo específico para lograr el objetivo de brindar una respuesta integral a la pregunta que se realizó. La metodología de investigación que se consideró adecuada para su implementación en esta investigación específica fue especificada por el científico que escribió el estudio.



### **3.1.4 *Diseño de investigación***

Como resultado de la manipulación deliberada de la variable independiente, que consistió en la suma de silicato de sodio en concentraciones de 5%, 10% y 15% con el suelo de la subrasante durante la duración del estudio, la investigación utilizó un modelo cuasi experimental a lo largo del estudio.

## **3.2 Población y muestra**

### **3.2.1 *Población***

El material que está formado por la vía pavimentada Chucarpio – Quejón Mocco en la zona de Samán, que se encuentra dentro de la ciudad de Puno, es la Nota poblacional que se está utilizando para esta investigación. Esta vía tiene una superficie irregular y se extiende desde el km 1+500 hasta el km 4+500. Su longitud se mide en kilómetros.

### **3.2.2 *Muestra***

La presente investigación hizo uso de muestras de suelo que fueron tomadas de cuatro calicatas que se ubicaron a lo largo de la vía pavimentada que va de Chucarpio a Quejón Mocco en la zona de Samán. Estas calicatas se ubicaron en tres lugares diferentes. En el kilómetro 1+500, kilómetro 2+500, kilómetro 3+500 y kilómetro 4+500 se ubicaron estos sondeos. El componente que incluía la muestra era el material de suelo que se extraía de los sondeos a medida que se iban utilizando.

### **3.2.3 *Diseño muestral***

Para realizar una investigación sobre las características de la subrasante, la composición está formada por muestras de suelo que se recogieron de los sondeos y de la calzada. Más concretamente, se trata de tres sondeos, cada uno de ellos de 1,50 metros de profundidad. En total hay cuatro sondeos.

**Tabla 3***Calicatas extraídas de la vía*

Área	Calicata	Dimensión
vía Chucarpio – Quejón Mocco	C – 1	1.50 m
	C – 2	1.50 m
	C – 3	1.50 m
	C – 4	1.50 m

### 3.3 Ámbito de estudio

#### 3.3.1 Descripción del área de estudio

Además, el Instituto Nacional de la Calidad (INACAL) ha reconocido al laboratorio de mecánica de suelos asociado a esta institución. INACAL es el acrónimo del Instituto Nacional de la Calidad. Además, nuestro laboratorio está equipado con aparatos calibrados y, al final de cada examen, entregamos certificados únicos a las personas que han participado en el análisis.

#### 3.3.2 Pruebas para calcular las cualidades físicas y mecánicas de la superficie

##### I. Contenido de humedad de una superficie MTC E 108

La relación entre el peso del agua en una determinada cantidad de superficie y el peso de las moléculas sólidas en el suelo es la relación que determina el grado en que el suelo contiene humedad. Esta conexión se presenta en manera de %. Al calcular esta relación, se tiene en cuenta directamente la cantidad de agua que ya hay en la superficie.

El suelo rico en humedad se secó en un horno a una  $T^{\circ}$  de  $110^{\circ}\text{C}$  más o menos cinco  $^{\circ}\text{C}$  hasta que alcanzó un peso que se mantuvo constante durante todo el proceso. Fue mucho más sencillo determinar la cantidad de peso del líquido que se extrajo de la superficie como resultado de la estrategia operativa que se utilizó. Después del proceso de secado que se lleva a cabo en el horno, se utiliza el peso del suelo que aún está presente

para determinar el peso de las moléculas sólidas. Para determinar el peso del líquido, se toma en cuenta la cantidad de peso que se desperdicia durante el proceso de secado.

Esta proporción se obtuvo utilizando la fórmula que se presenta en los párrafos siguientes:

$$W = \frac{W_W}{W_S} * 100\%$$

Usando el contenido de humedad como base, es posible calcular si la cantidad de humedad es mayor o menor que el umbral correcto para la compactación.

### Figura 9

*Pesado de tarro más muestra*



## II. Evaluación granulométrica MTC E 107

La finalidad de la prueba es calcular estadísticamente la organización de dimensiones de moléculas de superficie y los % de superficie que son capaces de pasar a través de las sucesivas mallas que se utilizan en la prueba, hasta llegar a la malla de 74 mm (N° 200). Esto se pretende hacer con el fin de determinar la composición del suelo. En primer lugar, el espécimen se corta en cuartos, luego se introduce en el horno para secarla y, por último, se lava en un tamiz de abertura n.º 200 para que se seque aún más al aire.

Tras el proceso de esparcir la muestra sobre los tamices y agitarla para asegurar que no queden moléculas extrañas adheridas al tamiz, se determina la masa de la muestra que queda atrapada en cada tamiz. Seguidamente, se calcula la proporción de espécimen que se conserva, así como el porcentaje que es capaz de pasar a través de cada malla.

### Figura 10

*Tamizado del material*



### III. Determinación de LL, LP e índice MTC E 110 / MTC E 111

El límite líquido es el % de contenido de humedad del suelo en el que la superficie pasa de un estado líquido a un estado plástico. Esta transición se produce cuando la superficie alcanza un determinado nivel de pH. El punto en el que el surco que divide dos mitades de una masa de suelo se cierra en su base a lo largo de una distancia de trece milímetros (media pulgada) es el punto en el que se especifica el contenido de humedad. Esto ocurre cuando el vaso se deja caer veinticinco veces desde una altura de un centímetro a una velocidad de dos gotas por segundo. Esto sucede cuando el vaso se deja caer a una velocidad de dos gotas por segundo después de haber sido dejado caer. El límite plástico (PL) es el contenido mínimo de humedad en el que se pueden crear barras de suelo con un diámetro de aproximadamente 3,2 milímetros (1/8 de pulgada) haciendo rodar el suelo entre la palma y una superficie plana sin romper las barras. Este contenido máximo de humedad se determina haciendo rodar el suelo entre la palma y la superficie plana. Para calcular el

índice plástico, primero se debe determinar la diferencia entre los límites líquido y plástico. Esta diferencia ofrece un indicador del grado en que la plasticidad del suelo varía con el tiempo. Mediante el uso de los límites de Atterberg, podemos clasificar y reconocer diferentes clases de superficie.

**Tabla 4**

*Clasificación de suelos según IP*

IP	Plasticidad	Cualidades
$20 < IP$	Alta	Superficie muy arcillosa
$7 < IP < 20$	Media	Superficie arcillosa
$7 > IP$	Baja	Superficie poco arcillosa
$0 = IP$	No plástico (NP)	Superficie exenta de arcilla

*Nota: MTC 2014*

**Figura 11**

LL



#### IV. Prueba de Proctor MTC E 115

Durante el transcurso de la prueba, el objetivo es determinar el contenido de humedad para calcular el contenido de humedad en el que la superficie alcanza su límite densidad seca.

Para determinar la conexión entre la cantidad de humedad presente y el peso unitario consolidado en seco, así como para calcular la cantidad de energía necesaria para el proceso de compactación, es importante crear un procedimiento de prueba (MTC, 2000).

El método que se aplica está determinado por la gradación de las partículas que se toman en consideración.

### **Figura 12**

*Consolidación del espécimen en 5 capas*



### **V. Prueba CBR MTC E 132**

El objetivo de este proyecto es lograr el establecimiento de un índice de resistencia de la superficie que se reconocerá como el valor de la conexión de carga. CBR, que es un término que se usa con bastante frecuencia para hacer alusión a este valor específico. Es una práctica común realizar la prueba en suelo que se ha fabricado artificialmente en el laboratorio bajo ciertas condiciones de humedad y densidad. Esto garantizará que los resultados de la prueba sean precisos. Sin embargo, es bastante factible realizar la prueba de la misma manera en muestras que se recogieron del suelo sin pausas. Esto es algo que se puede hacer sin ninguna restricción (MTC, 2000).

**Figura 13**

*Prueba de CBR*





## CAPITULO IV

### ANALISIS Y DISCUSION DE RESULTADOS

#### 4.1 Presentación de resultados de la investigación

Con el fin de llevar a cabo el estudio, se excavaron pozos de ensayo y se recogieron especímenes de estos pozos y se analizaron en el laboratorio. Este estudio tuvo lugar con el fin de determinar las características de rendimiento de la subrasante de la vía. A continuación, se aplicó el aditivo de silicato de sodio a los especímenes de superficie y luego tuvieron lugar ensayos de laboratorio para detectar las variaciones en las cualidades del suelo que se produjeron tanto con cómo sin la inclusión del aditivo. Después de la excavación de los pozos de campo, tuvieron lugar una serie de experimentos en el laboratorio con la finalidad de evaluar las cualidades físicas y mecánicas de la superficie. Estas pruebas se llevaron a cabo inmediatamente después de la excavación de los pozos de campo. Durante las etapas posteriores, tuvieron lugar los mismos experimentos en el laboratorio con la adición de silicato de sodio, lo que condujo a la formación de hallazgos favorables sobre las propiedades mecánicas del artículo.

#### 4.2 Ensayos realizados en laboratorio

##### 4.2.1 *Contenido de Humedad*

En la siguiente sección, se muestran los porcentajes de humedad que se descubrieron en los especímenes de insumo, junto con los valores promedio que se

derivaron de esos porcentajes. Esta sección sigue a las muestras de material. Esta información se incluye en el cuadro se muestra seguidamente.

**Tabla 5***Contenido de humedad de las calicatas*

C. Humedad (%)	
C-01	18.01
C-02	22.02
C-03	24.14
C-04	21.23
<b>Promedio</b>	<b>21.35</b>

La humedad promedio que se midió en muestras recolectadas de cuatro pozos de prueba distintos se observa en el siguiente cuadro con los valores obtenidos de las mediciones. Se encontró que la humedad promedio era de veintiún punto tres por ciento.

#### 4.2.2 Evaluación Granulométrica

Los hallazgos del análisis de granulometría que se realizó en las muestras que se recolectaron en el laboratorio se muestran en el cuadro que se puede encontrar seguidamente:

**Tabla 6***Resumen de granulometría de 4 calicatas*

Granulometría – Suelo % que pasa				
Tamices	C-01	C-02	C-03	C-04
1/2"	-	-	-	-
3/8"	100.00	100.00	100.00	100.00
N° 4	97.30	97.10	97.20	97.40
N° 10	96.90	96.60	96.70	96.80
N° 20	96.70	96.40	96.50	96.60
N° 40	96.30	96.00	96.10	96.20
N° 100	91.60	91.40	91.50	91.70
N° 200	87.50	87.30	87.40	87.60

En el cuadro a continuación, se muestra una evaluación completa de los componentes que se recolectaron a lo largo del proceso de tamizado, comenzando con el tamiz que tenía una abertura de 3/8 pulgadas y terminando con el tamiz que tenía una abertura de 200 pulgadas.

#### 4.2.3 Índice de Plasticidad.

Esta característica particular se deriva de la disparidad que existe entre los LL y los LP; por lo tanto, los siguientes párrafos proporcionarán un resumen de los promedios que se obtuvieron de los experimentos realizados:

**Tabla 7**

*Límites de Atterberg del suelo*

Muestras	LL	LP	IP
C – 01	31.20	14.01	17.19
C – 02	32.34	12.89	19.45
C – 03	32.45	12.67	19.78
C – 04	32.23	16.78	15.45
<b>Promedio</b>			<b>17.97</b>

#### 4.2.4 Resumen de Prueba Proctor Modificado

Tras la conclusión de que se debía realizar el ensayo Proctor modificada (NTP 339.141) de acuerdo con la metodología pertinente a la muestra de suelo obtenida de los cuatro pozos de prueba, se decidió que se debía realizar la prueba.

**Tabla 8**

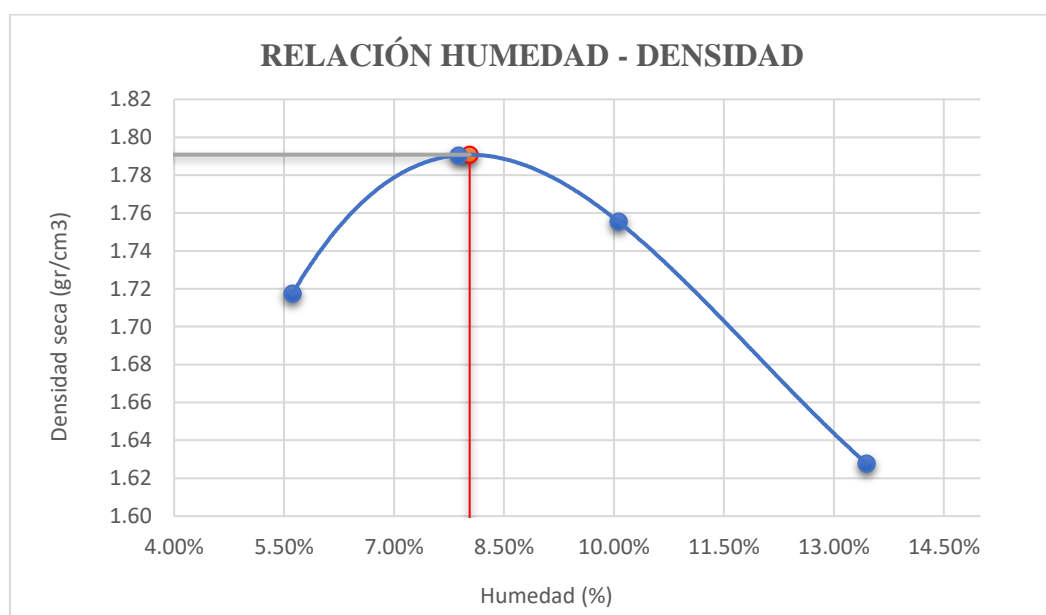
*Resumen de la compactación*

Compactación – Suelo		
Muestras	MDS (gr/cc)	OCH (%)
1	1.799	8.06
2	1.819	7.99
3	1.777	8.12
4	1.783	8.07
<b>Promedio</b>	<b>1.795</b>	<b>8.06</b>

El cuadro muestra los valores medios que se obtuvieron de MDS y OCH que se encontraron en los especímenes. Estos valores promedio se detectaron en las muestras. Además de tener una densidad promedio de 1,795 gr/cm<sup>3</sup> de MDS, se descubrió que las muestras, que tienen una composición de 8.06% de OCH, también tienen una composición.

### Figura 14

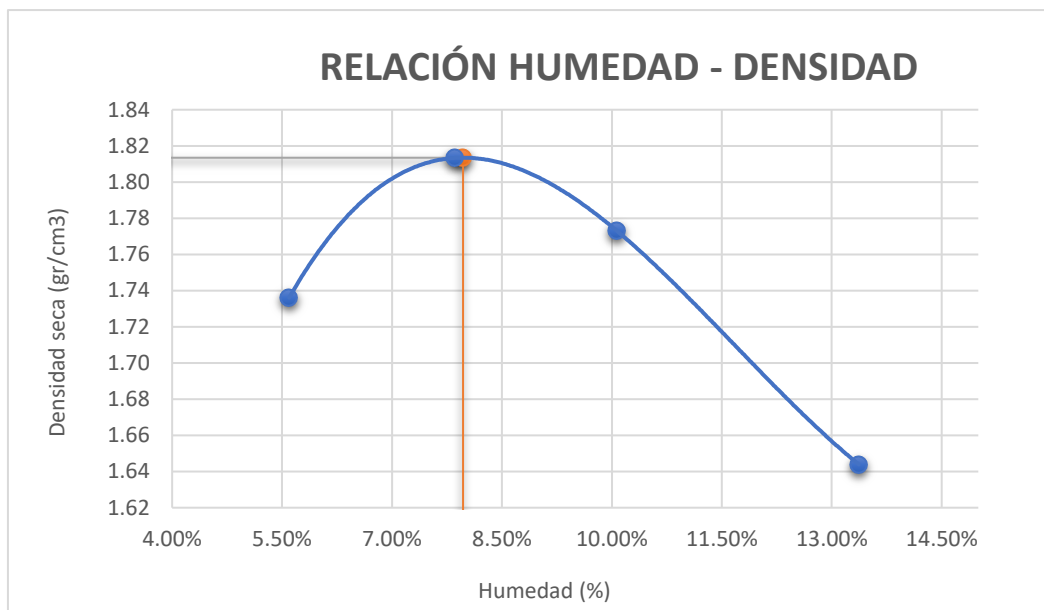
*Resultado de la compactación C-01*



El gráfico representa la relación entre la densidad y el contenido de humedad en este campo de prueba específico utilizando el pozo de prueba 1 como ejemplo. El pozo de prueba 1 tiene un MDS de 1,799 gr/cc y un OCH de 8.06%.

**Figura 15**

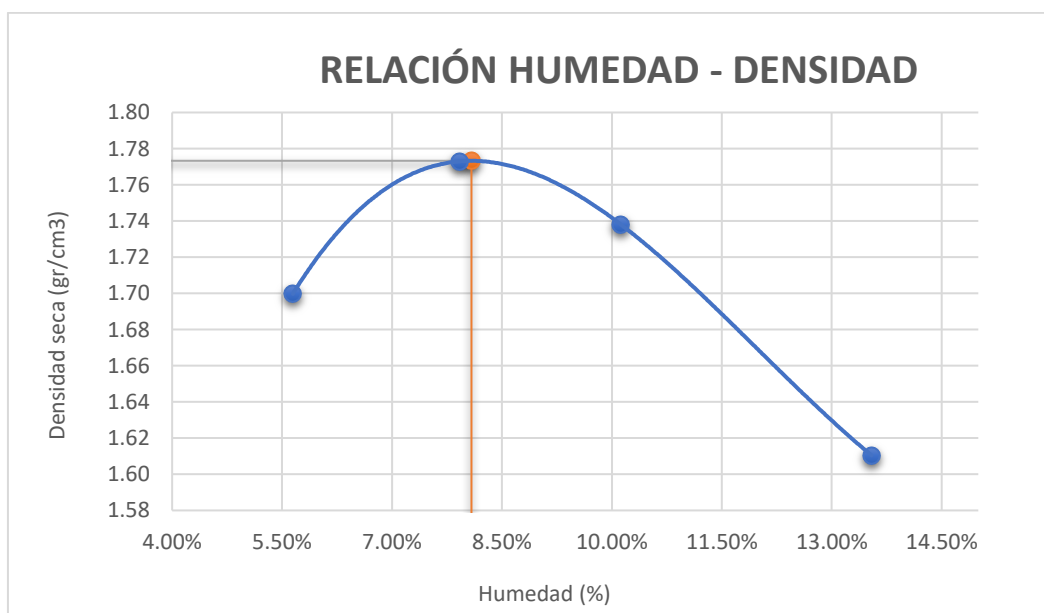
*Resultado de la compactación C-02*



La cifra, que se obtuvo del pozo de ensayo 2, que tenía un MDS de 1,819 gr/cc y un OCH de 7,99%, ilustra una conexión entre la densidad y la humedad sobre la base de los valores que se juntaron.

**Figura 16**

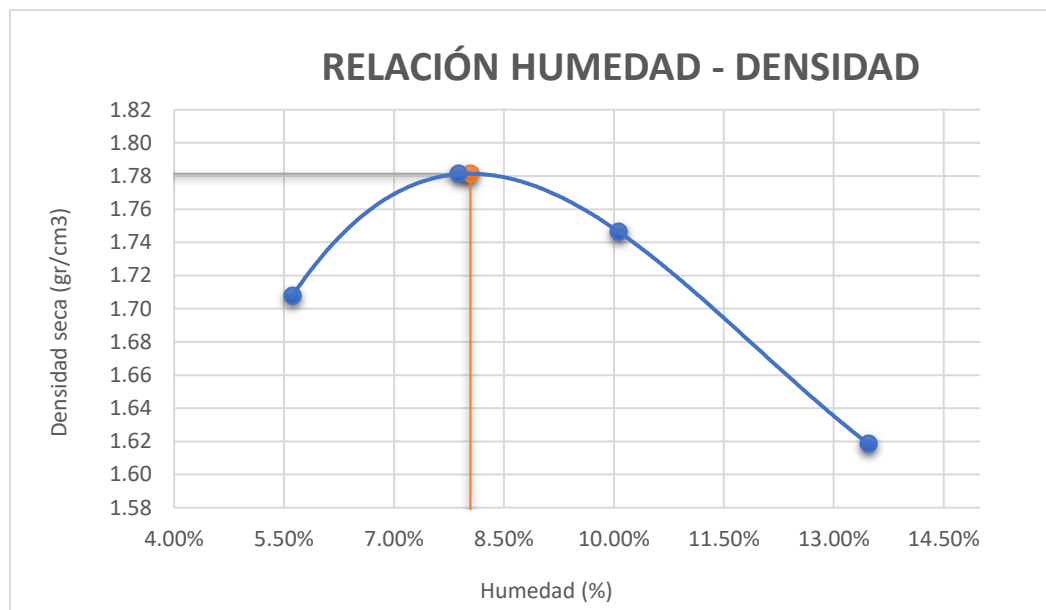
*Resultado de la compactación C-03*



de 1,777 gr/cc y un OCH de 8,12%, se muestra un gráfico que resalta la conexión entre la densidad y la humedad. El gráfico se puede encontrar en el experimento.

**Figura 17**

*Resultado de la compactación C-04*



El gráfico del pozo de prueba 4, que tiene un MDS de 1,783 gr/cc y un OCH de 8,07%, ilustra la conexión entre la densidad y el contenido de humedad. El MDS se mide en gramos por centímetro cúbico.

#### 4.2.5 Resumen de Ensayo C.B.R

La siguiente tabla proporciona un resumen de los hallazgos que se adquirieron a partir de la prueba CBR (NTP 339.145) que se realizó en los pozos de prueba que se analizaron. Estos hallazgos se pueden encontrar a continuación. Los resultados de los ensayos CBR, que tuvieron lugar a un nivel idéntico al 95% del MDS de los suelos de subrasante natural, se muestran en el cuadro que ahora se está investigando:

**Tabla 9**

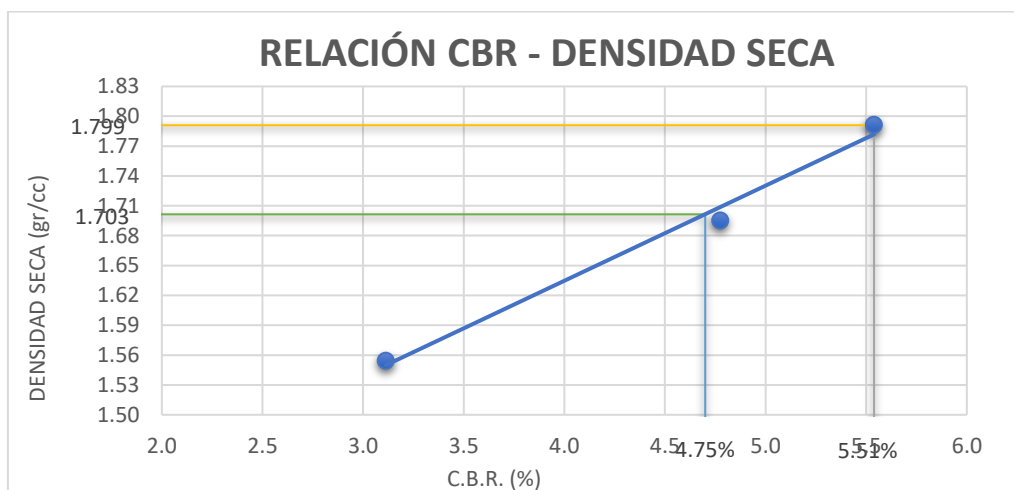
*Resumen de resultados del CBR*

Muestras	Progresiva	CBR al 100%	CBR al 95%
01	1+500	5.51	4.75
02	2+500	5.69	4.79
03	3+500	4.30	3.51
04	4+500	4.60	3.80
<b>Promedio</b>		<b>5.03</b>	<b>4.21</b>

La siguiente tabla proporciona un resumen de la disposición de aguante CBR de los especímenes presentados en el párrafo anterior. Con base en los hallazgos, se puede demostrar que los especímenes exhibieron una disposición de soporte CBR promedio de 5.03% mientras que la MDS fue de 100% y 4.21%.

**Figura 18**

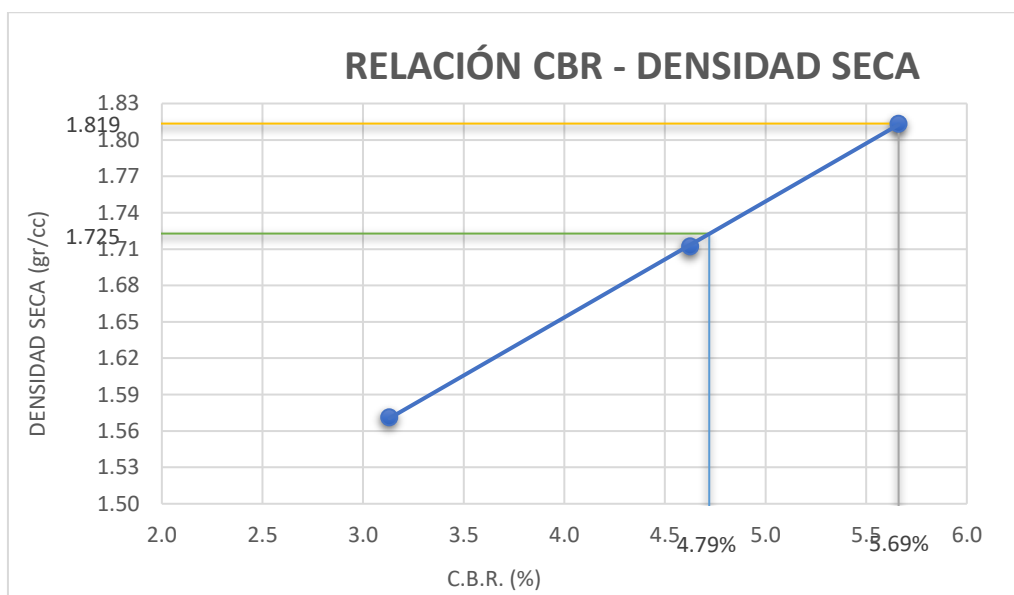
*Resultados de compactaciones de la C-01*



En la imagen se muestra una representación de la CBR, junto con las densidades de la muestra que se obtuvo del pozo 1. En comparación con la CBR para el 100% de la MDS, que es 5.51 por ciento, la CBR para el 95% de la MDS es 4.75 por ciento.

**Figura 19**

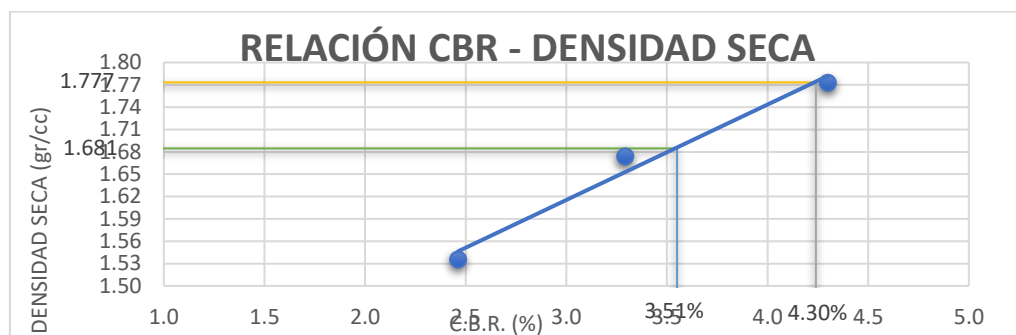
*Resultados de compactaciones de la C-02*



En la siguiente imagen, verá una representación de la muestra de CBR, así como las densidades que se calcularon a partir del pozo 2. Se descubrió que un porcentaje del 4,79 % estaba presente en la muestra de CBR cuando era el 95 % del MDS, mientras que se encontró que un porcentaje del 5,69 % estaba presente cuando era el 100 % del MDS.

**Figura 20**

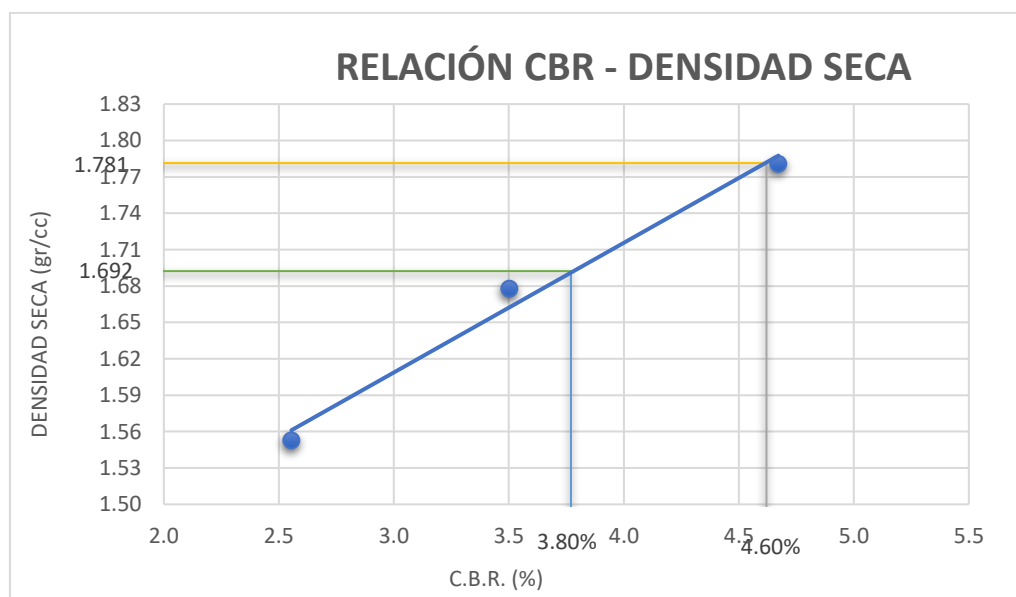
*Resultados de compactaciones de la C-03*



La muestra de CBR se muestra en la imagen junto con las densidades que se recolectaron del pozo 3. El CBR muestra una medición del 3,51 % al 95 % del MDS y del 4,30 % al 100 % del MDS, respectivamente. Las densidades se obtuvieron del pozo 3. Además, la densidad de la muestra se observa en las imágenes.

**Figura 21**

*Resultados de compactaciones de la C-04*



Es posible obtener un gráfico que ilustra la muestra de CBR en combinación con las densidades que se obtuvieron del pozo 4. Los valores de CBR son 3,80% y 4,60%, respectivamente, cuando el MDS se calcula al 95% y 100% de su total.

### 4.3 Resultados de Silicato de Sodio en el IP

#### 4.3.1 IP de SN + 5% de SS

Tras el uso de silicato de sodio a una concentración del 5%, se realizó la cromatografía integrada utilizada para obtener los datos que se presentan aquí.

**Tabla 10**

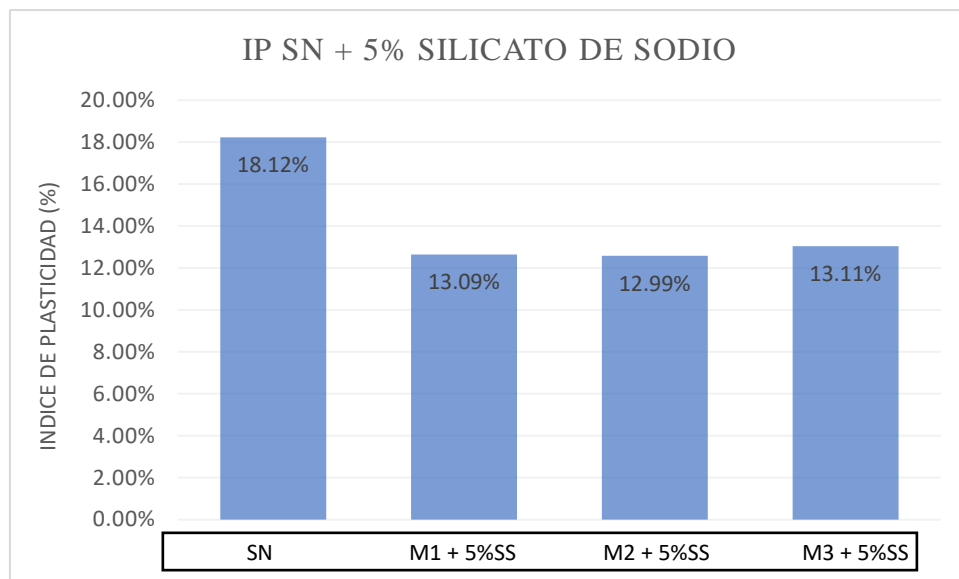
*IP de mezclar superficie natural + 5% de silicato de sodio*

IP – SN + 5% SS	
MUESTRAS	IP (%)
SN	18.12
M1 + 5% Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	<b>13.09</b>
M2 + 5% Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	<b>12.99</b>
M3 + 5% Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	<b>13.11</b>
<b>Promedio</b>	<b>13.06</b>

Los datos indican que la muestra que incluye 5% de silicato de sodio tiene una temperatura promedio que es 13,06% de la temperatura de toda la muestra. Esta es la temperatura interna (IP) de la muestra.

**Figura 22**

*IP de superficie natural + 5% de silicato de sodio*



El índice plástico (PI) de la superficie natural se muestra en la imagen. Este superficie natural se creó a partir de la subrasante mediante la suma de silicato de sodio. Se observó una caída del 28% en el IP como consecuencia de la suma de 5% de silicato de sodio, como se muestra en la imagen.

#### 4.3.2 IP de SN + 10% de SS

Inmediatamente después de la aplicación de silicato de sodio al 10%, los valores hallados que se obtuvieron del IP.

**Tabla 11**

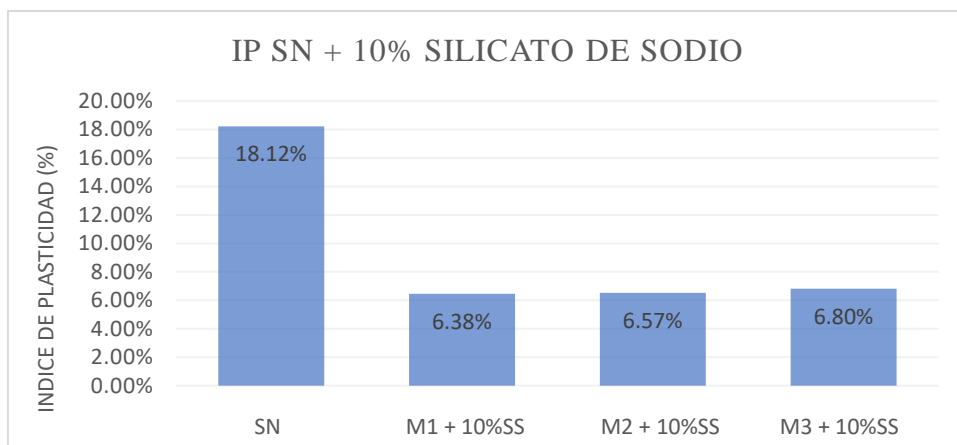
*IP de mezclar superficie natural + 10% de silicato de sodio*

IP – SN + 10% SS	
MUESTRAS	IP (%)
SN	18.12
M1 + 10% Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	<b>6.38</b>
M2 + 10% Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	<b>6.57</b>
M3 + 10% Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	<b>6.80</b>
<b>Promedio</b>	<b>6.58</b>

En el cuadro, se observa el IP del espécimen que tiene un contenido de silicato de sodio de +10%, y el valor promedio del IP es 6,58 por ciento.

**Figura 23**

*IP de superficie natural + 10% de silicato de sodio*



La imagen muestra las propiedades del índice de la superficie nativa de la subrasante luego de que el silicato de sodio se haya integrado al suelo. Estas cualidades también se muestran en la foto. Debido a que se agregó silicato de sodio al 10% durante el proceso de producción, el índice plástico se redujo en un 63,69%. Esto se logró mediante la incorporación de silicato de sodio.

**4.3.3 Índice de Plasticidad de SN + 15% de SS**

Inmediatamente después de la suma de silicato de sodio al 15%, los valores que se consiguieron del IP se expresan en el cuadro que se muestra seguidamente.

**Tabla 12**

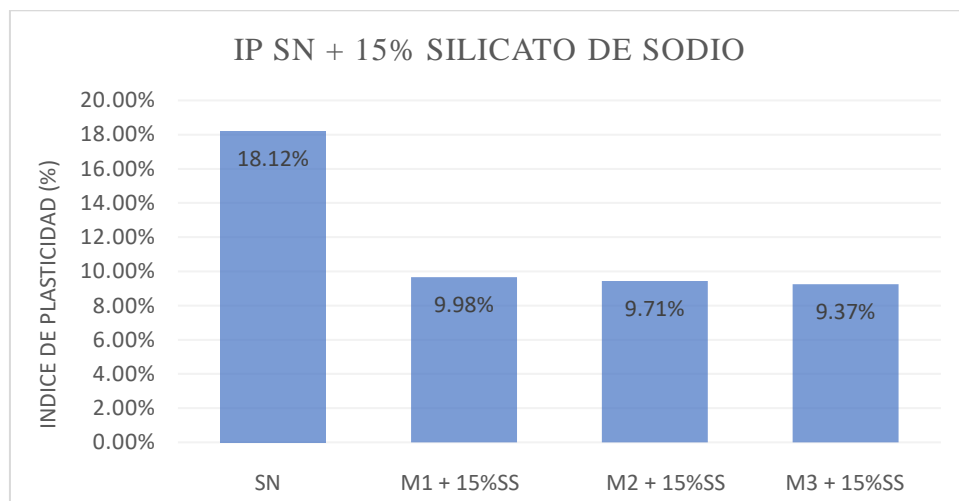
*IP de mezclar superficie natural + 15% de silicato de sodio*

IP – SN + 15% SS	
MUESTRAS	IP (%)
SN	18.12
M1 + 15% Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	<b>9.98</b>
M2 + 15% Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	<b>9.71</b>
M3 + 15% Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	<b>9.37</b>
<b>Promedio</b>	<b>9.69</b>

El IP de la muestra que tiene una concentración de silicato de sodio al 15% se muestra en la tabla, y demuestra que el valor promedio es 9,69%.

**Figura 24**

*IP de superficie natural + 15% de silicato de sodio*



La imagen muestra las propiedades del IP de la superficie original de la subrasante después de haber incorporado silicato de sodio al suelo. Estas cualidades también se muestran en la foto. Al añadir un 15 % de silicato de sodio a la mezcla, el IP se reduce en un 46,52 %. Esto supone una mejora significativa.

#### 4.3.4 Comparación de los Resultados Obtenidos del IP

Seguidamente se expresa una representación que brinda una visión general de los datos que se obtuvieron después de la adición de silicato de sodio y la influencia que tuvo en el ensayo del índice plástico:

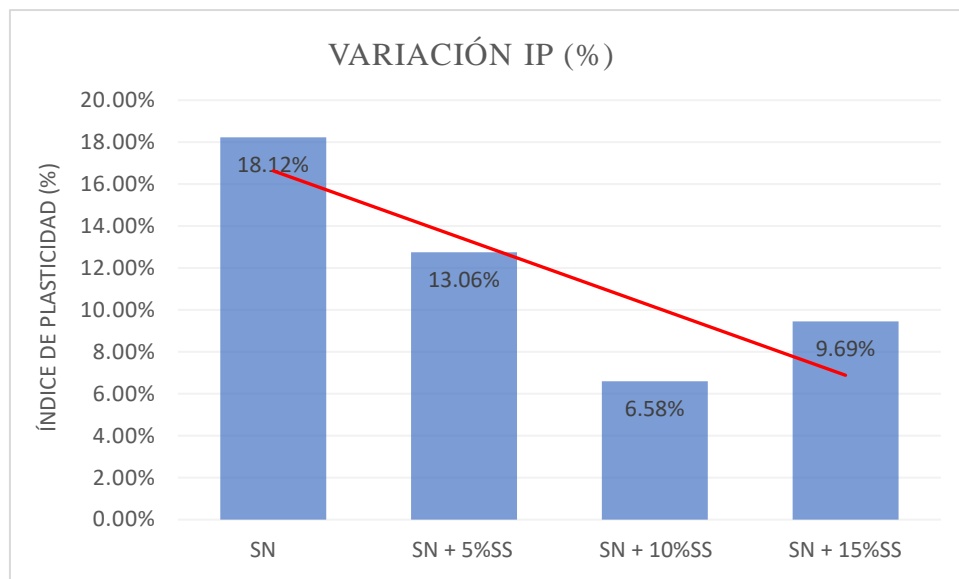
**Tabla 13**

*Variaciones del IP conforme el % de suma de Silicato de Sodio*

Variación del Índice de Plasticidad	
MUESTRAS	IP (%)
SN	18.12
M1 + 5% Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	13.06
M2 + 10% Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	6.58
M3 + 15% Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	9.69

**Figura 25**

*Variación del Índice Plástico*



Aquí se muestra una ilustración de las variaciones en el punto isoeléctrico de los suelos nativos y las mezclas de esos suelos con silicato de sodio. Esta ilustración es una representación visual de las diferencias. Cuando se combina SN con 10% de  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ , la plasticidad del material se reduce al 6,58%. Esto se logra mediante el uso de SN. El gráfico permite identificar este hallazgo particular.

#### 4.3.5 Grado de Consolidación de SN + 5% de Silicato de Sodio

Se produjo como resultado de la suma de silicato de sodio a una concentración del 5%.

**Tabla 14**

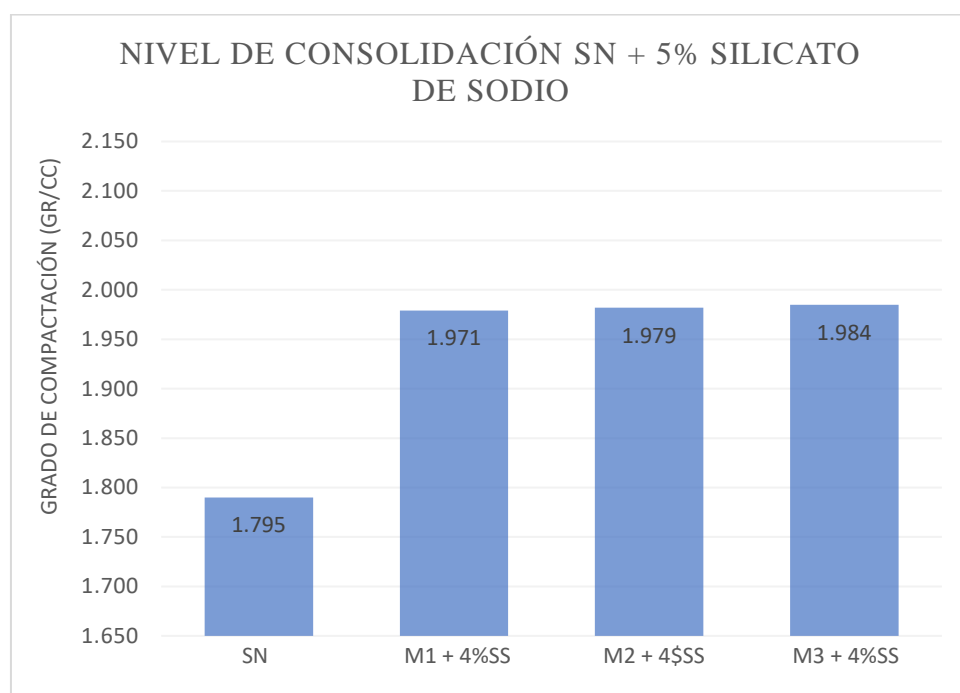
*Nivel de consolidación de meclar SN + 5% de silicato de sodio*

Compactación – SN + 5% SS	
MUESTRAS	MDS (gr/cc)
SN	1.795
M1 + 5% $\text{Na}_2\text{SiO}_3$	<b>1.971</b>
M2 + 5% $\text{Na}_2\text{SiO}_3$	<b>1.979</b>
M3 + 5% $\text{Na}_2\text{SiO}_3$	<b>1.984</b>
<b>Promedio</b>	<b>1,978</b>

El cuadro expresa los valores hallados del análisis de cromatografía de gases realizado en la muestra que incluye 5% de silicato de sodio. Los resultados revelan que hubo un aumento del 10,3% en la cantidad de compactación medida. Si se tienen en cuenta todos los aspectos de la muestra, la densidad media es de 1,978 gr/cm<sup>3</sup>.

### Figura 26

*Niveles de consolidación de SN + 5% de silicato de sodio*



La imagen que ilustra las características del grano de la superficie nativo de la subrasante después de la suma de silicato de sodio demuestra que el uso de un 5% de silicato de sodio da como resultado un incremento del 10,3 por ciento en la compactación. Esto se muestra en la imagen. Esto es algo que se puede ver en la figura.

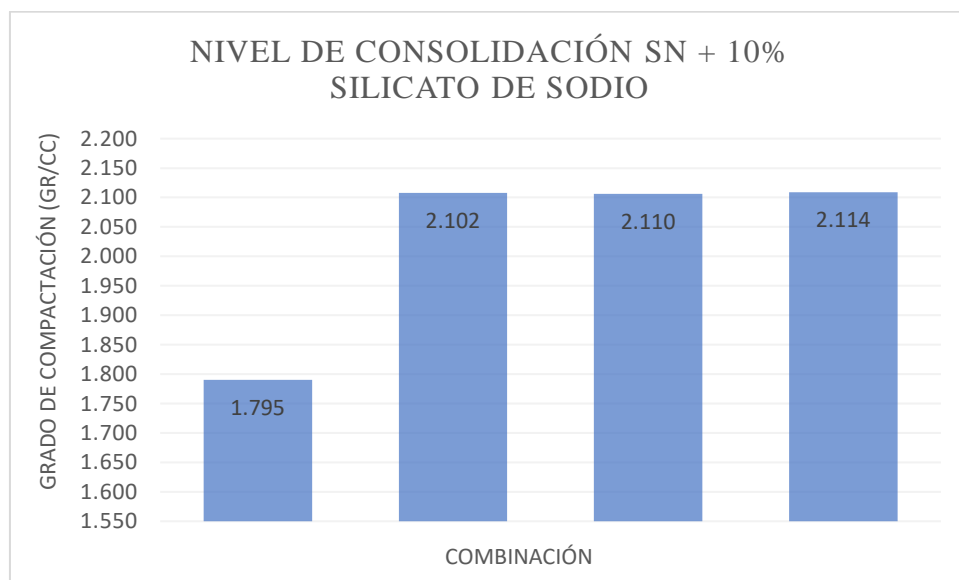
#### 4.3.6 Nivel de Consolidación de SN + 10% de Silicato de Sodio

La cantidad de compactación que se logró se puede determinar a partir de los siguientes hallazgos, que se obtuvieron después de la inyección de una solución de silicato de sodio con una concentración del 10%.

**Tabla 15***Niveles de consolidación de mezclar SN + 10% de silicato de sodio*

Consolidación – SN + 10% SS	
MUESTRAS	MDS (gr/cc)
SN	1.795
M1 + 10% Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	<b>2.102</b>
M2 + 10% Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	<b>2.110</b>
M3 + 10% Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	<b>2.114</b>
<b>Promedio</b>	<b>2.109</b>

Los hallazgos del examen de cromatografía de gases que se realizó en la muestra que contenía una solución de silicato de sodio al 10% se observan en la siguiente cuadro. Se puede deducir del hecho de que el espécimen tiene una densidad promedio de 2,109 gr/cm<sup>3</sup> que la cantidad de consolidación aumentó en un 18,93 por ciento.

**Figura 27***Nivel de consolidación SN + 10% de silicato de sodio*

La Figura 26, que ilustra la cromatografía de gases que se realizó en el suelo nativo de la subrasante después de la suma de silicato de sodio, revela que la inyección de silicato de sodio al 10% resultó en un aumento en la compactación que es un 18,99% mayor que antes. Esto se puede ver al observar la figura.

#### 4.3.7 Nivel de Consolidación de SN + 15% de Silicato de Sodio

Los valores que se observan en el cuadro adjunta ilustran los grados de compactación que se lograron con la suma de silicato de sodio al 15%.

**Tabla 16**

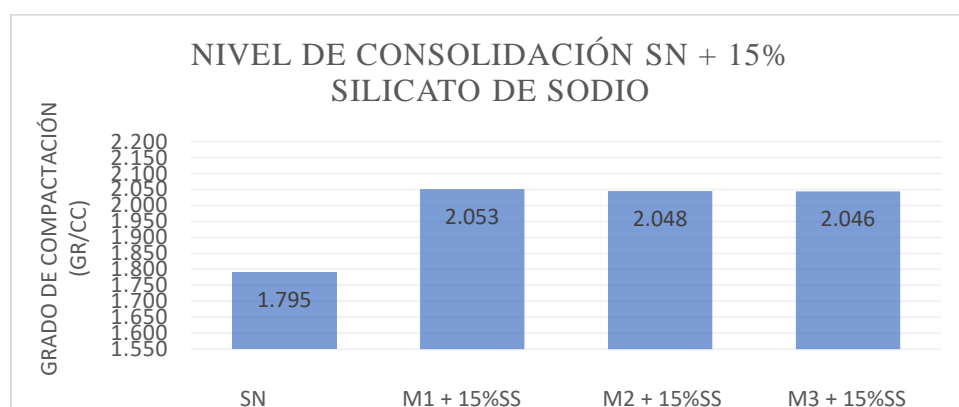
*Niveles de consolidación de mezclar SN + 15% de silicato de sodio*

Consolidación – SN + 15% SS	
MUESTRAS	MDS (gr/cc)
SN	1.795
M1 + 15% Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	<b>2.053</b>
M2 + 15% Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	<b>2.048</b>
M3 + 15% Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	<b>2.046</b>
<b>Promedio</b>	<b>2.049</b>

El análisis por cromatografía de gases reveló que el material que contenía un 15 % de silicato de sodio tenía una densidad media de 2,049 gr/cm<sup>3</sup>. Esta información se obtuvo de la muestra que se expuso al análisis. El hecho de que este sea el caso sugiere que el grado de compactación aumentó un 14,89 % en promedio.

**Figura 28**

*Nivel de consolidación de SN + 15% de silicato de sodio*



Según la imagen, que muestra la composición del grano de la superficie nativo de la subrasante luego de la suma de silicato de sodio, la aplicación de un 15 % de silicato de sodio resultó en un incremento del 14,89 % en el nivel del consolidación. Esto se demostró por el hecho de que se tomó la foto.

#### 4.3.8 *Contraste de los Valores Hallados de la MDS*

El propósito de esta sección es brindar una visión general de las densidades máximas que se pueden alcanzar bajo incrementos de humedad regulados, así como los promedios que corresponden a esas densidades:

**Tabla 17**

*Variación del GC conforme al % de suma de Silicato de Sodio*

Variación MDS	
Muestra	MDS (gr/cc)
SN	1.795
SN + 5% Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	1.978
SN + 10% Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	2.109
SN + 15% Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	2.049

La media y la desviación estándar de la densidad de sólidos disueltos del suelo nativo, así como la densidad de sólidos disueltos de sus mezclas con silicato de sodio, se observan en el cuadro que se puede encontrar seguidamente. Cuando se mezcla SN con 10% de Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>, la densidad de sólidos disueltos aumenta considerablemente en un 18,99%, lo que da como resultado un gran aumento. Este es el efecto de la combinación.

#### 4.3.9 *CBR de SN + 5% de Silicato de Sodio*

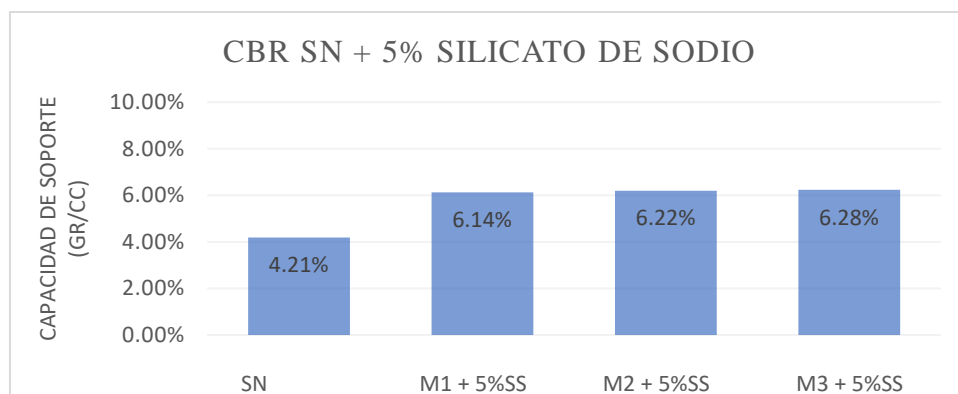
Después de la incorporación de silicato de sodio a una determinada concentración del 5%, los datos proporcionan una indicación de la cantidad de compactación que se logró como resultado del proceso.

CBR al 95% MDS – SN + 5% SS	
MUESTRAS	CBR (%)
SN	4.21
M1 + 5% Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	<b>6.14</b>
M2 + 5% Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	<b>6.22</b>
M3 + 5% Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	<b>6.28</b>
<b>Promedio</b>	<b>6.21</b>

La tabla que se puede encontrar en Internet muestra el CBR de la muestra que tiene una concentración de 5% de silicato de sodio. Mediante el uso del 95% de la densidad de sólidos disueltos, la muestra tiene un CBR que es, en promedio, del 6,21 por ciento.

**Figura 29**

*CBR de SN + 5% de silicato de sodio*



Aquí se muestra un ejemplo que muestra la conexión de carga de California (CBR) del suelo nativo en la subrasante después de que se haya agregado silicato de sodio al suelo. Se agrega una concentración del cinco por ciento de silicato de sodio al suelo, lo que da como producto un incremento en la disposición de la superficie para soportar cargas.

#### 4.3.10 CBR de SN + 10% de Silicato de Sodio

Al individuo en cuestión se le administró una solución que contenía diez por ciento de silicato de sodio, y los valores hallados posteriores del nivel de consolidación que se obtuvo se observa en el cuadro que sigue.

**Tabla 18**

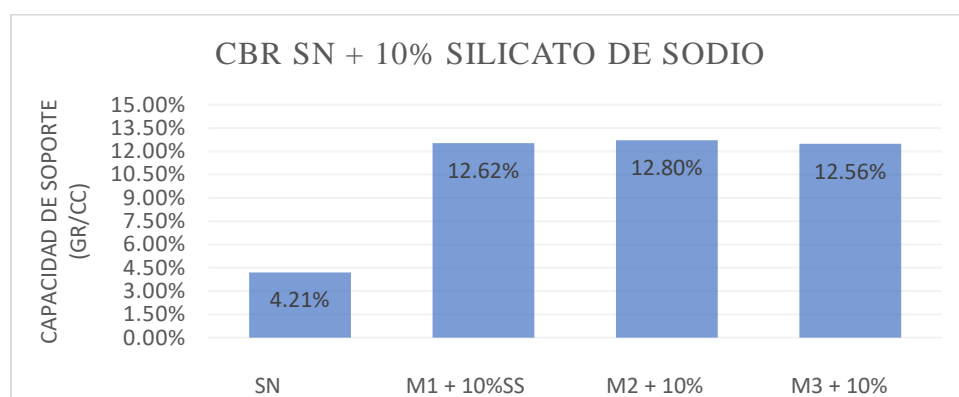
*CBR de SN + 10% de silicato de sodio*

CBR al 95% MDS – SN + 10% SS	
MUESTRAS	CBR (%)
SN	4.21
M1 + 10% Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	<b>12.62</b>
M2 + 10% Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	<b>12.80</b>
M3 + 10% Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	<b>12.56</b>
<b>Promedio</b>	<b>12.66</b>

Es evidente en la tabla que se muestra la CBR del espécimen que tiene una cantidad adicional de silicato de sodio. Se registra una relación de carga de California (CBR) del 12,66 % en la muestra, que es el 95 % de la densidad seca límite (MDS). Esto indica que la muestra está en esta condición.

**Figura 30**

*CBR SN + 10% de silicato de sodio*



La imagen muestra la conexión de carga de CBR de la superficie de la subrasante nativa después de que se haya agregado silicato de sodio al suelo. La disposición de la superficie para aguantar cargas se puede aumentar en un diez por ciento al aumentar la cantidad de silicato de sodio que se agrega al suelo.

#### 4.3.11 CBR de SN + 15% de Silicato de Sodio

Tras la incorporación de silicato de sodio al 15%, los grados de consolidación que se lograron se detallan en la tabla que se muestra en los párrafos siguientes.

**Tabla 19**

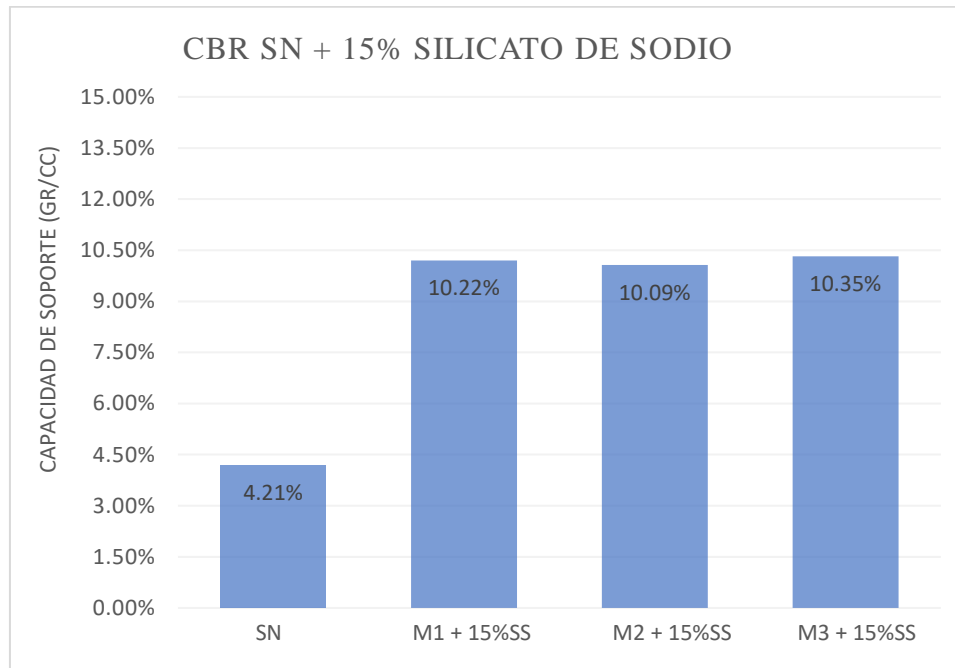
*CBR SN + 15% de silicato de sodio*

CBR al 95% MDS – SN + 15% SS	
MUESTRAS	CBR (%)
SN	4.21
M1 + 10% Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	<b>10.22</b>
M2 + 10% Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	<b>10.09</b>
M3 + 10% Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	<b>10.35</b>
<b>Promedio</b>	<b>10.22</b>

Para la muestra que incluyó silicato de sodio al 15%, se encontró que el CBR era de 10,22% en promedio cuando se midió al 95% del MDS. Esta información se muestra en la tabla. Esta figura en particular es una representación del CBR de la muestra.

**Figura 31**

*CBR de SN + 15% de silicato de sodio*



El uso de silicato de sodio al 15% da como producto una disposición de aguante optimizada, como se muestra en la figura, que representa el CBR del suelo nativo de la subrasante después de la suma de silicato de sodio. Se logra una mayor capacidad de soporte como consecuencia de esta aplicación. La imagen demuestra que este es el caso.

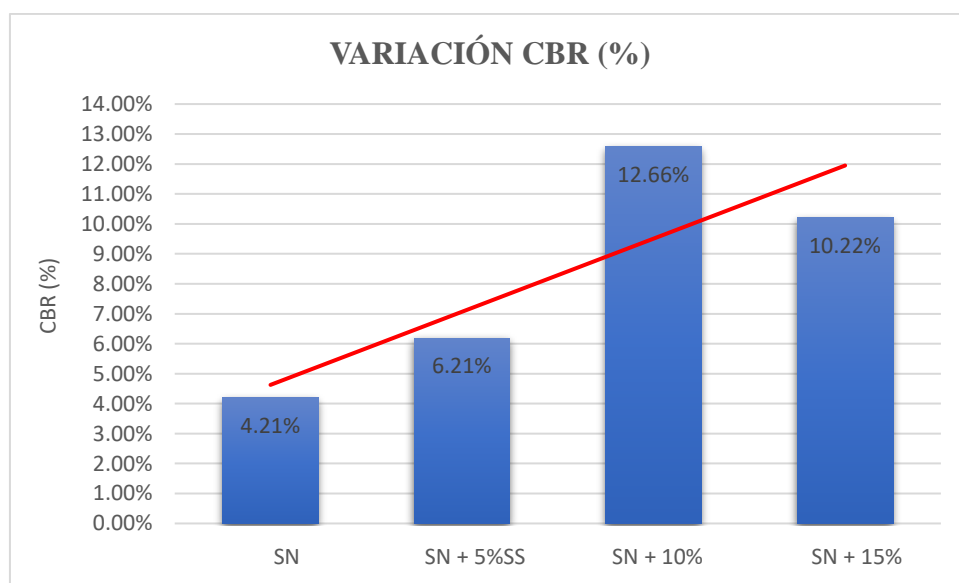
#### **4.3.12 Contraste de los Valores Hallados de la MDS**

Los valores hallados de la investigación de la introducción de silicato de sodio y la influencia que tuvo en el índice de carga de (CBR) se presentan en la siguiente sección y se ilustran:

**Tabla 20***Variación del CBR conforme al % de suma de Silicato de Sodio*

Variación CBR	
Espécimen	CBR 95% DMS
SN	4.21
SN + 5% Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	6.21
SN + 10% Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	12.66
SN + 15% Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	10.22

Los datos que se muestra en el cuadro señalan que los valores CBR de la superficie natural y sus mezclas con silicato de sodio tienen una tendencia a aumentar hasta que alcanzan un cierto umbral que se ha especificado. Esta tendencia continúa hasta que los valores CBR alcanzan el umbral.



Esta imagen proporciona una ilustración gráfica de la variación en el índice de carga de California (CBR) de la superficie natural y las mezclas de superficie natural y silicato de sodio. Al combinar SN con 10% de Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>, es posible lograr un aumento de CBR del 12,66%. En este escenario, el MDS está al 95% de su valor máximo. Cuando el suelo natural que ha sido modificado por la adición de silicato de sodio entra en contacto con él, esta es la situación que ocurre al 95% de la MDS.



#### 4.4 Discusión de Resultados

Por lo tanto, es posible evaluar los resultados del actual estudio en relación con los que se mencionaron en los antecedentes. Esto permite una comparación y análisis de las diferencias y similitudes que existen entre los dos conjuntos de datos.

Se consiguió un IP promedio de 17,97% a partir de cuatro pozos de prueba como resultado del presente estudio. Además, se halló que la densidad seca límite fue de 1,795 g/cm<sup>3</sup>, con un contenido de humedad correcto de 8,06%. También, se encontró que la disposición de apoyo CBR media fue de 4,21% al 95% de la densidad seca límite. El uso de la presente investigación condujo a la adquisición de todos y cada uno de estos valores hallados. El examen de las cualidades mecano-físicas de la superficie de la subrasante a lo largo de la ruta que se investigó produjo los hallazgos de la investigación. Estos hallazgos se crearon como Nota de información. Como lo afirma el autor (Chávez, 2021) a pesar de que el IP de la superficie natural es de 15.5%, el (CBR) del suelo no es mayor a 6.03%.

El actual estudio tuvo lugar para calcular el impacto que tuvo el silicato de sodio en el IP del suelo de la subrasante de la carretera en concentraciones de 5%, 10% y 15% durante el transcurso de la investigación. De acuerdo con los hallazgos del examen, los índices plásticos se encontraron en 13.06%, 6.58% y 9.69% respectivamente. El análisis del impacto que tuvo el silicato de sodio en el material permitió la determinación del índice plástico. Según Caballero (2017), la incorporación de silicato de sodio a la mezcla resultó en un índice plástico que varió de 13% a 19% en todo el planeta. Cuando el contenido de humedad se encontraba en su nivel óptimo, las mayores densidades secas que se alcanzaron para el presente experimento fueron 1,978 g/cc, 2,109 g/cc y 2,049 g/cc. Estas densidades se lograron cuando se llevó a cabo el experimento. Con el fin de proporcionar una evaluación precisa del impacto que el silicato de sodio concentrado en concentraciones de 5%, 10% y 15% tuvo en el grado de consolidación de la superficie que estaba presente en la subrasante de la carretera, se recopilaron los datos.



Al 95% de la MDS, las capacidades de carga de CBR son 5,21 por ciento, 12,66 por ciento y 10,22 por ciento, respectivamente, según los resultados del experimento que ahora se está llevando a cabo. Los hallazgos se obtuvieron determinando la disposición de carga de la superficie de la subrasante de la vía y analizando el efecto del silicato de sodio en concentraciones de 5%, 10% y 15%. Esto se hizo con la finalidad de calcular la influencia del silicato de sodio. Este paso a paso tuvo lugar con la finalidad de llegar a los hallazgos que finalmente se seleccionaron. Dharini et al. (2023) descubrieron que el valor de CBR de las superficies que han sido tratados con una mezcla óptima de cal y silicato de sodio es 7,86 veces sustancialmente mayor que el valor de los suelos que no han sido tratados. Esta es la conclusión que se puede extraer de los resultados de los investigadores antes mencionados. Este descubrimiento tiene repercusiones que pueden sentirse en toda la raza humana. Chávez (2021) afirma que el índice de carga de (CBR) de la superficie natural es de 6,03%, que sube a 39,75% cuando se suministra al suelo una concentración adecuada de silicato de sodio de 7,77%. Este es el otro extremo del espectro de la afirmación anterior. Este es un tema que se tiene en cuenta a nivel nacional. La investigación actual, que incluyó la incorporación de 5%, 10% y 15% de silicato de sodio, produjo los optimizados productos hallados posibles, incluido un IP de 6,58% con una adición del 10%, una densidad seca límite de 2,109 g/cc y una disposición de aguante CBR de 12,66% al 95% de la densidad seca más alta alcanzada con la suma de silicato de sodio del 10%. Todos estos resultados indican que la presente investigación tuvo éxito en producir los mejores resultados posibles. Como medio para determinar el mejor porcentaje de aditivos que conduciría a una disminución en el IP, un aumento en el grado de consolidación y una optimización en la disposición de aguante de la superficie de la subrasante de la vía, se recopilaron los datos para lograr esto. Chávez (2021) demuestra que el índice plástico se puede reducir del 20% al 15,5% mediante el uso del 10%, y que se puede lograr una relación de carga de California



(CBR) del 39,75% con la utilización de un contenido óptimo de silicato de sodio del 7,77%.

Ambos hallazgos están respaldados por el hecho de que se puede reducir el índice plástico.

## CONCLUSIONES

1. El valor del índice de plasticidad de 17,97% demuestra que la superficie posee un alto grado de flexibilidad debido a la presencia de contenido de arcilla. Esto se demuestra por el hecho de que la superficie posee un elevado grado de flexibilidad. Es posible inferir que el suelo es muy flexible con base en las cualidades mecánicas que posee. La superficie tiene un contenido de humedad ideal de 8,06% y una densidad seca máxima promedio de 1,795 gr/cm<sup>3</sup>, lo que señala que existe un diminuto nivel de consolidación en el suelo. Esto se demuestra por el hecho de que el suelo tiene estas características. Al 95% de la MDS, la superficie posee una disposición de aguante CBR de 4,21%, lo que significa que se clasifica como suelo de subrasante insuficiente según las normas publicadas por la DG-2018. Además, el suelo tiene una capacidad de soporte CBR de 4,21%.
2. El suelo de la subrasante de la carretera pavimentada Chucarpio – Quejón Mocco en la zona de Samán se muestra afectado positivamente por el silicato de sodio en concentraciones de 5%, 10% y 15%, según los datos que se han recopilado. Como evidencia de esto, el índice de plasticidad disminuyó de 17,97% a 6,58% como resultado directo de la suma de 10% de silicato de sodio. Esto se expresa por el hecho de que el IP se redujo. Hubo una reducción en el IP, que pasó de 17,97% a 6,58%.
3. En la provincia de Samán, la introducción de silicato de sodio en concentraciones de 5%, 10% y 15% tuvo una influencia positiva en la consolidación de la superficie de la subrasante de la vía pavimentada que une Chucarpio y Quejón Mocco. Esta vía se encuentra ubicada en la provincia de Samán. Al adicionar a la mezcla un 10% de silicato de sodio, la densidad seca límite pasa de 1,795 g/cc a 2,109 g/cc, lo que indica



que el suelo se está compactando más, lo que se demuestra por el hecho de que la densidad seca máxima ha aumentado.

4. La disposición de resistencia del CBR del suelo de la subrasante en la región de Samán se ve afectada positivamente por el silicato de sodio en concentraciones de 5%, 10% y 15%. Esto según los hallazgos del estudio. Durante el tramo pavimentado que va desde Chucarpio hasta Quejón Mocco, esta es la situación. Con el MDS al 95%, la disposición de aguante del CBR aumenta de 4,21% a 12,66%, un aumento significativo sobre el nivel anterior. Como consecuencia de esto, la resistencia del suelo al tratamiento con silicato de sodio ha crecido en un diez por ciento, por lo que el CBR alcanzado puede considerarse aceptable.



## RECOMENDACIONES

1. Además de esto, se recomienda que el silicato de sodio se trate con un componente adicional que se pueda utilizar para un propósito diferente. Es probable que la combinación de ambos productos químicos en diferentes cantidades pueda dar óptimos productos en superficies ricas en arcilla y contribuya a la reducción de la contaminación ambiental. Esto es algo que debe tenerse en cuenta.
2. Para ofrecer una evaluación más precisa del valor relativo de la asistencia en el campo, se recomienda que se realice un CBR en el propio campo. El resultado de esto será un análisis de la resistividad de la superficie de la subrasante que es más precisa de lo que hubiera sido de otra manera.
3. Es muy recomendable que se realice un estudio sobre las dimensiones o espesores de estabilización de la superficie usada silicato de sodio. Esto se debe a que realizar una investigación de este tipo daría como producto un gran incremento en el costo de futuras mejoras de la vía.
4. En la cuarta propuesta que se ha realizado, se sugiere el uso de silicato de sodio al 10% (SN además de  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  al 10%). Esta combinación en particular se recomienda porque disminuye el IP, optimiza la consolidación e incrementa considerablemente la disposición de resistencia del CBR. Todas estas son razones por las que se recomienda.

**REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS**

*ESTABILIZACIÓN de caminos: Refuerzo ecológico [Mensaje en un blog]. Brasil: Guimarães, L., (18 de mayo de 2022). [Fecha de consulta: 23 de agosto de 2022]. Recuperado de <https://www.construccionlatinoamericana.com/news/estabilizacion-de-caminosrefuerzo-ecologico/8020640.article>*

*HANCCO, Juan. Estabilización de Suelos Cohesivos con Cal y Cemento para Mejorar la Subrasante de la Avenida Santa Rosa, Puno, 2021. Tesis (Ingeniero civil) Lima: Universidad César Vallejo, 2021. Disponible en: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/80083?show=full>*

*CHÁVEZ, Angelo. Silicato de sodio para la estabilización de suelos en la trocha la menta km 00+000 - garabato km 1+430 distrito de las lomas-provincia y departamento de Piura. Tesis (Ingeniero civil) Piura: Universidad nacional de Piura. 2021. Disponible en: <https://repositorio.unp.edu.pe/handle/20.500.12676/2704>*

*ALVAREZ, Brian y ROJAS, Luis. Aplicación de temáticas en ingeniería civil comparación de las alternativas de estabilización con cal, Cemento, silicato de sodio y aceite sulfonado para vías terciarias con presencia de arcilla. Villavicencio: Universidad católica. Disponible en: <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/32040/2021brianalvarez>.*

*GARCIA, Jonatan. Estudio de la técnica de suelo-cemento para la estabilización de vías terciarias en Colombia que posean un alto contenido de caolín. Tesis (Ingeniero civil) Bogotá: Universidad católica de Colombia, 2019.*

*PRASANNA P. Kulkarni, J.N. Mandal b. Strength evaluation of soil stabilized with nano-silica-cement mixtures as road construction materials. [en línea]. 2021. [Fecha de consulta: 25 de junio de 2022]. Disponible en: Strength evaluation of soil stabilized with nano silica- cement mixes as road construction material | Lector mejorado de Elsevier*



*GUERRERO, Renzo. Capacidad portante de suelo cohesivo estabilizado con cal y sulfato de calcio en 10%, 15% y 25%. Tesis (Ingeniero civil) Cajamarca: Universidad Privada del Norte. 2019. Disponible en: <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/22300>*

*Ministerio de Transporte y Comunicaciones. Manual de ensayo de materiales. [En línea]. Perú: Lima. Mayo del 2016. 105 pp. [fecha de consulta: 07 de octubre del 2021].*

*Ministerio de obras hidráulicas, Manual de carreteras. [En línea]. Chile: 2018. 360 pp. [fecha de consulta: 07 de octubre del 2021]. Disponible en: [https://portal.ondac.com/601/articles-59867\\_doc\\_pdf.pdf](https://portal.ondac.com/601/articles-59867_doc_pdf.pdf)* 38. BRAJA, M. *Advanced soil mechanics. [En Línea], 5ta ed, 2019. 57 pp. [fecha de consulta: 11 de octubre del 2021].*

*Ministerio de Transporte y Comunicaciones. Manual de ensayo de materiales. [En línea]. Perú: Lima. Mayo del 2016. pp 105-106 [fecha de consulta: 12 de octubre del 2021].*

*Ministerio de Transporte y Comunicaciones. Manual de ensayo de materiales. [En línea]. Perú: Lima. Mayo del 2016. 248 pp. [fecha de consulta: 12 de octubre del 2021].*

*Alvarez, A. (2020). Clasificación de las Investigaciones. Facultad de Ciencias Empresariales y Económicas, 1.*

*Arivilca, J. (2022). EVALUACIÓN DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA AV. CIRCUNVALACIÓN OESTE TRAMO OVALO SALIDA CUSCO - OVALO PARQUE EL CHOLO, JULIACA - 2019. Juliaca: Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez.*

*Bonifaz, J., & Gamarra, R. (2022). Comparación del silicato de sodio y cemento para la estabilización de la subrasante en la avenida los profesionales, ventanilla 2022. Lima: Universidad César Vallejo.*

*Bowles, J. (1982). Propiedades geofísica de los suelos.*



*Braja, M. (2015). Fundamentos de Ingeniería de Cimentaciones. Cengage Learning. <https://doi.org/987-607-481-823-9>*

*Caballero, O. (2017). Estabilización química con silicato de sodio del material de préstamo de la vía La Primavera – Bonanza – La Venturosa en el departamento del Vichada. Bogotá D.C.: Universidad Nacional de Colombia.*

*Carrasco, S. (2018). Metodología de la investigación científica. Lima: San Marcos.*

*Chávez, A. (2021). Silicato de sodio para la estabilización de suelos en la trocha La Menta km 00+000 - Garabato km 1+430 Distrito de Las Lomas-Provincia y Departamento de Piura. Piura: Universidad Nacional de Piura.*

*Dharini, V., Balamaheswari, M., & Nevis, A. (2023). Enhancing the strength of expansive clayey soil using lime as soil stabilizing agent along with sodium silicate as grouting chemical. materialstoday:PROCEEDINGS, 1(1), 1-6. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.05.156>*

*Duque, G., & Escobar, C. (2002). Mecánica de Suelos. Manizales: Universidad Nacional de Colombia.*



# ANEXOS



**ANEXO 01**  
**MATRIZ DE CONSISTENCIA**



### Matriz de consistencia

ANÁLISIS DE LA APLICACIÓN DE SILICATO DE SODIO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL SUELO DE LA VÍA AFIRMADA CHUCARIPO - QUEJÓN MOCCO DEL DISTRITO DE SAMÁN REGIÓN PUNO					
PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES	INDICADORES	METODOLOGIA
<p><b>Pregunta general:</b></p> <p>¿Cómo influye la aplicación de silicato de sodio en las propiedades físicas y mecánicas del suelo de la vía afirmada Chucarpio – Quejón Mocco del distrito de Saman Región Puno?</p> <p><b>Preguntas específicas:</b></p> <p>¿Cuáles son las propiedades físicas y mecánicas del suelo natural de la vía afirmada Chucarpio – Quejón Mocco del distrito de Saman?</p> <p>¿Cuál es la aplicación de silicato de sodio en la máxima densidad seca y óptimo contenido de humedad de la vía afirmada Chucarpio – Quejón Mocco del distrito de Saman?</p> <p>¿Cuál es la aplicación de silicato de sodio en la capacidad de soporte de la vía afirmada Chucarpio – Quejón Mocco del distrito de Saman?</p>	<p><b>Objetivo general:</b></p> <p>Analizar la aplicación de silicato de sodio en las propiedades físicas y mecánicas del suelo de la vía afirmada Chucarpio – Quejón Mocco del distrito de Saman Región Puno.</p> <p><b>Objetivos específicos:</b></p> <p>Determinar las propiedades físicas y mecánicas del suelo natural de la vía afirmada Chucarpio – Quejón Mocco del distrito de Saman.</p> <p>Analizar la aplicación de silicato de sodio en la máxima densidad seca y óptimo contenido de humedad de la vía afirmada Chucarpio – Quejón Mocco del distrito de Saman.</p> <p>Analizar la aplicación de silicato de sodio en la capacidad de soporte de la vía afirmada Chucarpio – Quejón Mocco del distrito de Saman.</p>	<p><b>Hipótesis general:</b></p> <p>El uso de la aplicación de silicato de sodio en las propiedades físicas y mecánicas del suelo de la vía afirmada Chucarpio – Quejón Mocco del distrito de Saman, mejora las propiedades del suelo natural.</p> <p><b>Hipótesis específicas:</b></p> <p>Las propiedades físicas y mecánicas que presenta el suelo de la vía afirmada Chucarpio – Quejón Mocco del distrito de Saman, presentan un índice de plasticidad alto y un CBR inadecuado.</p> <p>Al determinar la aplicación de silicato de sodio mejora la máxima densidad seca y el óptimo contenido de humedad de la vía afirmada Chucarpio – Quejón Mocco del distrito de Saman</p> <p>Al determinar la aplicación de silicato de sodio mejora en la capacidad de soporte de subrasante de la vía afirmada Chucarpio – Quejón Mocco del distrito de Saman.</p>	<p><b>Variable independiente:</b></p> <p>Silicato de sodio.</p> <p><b>Variable dependiente:</b></p> <p>Cualidades físicas y mecánicas.</p>	<p>-Combinación</p> <p>- LL, LP, IP, CBR, MDS.</p>	<p><b>Tipo:</b> Aplicada</p> <p><b>Enfoque:</b> Cuantitativo</p> <p><b>Método:</b> cuasi-experimental</p> <p><b>Población:</b> La población estuvo conformada por el tramo de vía pavimentada Chucarpio – Quejón Mocco en la zona de Samán, ciudad de Puno, entre los kilómetros 1+500 y 4+500.</p> <p><b>Muestra:</b> Se extrajeron muestras de suelo de cuatro calicatas ubicadas estratégicamente a lo largo del tramo vial (km 1+500, km 2+500, km 3+500 y km 4+500).</p>



**ANEXO 02**  
**MEMORIA DE CALCULO**

## **CONTENIDO DE HUMEDAD**

**(Norma MTC E 108 / ASTM D2216 / NTP 339.127)**

**PROYECTO** : ANÁLISIS DE LA APLICACIÓN DE SILICATO DE SODIO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL SUELO DE LA VÍA AFIRMADA CHUCARIPO - QUEJÓN MOCCO DEL DISTRITO DE SAMÁN REGIÓN PUNO

**SOLICITANTE** : Bach. WALTER RUBEN CALLOPAZA MAMANI

**UBICACIÓN** : Laboratorio de mecánica de suelos de la UANCV

**FECHA** : 15 de Octubre del 2024

DESCRIPCION	UNID	Muestras
Suelo húmedo + Tarro	gr	477.71
Suelo seco + Tarro	gr	400.51
Peso del Tarro	gr	38.84
Peso del Agua	gr	77.20
Peso del suelo seco	gr	361.67
Humedad %	%	<b>21.35%</b>

Contenido de humedad promedio	%	<b>21.35%</b>
-------------------------------	---	---------------

**Nota:** las muestras fueron puestas por el solicitante.

B. N° 006-0030

## LÍMITE LÍQUIDO, LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD

ASTM - D4318-00, AASHTO - T 90

**PROYECTO** : ANÁLISIS DE LA APLICACIÓN DE SILICATO DE SODIO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL SUELO DE LA VÍA AFIRMADA CHUCARIPO - QUEJÓN MOCCO DEL DISTRITO DE SAMÁN REGIÓN PUNO

**SOLICITANTE** : Bach. WALTER RUBEN CALLOPAZA MAMANI

**UBICACIÓN** : Laboratorio de mecánica de suelos de la UANCV

**FECHA** : 15 de Octubre del 2024

Muestras	LL	LP	IP
C - 01	31.20	14.01	17.19
C - 02	32.34	12.89	19.45
C - 03	32.45	12.67	19.78
C - 04	32.23	16.78	15.45
<b>Promedio</b>			<b>17.97</b>

**Nota:** las muestras fueron puestas por el solicitante.

B. N° 006-0030

## PRUEBA DE PROCTOR MODIFICADO

**PROYECTO** : ANÁLISIS DE LA APLICACIÓN DE SILICATO DE SODIO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL SUELO DE LA VÍA AFIRMADA CHUCARIPO - QUEJÓN MOCCO DEL DISTRITO DE SAMÁN REGIÓN PUNO

**SOLICITANTE** : Bach. WALTER RUBEN CALLOAPAZA MAMANI

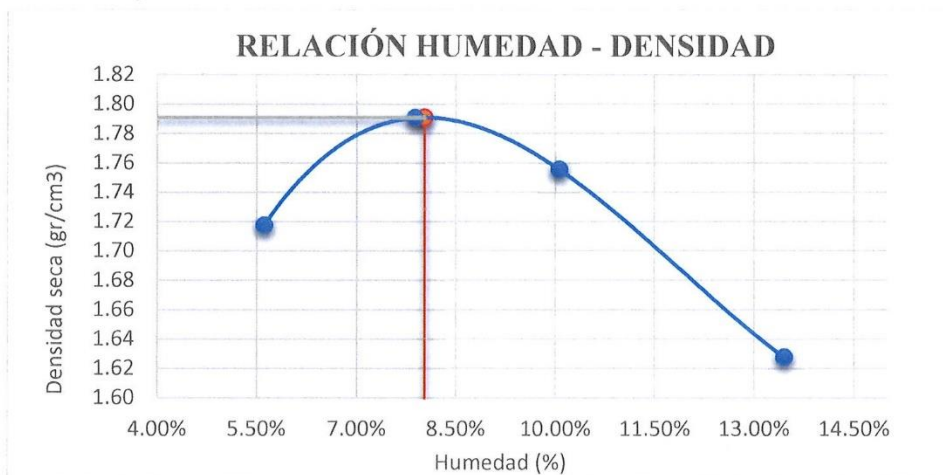
**UBICACIÓN** : Laboratorio de mecánica de suelos de la UANCV

**FECHA** : 15 de Octubre del 2024

### *Resumen de la compactación*

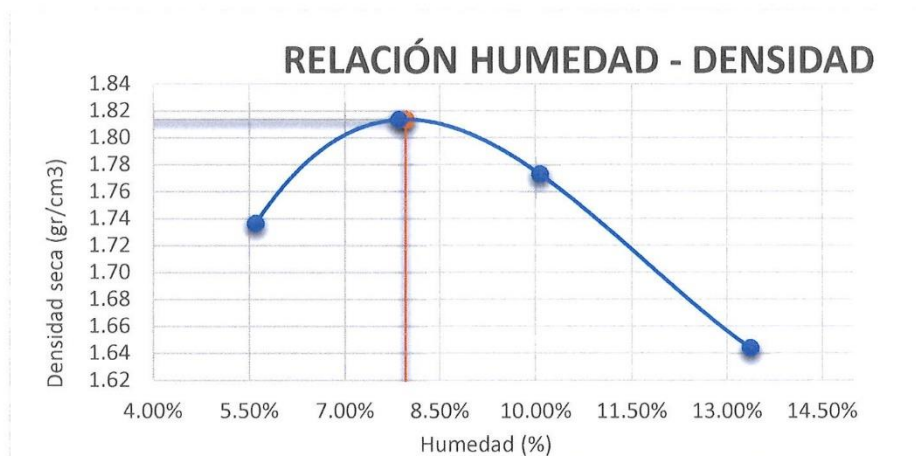
<b>Compactación – Suelo</b>		
Muestras	MDS (gr/cc)	OCH (%)
1	1.799	8.06
2	1.819	7.99
3	1.777	8.12
4	1.783	8.07
<b>Promedio</b>	<b>1.795</b>	<b>8.06</b>

### *Resultado de la compactación C-01*

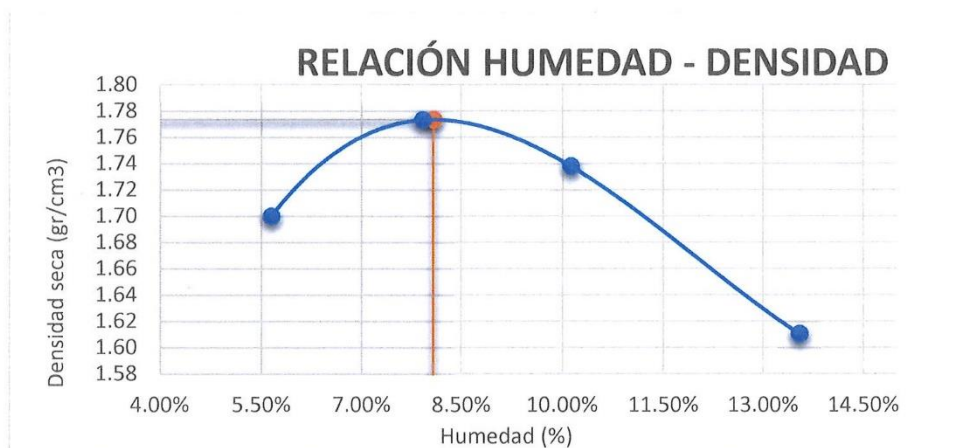


B. N° 006-0030

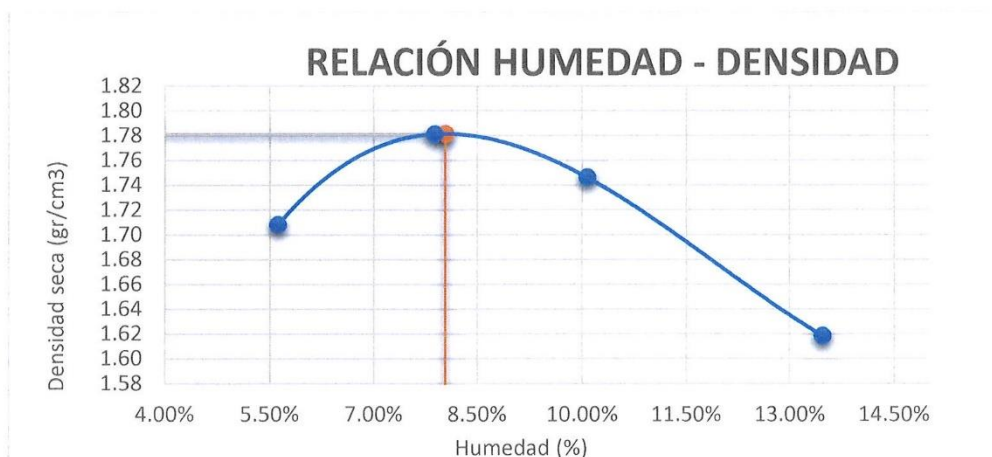
*Resultado de la compactación C-02*



*Resultado de la compactación C-03*



*Resultado de la compactación C-04*



**Nota:** las muestras fueron puestas por el solicitante.

B. N° 006-0030

### PRUEBA DE CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)

**PROYECTO** : ANÁLISIS DE LA APLICACIÓN DE SILICATO DE SODIO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL SUELO DE LA VÍA AFIRMADA CHUCARIPO - QUEJÓN MOCCO DEL DISTRITO DE SAMÁN REGIÓN PUNO

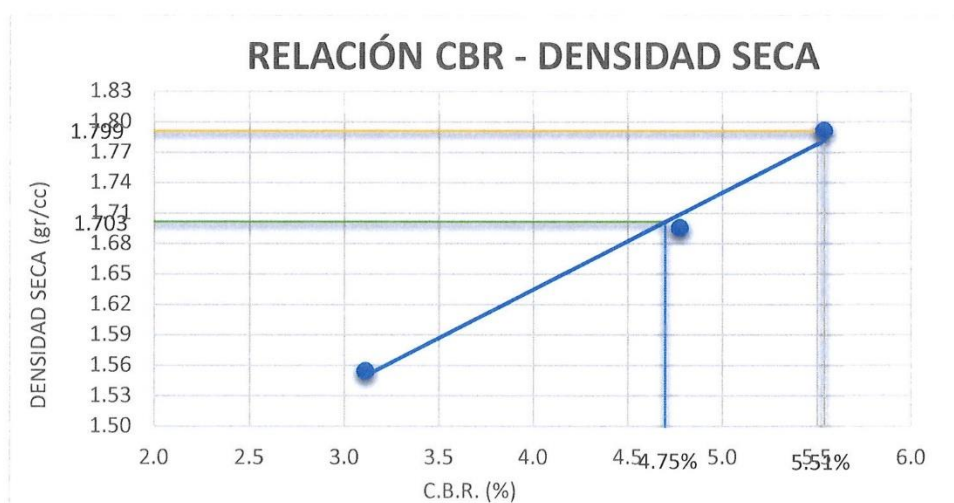
**SOLICITANTE** : Bach. WALTER RUBEN CALLOPAZA MAMANI

**UBICACIÓN** : Laboratorio de mecánica de suelos de la UANCV

**FECHA** : 15 de Octubre del 2024

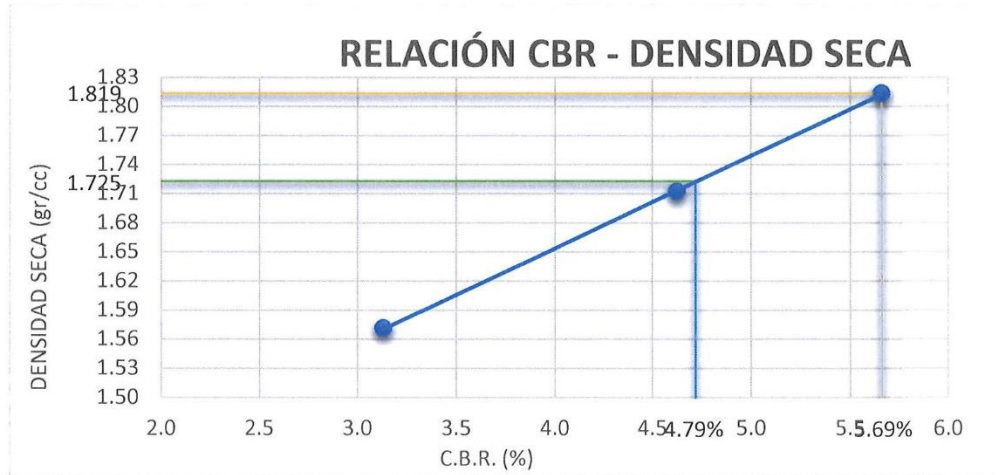
Muestras	Progresiva	CBR al 100%	CBR al 95%
01	1+500	5.51	4.75
02	2+500	5.69	4.79
03	3+500	4.30	3.51
04	4+500	4.60	3.80
<b>Promedio</b>		<b>5.03</b>	<b>4.21</b>

*Resultados de compactaciones de la C-01*

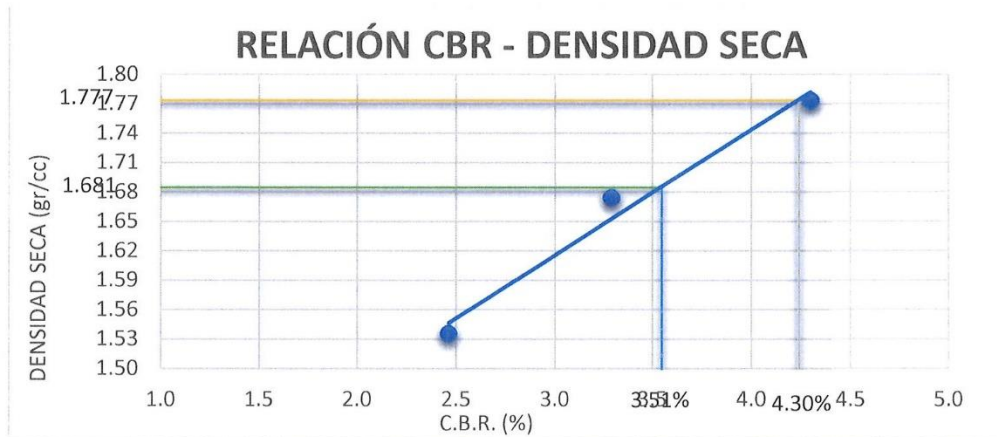


B. N° 006-0030

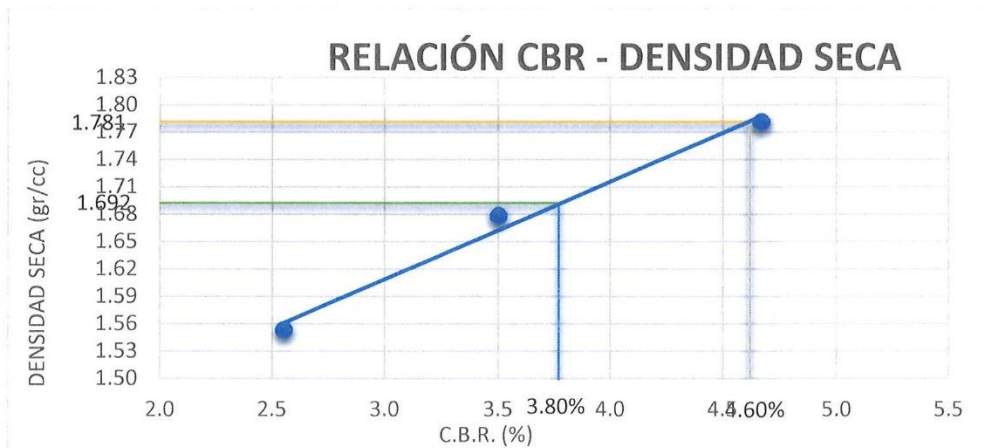
*Resultados de compactaciones de la C-02*



*Resultados de compactaciones de la C-03*



*Resultados de compactaciones de la C-04*



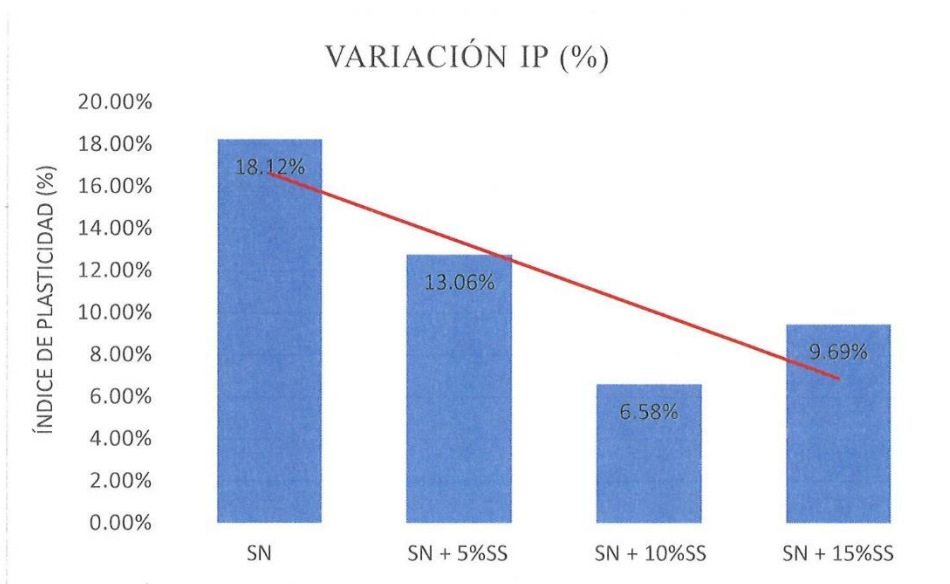
**Nota:** las muestras fueron puestas por el solicitante.

B. N° 006-0030

### Resultados de Silicato de Sodio en el IP

Variación del Índice de Plasticidad	
MUESTRAS	IP (%)
SN	18.12
M1 + 5% Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	13.06
M2 + 10% Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	6.58
M3 + 15% Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	9.69

### Variación del Índice Plástico



**Nota:** las muestras fueron puestas por el solicitante.

B. N° 006-0030

**Grado de Consolidación de SN + 5% de Silicato de Sodio**

*Nivel de consolidación de meclar SN + 5% de silicato de sodio*

<b>Compactación – SN + 5% SS</b>	
MUESTRAS	MDS (gr/cc)
SN	1.795
M1 + 5% Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	<b>1.971</b>
M2 + 5% Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	<b>1.979</b>
M3 + 5% Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	<b>1.984</b>
<b>Promedio</b>	<b>1,978</b>

*Niveles de consolidación de mezclar SN + 10% de silicato de sodio*

<b>Consolidación – SN + 10% SS</b>	
MUESTRAS	MDS (gr/cc)
SN	1.795
M1 + 10% Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	<b>2.102</b>
M2 + 10% Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	<b>2.110</b>
M3 + 10% Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	<b>2.114</b>
<b>Promedio</b>	<b>2.109</b>

*Niveles de consolidación de mezclar SN + 15% de silicato de sodio*

<b>Consolidación – SN + 15% SS</b>	
MUESTRAS	MDS (gr/cc)
SN	1.795
M1 + 15% Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	<b>2.053</b>
M2 + 15% Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	<b>2.048</b>
M3 + 15% Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	<b>2.046</b>
<b>Promedio</b>	<b>2.049</b>

B. N° 006-0030



ANEXO 1  
FORMULARIO DE AUTORIZACIÓN

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

Formato digital

Fecha de entrega: 29-04-2025

1. Datos del autor (es):

Nombres y Apellidos: Walter Ruben Calloapaza Mamani

Dirección: Comunidad Aceopunco

DNI/Carné de Extranjería/Pasaporte N°: 7076 2799

Teléfono: 97472 8818 email: calloapaza 2024@gmail.com

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

Dirección: \_\_\_\_\_

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

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

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

Escuela Profesional o Mención: INGENIERIA CIVIL

Título o Grado Académico a optar: INGENIERO CIVIL

Asesor: Dr. Arnaldo Yana Torres

Esta obra se encuentra dentro de las siguientes denominaciones:

Trabajo de Investigación  Tesis  Trabajo de Suficiencia Profesional  Trabajo Académico

Título: Análisis de la aplicación de silicato de sodio en las propiedades físicas y mecánicas del suelo de la vía afirmada chucarpio - Quegón mooco del distrito de samán Región Puno

Palabras claves, (3 a 5 términos): silicato de sodio, Estabilización, CBR, Suelo, MDS

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

2

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

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



2. Referencia de tesis:

Bachiller  Título  2da Especialidad  Maestría  Doctorado

3. Licencias:

a) Licencia estándar:

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

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

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

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

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

**Autorizo su publicación (marque con una X)**

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

b) Licencia CREATIVE COMMONS 4.0 INTERNACIONAL:

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

**¿Quiere permitir usos comerciales de su producción intelectual?**

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

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

Sí autorizo  
 No autorizo



**Jurisdicción de su Licencia**

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

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

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

Internacional

Nacional

Línea de investigación: Tecnología de Materiales -PI7

  
Firma de Autor



huella digital

29 de abril del 2025

Fecha