

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA PROFESIONAL: INGENIERÍA CIVIL**



**Tesis**

**Influencia de cloruro de sodio como estabilizante de la subrasante en la Av.  
Rinconcito Abanquino - Abancay- Apurímac – 2023**

**Asesor:**

PhD. Vásquez Ramírez, Abbon Alex

**Autor:**

Coaquira Cuellar, Erlin Edwin

Para optar el Título Profesional de: Ingeniero Civil

Abancay – Apurímac – Perú

2025

# Acta de sustentación



**Universidad  
Tecnológica de los Andes**



Transformando vidas  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

## ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TÍTULO PROFESIONAL

Acta N°: 044

En la ciudad de Abancay, a los 04 días del mes de julio del 2025, siendo las 11:00 am horas, se reunieron los integrantes del Jurado designado por Resolución Directoral N° 0530-2025- EPIC-FI-UTEA-SA de fecha 26 de junio del 2025, de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería:

Presidente :	MSc. Ing. Angel, Maldonado Mendivil
Dictaminante :	Dr. Wilfredo, Soto Palomino
Replicante :	Dr. Erick, Alarcón Camacho

Para evaluar la sustentación, en la modalidad de:

- Tesis       Trabajo de suficiencia profesional

Titulada:

**Influencia de cloruro de sodio como estabilizante de la subrasante en la AV.  
Rinconcito Abanquino – Abancay – Apurímac 2023**

Desarrollado por el (los) Bachiller (es):

**Br: ERLIN EDWIN, COAQUIRA CUELLAR**

Para optar el Título Profesional de:

Ingeniero Civil

Concluido el acto, el Jurado dictaminó que el (la) (los) mencionado(a) (s) bachiller (es) fue (ron) APROBADO (S):

Por: Unanimidad  
(Unanimidad o Mayoría) (\*)

Emitiéndose el calificativo final de:

Bachiller (Apellidos y Nombres)	Calificación (**)
<b>ERLIN EDWIN, COAQUIRA CUELLAR</b>	<b>Aprobado</b>

Siendo las 12:12m horas concluyó la sesión, firmando los integrantes del Jurado.

Presidente: MSc. Ing. Angel, Maldonado Mendivil

Dictaminante: Dr. Wilfredo, Soto Palomino

Replicante: Dr. Erick, Alarcón Camacho

Abancay 14 de julio del 2025

Se expide, la presente conforme al libro de Actas de Sustentación de Tesis, consignado en los folios N° 339

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES  
Ciudad Universitaria Av. Perú N° 700, Abancay, Central Telefónica 051 (083) 321559  
Filial Cusco, Av. Grau N° 516, Teléfono (084) 251565  
Filial Andahuaylas, Juan Antonio Trelles N° 513 Teléfono (083) 421752  
[www.utea.edu.pe](http://www.utea.edu.pe)

(\*) Mayoría: Dos integrantes del Jurado aprueban o desaprueban; Unanimidad: Todos los integrantes del Jurado aprueban o desaprueban, Art. 18 RGGAT.  
(\*\*) 0 a 10: Desaprobado, 11 a 15: Aprobado, 16 a 18: Aprobado Notable, 20: Aprobado con Distinción, Art. 18 RGGAT.

# Reporte de similitud



## 25% Similitud general

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

### Filtrado desde el informe

- ▶ Bibliografía
- ▶ Texto citado
- ▶ Coincidencias menores (menos de 8 palabras)

### Exclusiones

- ▶ N.º de fuentes excluidas

### Fuentes principales

- 15% Fuentes de Internet
- 5% Publicaciones
- Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

### Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

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

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



## Metadatos

<b>Datos del Autor</b>	
Apellidos y Nombres	: Coaquira Cuellar Erlin Edwin
Tipo de Documento de Identidad	: DNI
Numero de Documento de Identidad:	: 72383526
URL ORCID	: <a href="https://orcid.org/0009-0003-5511-8989">https://orcid.org/0009-0003-5511-8989</a>
<b>Datos del Asesor</b>	
Apellidos y Nombres:	: Vásquez Ramírez Abbon Alex
Tipo de Documento de Identidad	: D.N.I.
Numero de Documento de Identidad:	: 06532658
URL ORCID	: <a href="https://orcid.org/0000-0001-7299-5367">https://orcid.org/0000-0001-7299-5367</a>
<b>Datos de la Investigación</b>	
Facultad	: Ingeniería
Escuela profesional	: Ingeniería civil
Línea de investigación	: Gestión de la infraestructura para el desarrollo sostenible
Rango de años en que se realizó la investigación	: 2023 - 2024
Fuente de financiamiento	: Autofinanciado
Porcentaje de similitud	: 25 %
URL de OCDE	: <a href="https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.01">https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.01</a>

## **Dedicatoria**

En primer lugar, agradezco a Dios, quien ha sido mi sostén en los momentos de dificultad y mi guía constante a lo largo de este proceso. Sin su amor y sus bendiciones, este logro no habría sido posible.

Deseo expresar mi más sincera gratitud a mis padres por su apoyo constante y por todos los esfuerzos que realizaron para ayudarme a alcanzar mis metas.

Gracias por enseñarme, con su ejemplo, el valor del esfuerzo, la perseverancia y la sencillez. Este logro es tanto de ustedes como mío.

## **Agradecimiento**

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento a mis padres, quienes fueron mi principal fuente de apoyo y fortaleza, brindándome su respaldo incondicional a lo largo de toda mi formación profesional. A mi alma mater, la Universidad Tecnológica de los Andes, le expreso mi profundo agradecimiento por brindarme una formación integral y por proporcionarme los conocimientos y recursos que hicieron posible mi crecimiento académico y personal. Su compromiso y entrega han marcado de manera especial mi trayectoria. Asimismo, extendo mi sincero reconocimiento a mi asesor, PhD. Abbon Alex Vásquez Ramírez, por su orientación constante, su apoyo y la confianza que me otorgó, factores esenciales que me impulsaron a superar con firmeza cada etapa de este trabajo

## Resumen

La estabilización de suelos arcillosos con baja capacidad portante representa un desafío clave en la ejecución de proyectos viales, especialmente en zonas con alta pluviosidad. En la ciudad de Abancay, región Apurímac, la Av. Rinconcito Abanquino presenta una subrasante arcillosa que afecta la durabilidad del pavimento y dificulta la transitabilidad. El objetivo principal de esta investigación fue identificar la dosificación óptima de cloruro de sodio (NaCl) que contribuya a mejorar las propiedades físicas y mecánicas del suelo, especialmente su capacidad portante. Para ello, se extrajeron muestras de tres calicatas distribuidas a lo largo del tramo de estudio, las cuales fueron sometidas a ensayos de granulometría, límites de Atterberg, Proctor Modificado y CBR. Se evaluaron tres porcentajes de NaCl (5%, 10% y 15%) con el propósito de analizar su efecto en el comportamiento del material. Los resultados mostraron que la adición del 10% de cloruro de sodio elevó el valor del CBR en un 13.50%, aumentó la densidad seca máxima y redujo el índice de plasticidad. En conclusión, se determinó que la aplicación del 10% de NaCl representa una alternativa técnica viable y económicamente conveniente, cumpliendo con las exigencias del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) para subrasantes en proyectos viales de características similares.

**Palabras clave:** Estabilización subrasante, cloruro de sodio, capacidad de soporte del suelo, dosificación.

## **Abstract**

The stabilization of clayey soils with low bearing capacity is a fundamental challenge in road construction projects, particularly in areas with high rainfall. In the city of Abancay, Apurímac region, Rinconcito Abanquino Avenue presents a clay subgrade that compromises pavement durability and hinders traffic flow. This research aimed to determine the optimal dosage of sodium chloride (NaCl) to improve the physical and mechanical properties of the soil, focusing on its load-bearing capacity. Representative samples were extracted from three open test pits along the study section and subjected to grain size analysis, Atterberg limits, Modified Proctor compaction, and California Bearing Ratio (CBR) tests. Three NaCl contents (5%, 10%, and 15%) were applied to assess their effects on soil behavior. The results showed that the 10% NaCl dosage increased the CBR value by 13.50%, improved the maximum dry density, and reduced the plasticity index. Therefore, it is concluded that stabilization with 10% sodium chloride is a technically feasible, cost-effective, and efficient solution that meets the technical specifications of the Peruvian Ministry of Transport and Communications (MTC) for subgrade improvement in similar road infrastructure projects.

**Keywords:** Subgrade stabilization, sodium chloride, soil bearing capacity, dosage.

## Índice

Portada.....	i
Acta de sustentación .....	ii
Reporte de similitud.....	iii
Metadatos Complementarios .....	iv
Dedicatoria.....	v
Agradecimiento.....	v
Resumen .....	vii
Abstract.....	viii
Índice .....	ix
Índice de tablas .....	xii
Índice de figuras .....	xiv
Índice de anexos .....	xv
I    Introducción .....	16
II   Planteamiento del problema.....	17
2.1 Descripción y formulación del problema.....	17
2.1.1 Problema General.....	19
2.1.2 Problemas Específicos.....	19
2.2 Objetivos .....	20
2.2.1 Objetivo general.....	20
2.2.2 Objetivos específicos.....	20
2.3 Justificación e importancia .....	20
2.4 Hipótesis .....	22
2.4.1 Hipótesis general .....	22
2.5 Variables .....	23
III  Marco teórico.....	24
3.1 Antecedentes .....	24
3.2 Bases teóricas .....	28
Estudio subrasante .....	28

3.2.1	Relación de soporte California (CBR) ASTM D 1883.....	29
3.2.2	Curva de esfuerzo – deformación.....	30
3.2.3.	Valores de CBR que identifica la resistencia del suelo .....	33
3.2.4.	Límite de Atterberg método estándar (ASTM D 4318).....	33
3.2.5.	Relación entre el grado de expansión y el límite líquido. ....	35
3.2.6.	Límite plástico e índice de plasticidad.....	36
3.3	<i>Definición de términos</i> .....	38
VI.	<i>Metodología</i> .....	43
4.1	<i>Tipo y nivel de investigación</i> .....	43
4.2	<i>Ámbito temporal y espacial</i> .....	43
4.3	<i>Población y muestra</i> .....	44
4.4	<i>Instrumentos</i> .....	44
4.5	<i>Procedimientos</i> .....	45
4.6	Análisis de datos.....	48
4.7	Consideraciones Éticas .....	49
V.	<i>Resultados y discusión</i> .....	50
5.1	<i>Resultados</i> .....	50
5.1.1	Resultados de los ensayos del suelo natural.....	50
5.1.2	Resultado de la dosificación óptima de cloruro de sodio .....	51
5.1.3	Resultado del impacto del cloruro de sodio en las propiedades físicas....	53
5.1.4	Resultado efecto de la estabilización con cloruro de sodio en la relación de soporte de california (CBR) e.....	58
5.2	<i>Resultados y discusiones</i> .....	60
5.2.1	Discusión y resultado de la dosificación óptima de cloruro de sodio. ....	60
5.2.2	Discusión y resultado del impacto del cloruro de sodio.....	61
5.2.3	Discusión y resultado . ....	62
5.3	<i>Prueba de hipótesis</i> .....	63
5.3.1	Prueba de hipótesis 01 .....	63
5.3.2	Prueba de hipótesis 02.....	67

5.3.3 Prueba de hipótesis 03.....	79
VI. Conclusiones .....	84
VII. Recomendaciones .....	87
VIII. Referencias.....	90
IX Anexos .....	94

## Índice de tablas

<b>Tabla 1:</b> Factores de capacidad de carga modificados de Terzaghi. ....	33
<b>Tabla 2:</b> <i>Numero de tamices para el ensayo de granulometría.</i> .....	36
<b>Tabla 3:</b> <i>Relación de factor de expansión y el IP.</i> .....	37
<b>Tabla 4:</b> <i>Dosificación del cloruro de sodio en peso al suelo natural (SN).</i> .....	46
<b>Tabla 5:</b> <i>Gradación por tamizado del suelo con adición en diferentes % cloruro de sodio.</i> .....	47
<b>Tabla 6:</b> <i>Elementos del ANOVA MR.</i> .....	49
<b>Tabla 7:</b> <i>Resultado de los ensayos del grupo aptaron.</i> .....	50
<b>Tabla 8:</b> <i>Resultado – de (CBR) al 95% DMS, 1" de penetración.</i> .....	51
<b>Tabla 9:</b> <i>Resultado – (CBR) al 100% DMS, 1" de penetración.</i> .....	52
<b>Tabla 10:</b> <i>Resultado - Limite liquido de suelo.</i> .....	53
<b>Tabla 11:</b> <i>Resultado - Límite Plástico".</i> .....	54
<b>Tabla 12:</b> <i>"Resultado - Índice de Plasticidad del suelo".</i> .....	55
<b>Tabla 13:</b> <i>"Contenido de humedad óptima % de la subrasante".</i> .....	55
<b>Tabla 14:</b> <i>"Densidad máxima seca en gramos por centímetro cúbico de la subrasante.</i> .....	56
<b>Tabla 15:</b> <i>Resultados de la relación de soporte California (CBR) correspondiente al 100% de la densidad máxima seca (DMS) en la subrasante.</i> .....	58
<b>Tabla 16:</b> <i>Prueba de esfericidad de Mauchly del CBR al 95.</i> .....	63
<b>Tabla 17:</b> <i>Prueba de esfericidad de Mauchly del CBR al 95.</i> .....	64
<b>Tabla 18:</b> <i>Prueba de esfericidad de Mauchly del CBR al 95.</i> .....	65
<b>Tabla 19:</b> <i>Prueba de esfericidad de Mauchly del CBR al 95.</i> .....	65
<b>Tabla 20:</b> <i>Prueba de esfericidad de Mauchly del CBR al 95.</i> .....	66
<b>Tabla 21:</b> <i>Prueba de normalidad Shapiro – Wilk.</i> .....	67
<b>Tabla 22:</b> <i>Prueba de esfericidad de Mauchly al índice de plasticidad %.</i> .....	68
<b>Tabla 23:</b> <i>Correcciones por Greenhouse-Geisser del índice de plasticidad %.</i> .....	68
<b>Tabla 24:</b> <i>Promedio y dispersión estándar del índice de plasticidad en porcentaje. ....</i>	69
<b>Tabla 25:</b> <i>Resultados del análisis de varianza con medidas repetidas (ANOVA MR) para el índice de plasticidad en porcentaje.</i> .....	70
<b>Tabla 26:</b> <i>Resultado del análisis de Bonferroni del índice de plasticidad %.</i> .....	70
<b>Tabla 27:</b> <i>Resultado del análisis de Bonferroni del índice de plasticidad %.</i> .....	71
<b>Tabla 28:</b> <i>Prueba de esfericidad de Mauchly al contenido óptimo de humedad %.</i> ....	72
<b>Tabla 29:</b> <i>Correcciones por Greenhouse-Geisser del contenido óptimo de humedad %.</i> .....	72
<b>Tabla 30:</b> <i>Media y desviación estándar del contenido óptimo de humedad %.</i> .....	73
<b>Tabla 31:</b> <i>Resultados del ANOVA MR del contenido óptimo de humedad %.</i> .....	74

<b>Tabla 32:</b> <i>Resultado del análisis de Bonferroni del contenido óptimo de humedad %.</i>	74
<b>Tabla 33:</b> <i>Prueba de normalidad Shapiro-Wilk a la densidad máxima seca gr/ cm<sup>3</sup>....</i>	75
<b>Tabla 34:</b> <i>Prueba de normalidad Shapiro-Wilk a la densidad máxima seca gr/ cm<sup>3</sup>....</i>	76
<b>Tabla 35:</b> <i>Correcciones por Greenhouse-Geisser de la densidad máxima seca gr/ cm<sup>3</sup>.</i> .....	76
<b>Tabla 36:</b> <i>Media y desviación estándar de la densidad máxima seca gr/ cm<sup>3</sup>.....</i>	77
<b>Tabla 37:</b> <i>Resultados del ANOVA MR de la densidad máxima seca gr/ cm<sup>3</sup>.....</i>	77
<b>Tabla 38:</b> <i>Resultados del ANOVA MR de la densidad máxima seca gr/ cm<sup>3</sup>.....</i>	78
<b>Tabla 39:</b> <i>Prueba de normalidad Shapiro-Wilk del CBR al 100%.....</i>	79
<b>Tabla 40:</b> <i>Prueba de normalidad Shapiro-Wilk del CBR al 100%.....</i>	80
<b>Tabla 41:</b> <i>Correcciones por Greenhouse-Geisser del CBR al 100%. .....</i>	80

## Índice de figuras

<b>Figura 1:</b> Curva de penetración vs presión corregida.....	31
<b>Figura 2:</b> <i>Curva de densidad máxima seca vs CBR</i> .....	32
<b>Figura 3:</b> Factor de corrección k.....	34
<b>Figura 4:</b> Gráfico para la determinación del L. Líquido .....	35
<b>Figura 5:</b> Límites de Atterberg, carta de plasticidad Casagrande .....	38
<b>Figura 6:</b> Resultado – del (CBR) al 95% DMS 1" de penetración. ....	51
<b>Figura 7:</b> Resultado - (CBR) al 100 DMS, 1" de penetración. ....	52
<b>Figura 8:</b> Resultado - Límite Líquido del suelo .....	53
<b>Figura 9:</b> resultado- Límite plástico .....	54
<b>Figura 10:</b> "Resultado - Índice de Plasticidad" .....	56

## Índice de anexos

<b>Anexo 1:</b> Matriz de consistencia.....	95
<b>Anexo 2:</b> Operacionalización de variables.....	96
<b>Anexo 3:</b> Estudio de zonificación de suelos .....	963

## I Introducción

La infraestructura vial es un elemento esencial para cualquier sociedad, ya que actúa como el principal medio para el transporte y la distribución de recursos, lo que a su vez permite el desarrollo económico. Los suelos con alto contenido de arcilla presentan una capacidad de soporte limitada y una elevada plasticidad, lo que ocasiona deficiencias que comprometen la estabilidad de las carreteras. En consecuencia, resulta fundamental aplicar aditivos que optimicen sus propiedades mecánicas, minimizando estos inconvenientes y garantizando una mayor durabilidad en las estructuras viales (Carruitero, 2022).

Con el transcurso del tiempo, se han aplicado múltiples métodos con el propósito de abordar esta problemática estabilizar suelos, incluyendo el uso de cal, cemento y geo sintéticos. No obstante, muchas de las soluciones convencionales generan un impacto ambiental significativo, pues implican intervenciones intensivas del terreno o la aplicación de productos químicos para lograr la estabilización deseada. Ante esta situación, el presente estudio plantea una alternativa innovadora que consiste en la utilización del cloruro de sodio como material estabilizante en suelos de tipo arcilloso. Aunque su aplicación en ingeniería civil aún es limitada, el NaCl se presenta como una opción económica, viable y orientada hacia un enfoque más sostenible (Quispe, 2020). El propósito central de esta investigación consiste en analizar el desempeño mecánico del suelo arcilloso ubicado en la avenida Rinconcito Abanquino, en la ciudad de Abancay, región Apurímac. Con este objetivo, se evalúa el efecto que produce la incorporación de cloruro de sodio sobre las principales propiedades del suelo, enfocándose particularmente en los Límites de Atterberg y en el valor del (CBR). El propósito central es establecer si la utilización de este aditivo contribuye a mejorar la resistencia del suelo, considerándolo como una posible solución técnica para estabilizar subrasantes en obras viales.

## II Planteamiento del problema

### 2.1 Descripción y formulación del problema

De acuerdo con un informe reciente del Banco Interamericano de Desarrollo (2021), aproximadamente el 60% de las carreteras en América Latina presentan condiciones regulares o deficientes, lo que restringe la conectividad y afecta negativamente al comercio intrarregional. La situación se ve aún más complicada por los efectos del cambio climático, el cual ha intensificado tanto la frecuencia como la magnitud de eventos naturales, tales como deslizamientos e inundaciones, generando daños significativos en carreteras y puentes (Castro & Melo, 2020).

En el ámbito nacional, la carencia de infraestructura vial adecuada en las áreas rurales representa un factor clave que contribuye a mantener elevados niveles de pobreza. Esta situación dificulta que la población acceda a servicios básicos como salud, educación y oportunidades laborales, además de obstaculizar su conexión con los mercados locales y regionales. En consecuencia, se refuerza el ciclo de pobreza, ya que las áreas rurales tienen dificultades para integrarse completamente a la economía nacional. De acuerdo con el Banco Mundial (2020), el 60% de las carreteras rurales del país se encuentran en condiciones deficientes, impactando directamente con 6 millones de personas que dependen de estas vías para su sustento (Pozo, 2019).

La ciudad de Abancay está conectada por dos principales rutas nacionales: la Ruta Nacional R3S, que atraviesa la provincia de noreste a noroeste, y la Ruta Nacional R26A, que va de noreste a suroeste. También se encuentra la Ruta 103, una vía departamental que se desprende de la R3S. Estas rutas, junto con las vías locales, unen diversas comunidades y son cruciales para la economía regional y nacional, facilitando el transporte entre áreas productivas. Sin embargo, de los 626.39 km de vías locales en Abancay, solo 112.77 km han sido rehabilitados por PROVIAS RURAL, dejando 513.62 km sin el mantenimiento necesario. Las carreteras no mejoradas carecen de sistemas de drenaje y

estructuras de protección, lo que dificulta su uso durante la temporada de lluvias (MTC, 2016).

un estudio reciente de confirma que los suelos arcillosos expansivos son desafíos en la ingeniería geotécnica, especialmente en regiones con climas tropicales y subtropicales, como muchas zonas de América Latina. Estos suelos, al absorber agua, aumentan su volumen, y al perderla, se contraen, provocando fisuras y deformaciones en las obras asentadas sobre estos suelos. Este tipo de comportamiento puede poner en riesgo la estabilidad de las vías, incrementar los gastos de conservación y disminuir su durabilidad (Quispe, 2020).

Tras realizar la inspección del área correspondiente al estudio, ubicada en la Av. Rinconcito Abanquino de la ciudad de Abancay, región Apurímac, se comprobó que el terreno presenta suelos predominantemente arcillosos. Asimismo, de acuerdo con el informe del estudio de suelos elaborado para la construcción de la vía de evitamiento situada de manera paralela al área analizada, se identificaron tipos de suelo clasificados como GC, CL y ML, con valores promedio mínimos de CBR de 4.9%. Dichas características no cumplen con los parámetros requeridos para su utilización en obras viales, ya que la subrasante arcillosa evidencia fallas asociadas a variaciones volumétricas, tales como asentamientos diferenciales, fisuras, huecos, surcos, hundimientos y ahuellamientos. Estos problemas afectan directamente a los habitantes de la zona y reducen significativamente la vida útil de la vía, agravándose aún más por las lluvias frecuentes, la falta de mantenimiento adecuado y el limitado interés de las autoridades competentes.

## **Formulación del problema de investigación**

La subrasante inestable genera problemas estructurales como asentamientos, fisuras y deformaciones en la vía, afectando la transitabilidad y aumentando los costos de mantenimiento, en la Av. Rinconcito Abanquino, se han identificado sectores con baja capacidad portante, lo que compromete su funcionalidad.

El propósito de este estudio es analizar la influencia del cloruro de sodio en el proceso de estabilización de la subrasante, valorando su eficiencia como aditivo para mejorar las características físicas y mecánicas del suelo. El trabajo se orienta a identificar y determinar cómo la incorporación de este compuesto incide en el comportamiento y mejora del material base cómo este material incide en la capacidad de soporte, la plasticidad y la densidad del terreno. Su objetivo es identificar la dosificación ideal que fortalezca la resistencia del terreno, favoreciendo el rendimiento estructural de la vía.

### **2.1.1 Problema General.**

¿De qué manera influye el cloruro de sodio en la estabilidad y capacidad de carga de la subrasante de la Av. Rinconcito Abanquino, Abancay – Apurímac 2023?

### **2.1.2 Problemas Específicos.**

**P.E.1-** ¿Cuál es la dosificación óptima de cloruro de sodio para mejorar las propiedades mecánicas de la subrasante en la Av. Rinconcito Abanquino?

**P.E.2-** ¿Cuál es el impacto del cloruro de sodio en las propiedades físicas del suelo, como el índice de plasticidad y la densidad seca máxima, en la subrasante de la Av. Rinconcito Abanquino-Abancay-Apurímac-2023?

**P.E.3-** ¿Cuál es el impacto del cloruro de sodio en las propiedades físicas del suelo, como el índice de plasticidad y la densidad seca máxima, en la subrasante de la Av. Rinconcito Abanquino-Abancay-Apurímac-2023?

## **2.2 Objetivos**

### **2.2.1 Objetivo general**

Evaluar cuál es la influencia del cloruro de sodio como estabilizante de la subrasante en la Av. Rinconcito Abanquino - Abancay – Apurímac, 2023.

### **2.2.2 Objetivos específicos**

**O.E.1-** Determinar la dosificación óptima del cloruro de sodio como estabilizante de la subrasante en la Av. Rinconcito Abanquino-Abancay-Apurimac-2023.

**O.E.2-** Determinar la influencia del cloruro de sodio en las propiedades físicas del suelo, incluyendo el índice de plasticidad y la densidad seca máxima.

**O.E.3-** Determinar cuál es la influencia del cloruro de sodio como estabilizante en el impacto del cloruro de sodio en la capacidad de soporte del suelo a través del ensayo CBR.

## **2.3 Justificación e importancia**

### **Justificación**

Científica: Esta tesis aporta nuevo conocimiento en un área poco explorada es decir no se ha establecido investigaciones de esta tecnología en el lugar específico del estudio, por lo que representa un enfoque innovador para mejorar la infraestructura vial, en vista que promueve la sostenibilidad al utilizar materiales renovables, en el mejoramiento de suelos. Este estudio busca aportar una opción más sostenible y efectiva frente a los estabilizantes químicos convencionales, promoviendo así el desarrollo y la innovación dentro del campo de la ingeniería geotécnica (Carruitero, 2022).

Técnica: Desde un punto de vista técnico del cloruro de sodio no requiere tecnologías complejas ni equipos especializados ni gran perturbación de terreno para su aplicación, es de aplicación y curado rápido donde permite reducir tiempos y riesgos potenciales a la hora de su mantenimiento de la red vial y sobre todo es amigable con el medio ambiente, es

una solución viable. Esto mejora el diseño del pavimento, disminuye los gastos de construcción y mantenimiento, y extiende la durabilidad de la infraestructura (Castro & Melo, 2020).

Social: El uso de materiales sostenibles, como el cloruro de sodio, para mejorar las propiedades estructurales de las carreteras. Al utilizar este tipo de recursos, se promueve la reducción del impacto ambiental, disminuyendo la dependencia de estabilizantes químicos convencionales y limitando la modificación del suelo, lo que puede ser perjudicial para los ecosistemas. Asimismo, el mejoramiento de las vías en áreas rurales permite un acceso más ágil a servicios fundamentales como salud, educación y comercio. Asimismo, al extender la durabilidad de las vías, se reducen los gastos de conservación, lo que se traduce en un ahorro sostenido que beneficia directamente a la población (Pareja, 2022).

### **Importancia**

El presente estudio plantea una opción innovadora y ambientalmente sostenible orientada a mejorar la estabilidad de las subrasantes mediante el uso de cloruro de sodio. Esta metodología contribuye a optimizar las propiedades físicas y mecánicas del suelo en particular su resistencia y plasticidad mediante procesos sencillos y de aplicación accesible. Este método representa una alternativa más amigable con el entorno al reducir el uso de estabilizantes químicos convencionales, optimizando los tiempos de intervención y minimizando la alteración del terreno. Del mismo modo, su aplicación repercute favorablemente en el progreso socioeconómico, al contribuir al mejoramiento de la infraestructura vial en áreas rurales. Cabe resaltar que los resultados alcanzados cumplen con los criterios establecidos por las normativas técnicas vigentes (Pareja, 2022).

## **2.4 Hipótesis**

### **2.4.1 Hipótesis general**

La influencia del cloruro de sodio como estabilizante de la subrasante en la Av. Rinconcito Abanquino-Abancay-Apurimac-2023.

#### **Hipótesis específicas**

**H.E.1-** Existe la dosificación óptima del cloruro de sodio como estabilizante de la subrasante en la Av. Rinconcito Abanquino-Abancay-Apurimac-2023.

**H.E.2-** Existe influencia del cloruro de sodio en las propiedades físicas del suelo, incluyendo el índice de plasticidad y la densidad seca máxima.

**H.E.3-** Existe influencia del cloruro de sodio en las propiedades físicas del suelo, incluyendo el índice de plasticidad y la densidad seca máxima.

## 2.5 Variables

Variables	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala de medición
<b>Variable Independiente:</b>  Adición de cloruro de sodio	Astocondor (2020), El uso de cloruro de sodio como agente estabilizante en la subrasante contribuye a optimizar sus características mecánicas, incrementando su capacidad portante, disminuyendo el índice de plasticidad y elevando la densidad seca del material.	En un proceso operativo, la manipulación del cloruro de sodio se realiza para modificar o mejorar ciertas propiedades del material	Influencia	-S- 0% cloruro de sodio.	Instrumentos de medida balanza
				-S- 5% cloruro de sodio.	
				-S- 10% cloruro de sodio.	
				-S- 15% cloruro de sodio.	
<b>Variable Dependiente:</b>  <b>Propiedades mecánicas estabilización de la subrasante</b>	Quispe, (2020) en su investigación "Mejoramiento del suelo arenoso y limoso (cloruro de sodio – Cal) en la subrasante con pruebas de CBR- Cusco, (2020)" planteando como objetivo analizar con la cal y el cloruro de sodio se comportan en la subrasante	En proceso operacional de cloruro de sodio en este estudio implica su adición directa a la muestra del suelo en cantidades controladas, con el fin de evaluar sus efectos en las propiedades mecánicas del suelo mediante ensayos como el CBR, de acuerdo con las normativas establecidas para evaluar la capacidad de soporte de un suelo	Propiedades físicas	Ensayo de granulometría Ensayo contenido de humedad %.	Instrumentos de balanza aplicada
			Propiedades Mecánicas	Límite de Atterberg	Diseño experimental
			Soporte de california (CBR)	Proctor modificado	Muestras 24 pruebas

### III Marco teórico

#### 3.1 Antecedentes

Quispe (2020), en su tesis determinó que la dosificación más efectiva para optimizar el CBR fue del 1.50% de NaCl con un curado de 8 días, obteniendo un CBR del 118%, mientras que, con un curado de 16 días, la concentración más adecuada fue del 1.00%, logrando un CBR del 96.30%. Estos resultados confirman que el NaCl es un agente eficaz con el fin de incrementar la resistencia del suelo, incluso en tiempos de curado reducidos. Sin necesidad que lo adapte dentro de un párrafo más amplio, también puede ayudarte.

Sandoval (2021), La investigación se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo y un diseño de tipo experimental, orientado a comprobar de manera práctica la validez de los resultados obtenidos. Las mezclas fueron elaboradas incorporando aditivos CPC y CBCA en proporciones del 3%, 5% y 7%, tanto de forma individual como combinada, considerando las relaciones de 75% CPC con 25% CBCA y de 50% CPC con 50% CBCA para su respectiva evaluación. Los resultados mostraron que los especímenes con adiciones de 3%, 5% y 7% de la mezcla de 75% CPC y 25% CBCA lograron buenos resultados en la prueba de CBR, destacando el espécimen con 7% de la mezcla, que alcanzó un CBR de 137%, superior en un 112.5% a los especímenes sin aditivos. Los especímenes con la mezcla 50% CPC y 50% CBCA mostraron una disminución en el CBR a medida que aumentaba la adición, destacando un CBR de 142% a 3%, pero descendiendo a 83% y 70% con 5% y 7%, respectivamente. En las conclusiones, se determina que la sustitución del 25% de CPC por CBCA es la más adecuada para suelos arenosos.

Pineda & Martínez (2021), el propósito de esta tesis fue analizar la rigidez y la resistencia al corte de suelos modificados mediante la incorporación de un biopolímero de origen natural. Para ello, se emplearon muestras tomadas de la subrasante de vías urbanas ubicadas en Colombia. Con el fin de evaluar su efecto sobre las propiedades

mecánicas del suelo. Al iniciar el estudio, se identificó que el suelo sin estabilizar presentaba una resistencia al corte de 25 KPa. Sin embargo, al agregar un 0.5% de biopolímero, esta resistencia aumentó a 60 KPa después de 7 días de curado. Con una concentración del 3%, la resistencia alcanzó un máximo de 120 KPa, mientras que con las dosificaciones del 1% y 2%, los valores variaron entre 70 KPa y 90 KPa. Se concluyó que la adición del 3% de biopolímero fue la dosis más efectiva para mejorar notablemente la resistencia al corte, posicionándose como una alternativa ideal para la estabilización de infraestructuras viales.

Villacís (2022), el objetivo principal de la tesis fue analizar y comparar el comportamiento de suelos arcillosos expansivos al ser estabilizados utilizando ceniza procedente de residuos de arroz (CCA) y ceniza volcánica (CV), con el fin de determinar su efectividad como materiales alternativos en la mejora del suelo. Para ello, se seleccionó como muestra un suelo de arcilla con propiedades expansivas, obtenido de la región de Quito, Ecuador. Se trabajó con tres muestras representativas de arcilla expansiva, las cuales se trataron con diferentes porcentajes de ceniza, 10%, 20% y 30%, así como combinaciones iguales (50-50% en peso) de ambas cenizas.. No obstante, al superar dichos porcentajes, no se observaron beneficios adicionales relevantes. Las muestras tratadas mostraron un aumento en la resistencia al corte de entre 5.6% y 15%, mientras que la cohesión se incrementó de 0.2 kg/cm<sup>2</sup> a 1.07 kg/cm<sup>2</sup>, y el ángulo de fricción pasó de 22.9° a 46.4°. Además, el índice de expansión del suelo se redujo significativamente, disminuyendo el potencial de expansión de 131.48 a 65.32. En general, la estabilización mejoró conforme se incrementó la proporción de ceniza, concluyéndose que la combinación de CCA y CV optimizó las características del suelo arcilloso expansivo, siendo el 20% la proporción más efectiva.

More & Ydrogo (2020), este estudio se llevó a cabo bajo un enfoque cuantitativo y de tipo aplicado, empleando un diseño experimental que permitió analizar la influencia del Cemento Portland (CP) sobre el comportamiento mecánico del suelo, para lo cual

se consideraron proporciones del 3%, 5% y 7% en la mezcla. En la muestra de referencia sin estabilizantes, el CBR inicial fue del 4%. No obstante, tras la incorporación de CP en los porcentajes indicados, se evidenció un incremento en el CBR, alcanzando valores de 6.74%, 7.49% y 8.25%, respectivamente. Además, el índice de plasticidad, que originalmente era del 20%, mostró una reducción, situándose entre el 18% y 17%. En conclusión, la adición del 7% de CP fue la más efectiva, ya que proporcionó la mayor mejora en el CBR y en la estabilidad del suelo, confirmando su eficacia como material estabilizante.

Pozo (2019), el objetivo de su estudio fue identificar la proporción óptima de colofonia de pino (CP) para la estabilización de subrasantes, analizando el comportamiento de suelos arcillosos recolectados en las avenidas Primavera y Pillado, situadas en el centro poblado de San Gerónimo, Cusco. El estudio se desarrolló bajo un enfoque aplicado, empleando una metodología cuantitativa de carácter experimental. Se incorporaron diferentes porcentajes de Cemento Portland (3%, 5% y 7%) con el fin de analizar su influencia en el comportamiento y las propiedades mecánicas del suelo. Los resultados iniciales mostraron que, sin aditivos, el valor del CBR era de 4%. Sin embargo, tras la adición de CP en las proporciones señaladas, se observó un aumento en dicho valor, alcanzando 6.74%, 7.49% y 8.25%, respectivamente. Asimismo, el índice de plasticidad, que inicialmente era del 20%, disminuyó a rangos de entre 18% y 17%. En síntesis, la aplicación del 7% de CP fue la más efectiva, ya que generó una mejora considerable en el CBR y en la estabilidad del terreno, confirmando que la colofonia de pino constituye un aditivo eficaz para mejorar el desempeño mecánico del suelo.

Chamba (2021), Con el objetivo de mejorar la capacidad de soporte de la subrasante y evaluar la viabilidad económica de su aplicación. El estudio adoptó un enfoque experimental, aplicando distintas dosificaciones de NaCl (2%, 4%, 6% y 8%) para observar su efecto sobre el comportamiento mecánico del suelo. Los ensayos

iniciales evidenciaron que el suelo sin aditivos presentaba un valor de CBR de 9.8%. No obstante, el incremento más significativo se alcanzó con una proporción del 6%, lográndose un valor de CBR de 14.50%, mientras que al aplicar una dosificación del 8% de NaCl se registró una leve reducción en dicho valor. En síntesis, se determinó que una dosificación del 6% representa la proporción más adecuada para optimizar tanto la resistencia como la estabilidad del suelo, garantizando una compactación eficiente. Los resultados alcanzados demuestran que el cloruro de sodio representa una opción técnica eficiente y sostenible para mejorar la capacidad de soporte de suelos con elevado contenido de arcilla.

Gianella & Rafaele (2023), la investigación se efectuó en la comunidad de Puma Marca, ubicada en el distrito de San Sebastián, Cusco, con el propósito de identificar la dosificación más adecuada de cloruro de sodio (NaCl) que contribuya a mejorar la estabilidad de los suelos arcillosos empleados como subrasante en una vía local. Para ello, se ensayaron muestras de suelo tratadas con diferentes concentraciones de NaCl: 2%, 4% y 6%. El suelo natural presentó un alto grado de expansividad, un valor de CBR de 5.63%, una humedad óptima del 14% y una densidad seca máxima baja. No obstante, al emplear el 6% de NaCl, el valor de CBR disminuyó de 10.32% a 9.93%, evidenciando que una mayor cantidad del aditivo no necesariamente mejora el desempeño del suelo. En síntesis, se concluyó que la dosis del 4% es la más adecuada para estabilizar este tipo de material, dado que incrementos superiores no generaron mejoras significativas.

Pareja (2022), en el estudio titulado "Uso de ceniza de Schinus molle en la estabilización de suelos para infraestructura vial rural: evaluación en el tramo Yanakillca-Antabamba, Apurímac", se analizó el efecto de la CSM como material estabilizante aplicado a la subrasante. Mediante un enfoque experimental cuantitativo, se incorporó CSM en proporciones del 3%, 5%, 7%, 10% y 13% a muestras extraídas entre los km 00+000 y 08+000. Los hallazgos mostraron que, con el 13% de CSM, el

CBR del suelo pasó de 1.88% a 22.5%, multiplicando por diez su resistencia inicial. Paralelamente, el IP se redujo de 9.10% a 8.7%, y la DMS registró un incremento máximo de 0.120%. La investigación concluyó que la proporción del 13% de CSM resultó ser la más adecuada, ya que mejoró notablemente la resistencia del suelo y disminuyó su nivel de plasticidad.

Bermúdez & Ortiz (2021), El objetivo de esta investigación fue analizar el efecto de la combinación de escoria de paja de anís (CCDA) y cal en las propiedades mecánicas del suelo ubicado en el tramo Curahuasi–Cachora, entre los kilómetros 2+500 y 3+500, en la región de Apurímac, caracterizada por su alto contenido de finos. El estudio se desarrolló con un enfoque cuantitativo y un diseño cuasi experimental, evaluando las variaciones producidas al incorporar distintas proporciones de cal (4%, 6% y 8%) y CCDA (5%, 10% y 14%). Los resultados evidenciaron que el valor inicial de CBR del 7% aumentó progresivamente con la adición de cal hasta alcanzar 36.48%, y con la CCDA hasta 27.60%. Asimismo, se registró una leve reducción en la densidad seca máxima, pasando de 1.973 g/cm<sup>3</sup> a 1.9 g/cm<sup>3</sup> al aplicar cal. En conclusión, la aplicación conjunta de ambos aditivos mejoró de forma notable la capacidad portante y la compactación del suelo, resaltando que la dosificación del 14% de CCDA resultó ser la más favorable.

### 3.2 Bases teóricas

**Estudio subrasante.** El análisis de la subrasante tiene como propósito identificar las características físicas y mecánicas del suelo que funcionará como soporte estructural en la construcción de una vía. En este proceso se evalúan parámetros como la capacidad portante, el nivel de compactación, la humedad y el índice de plasticidad, con el objetivo de establecer si el material posee las condiciones necesarias para soportar las cargas del tránsito. De esta forma, se asegura que el suelo cumpla con los requisitos de resistencia y estabilidad exigidos para el tráfico previsto (Ibarra, 2019).

### 3.2.1 Relación de soporte California (CBR) ASTM D 1883

El CBR (California Bearing Ratio), regulado por la norma ASTM D1883, se utiliza en laboratorio para evaluar la capacidad de soporte de un suelo previamente compactado bajo condiciones controladas que simulan las cargas reales. Este procedimiento permite comparar la resistencia del suelo analizado con la de un material patrón, lo que facilita determinar su idoneidad para emplearse en pavimentos y cimentaciones. El valor del CBR, expresado como porcentaje, sirve para clasificar los suelos según su capacidad portante, convirtiéndose en un parámetro esencial para el diseño y la planificación de obras viales (More & Ydrogo, 2019).

#### Compactación.

##### Calculo y gráficos.

#### Volumen agua de mezclado.

Para muestra seca

$$V_w = \frac{W_s \cdot OCH}{y_w} \quad (cm^3) \quad (1)$$

Para muestra humedad

$$W = \frac{W_h - W_s}{W_s} \times 100 \quad (\%) \quad (2)$$

$$V_w = \frac{W_s(OCH - W\%)}{W\%} \quad (cm^3) \quad (3)$$

Donde:

METO: Vol. De agua a añadir.

W: Contenido de humedad (%)

Ws: P. seco del espécimen (g)

Yw: densidad del agua (1g/cm<sup>3</sup>)

OCH: Optimo contenido de humedad del (ensayo Proctor).

#### Densidad humedad.

$$yh = \frac{Wn}{Vm} \quad ( 4 )$$

Donde:

Wh: Peso húmedo de la muestra (g)

Vm: Vol. Del molde (m3).

#### **Humedad de verificación de compactación.**

$$\%Wc = \frac{Wh - Ws}{Ws} \times 100 \quad ( 5 )$$

#### **Densidad seca de verificación de compactación.**

$$yd = \frac{yh}{1 + wc/100} \quad ( 6 )$$

#### **Expansión.**

$$\% \text{Expansion} = \frac{l2 - l1}{H} \times 100 \quad ( 7 )$$

Donde:

L1: Medición inicial en milímetros.

L2: Medición final en milímetros.

H: Altura del espécimen compactado

### **3.2.2 Curva de esfuerzo – deformación.**

La curva de esfuerzo-deformación ilustra la manera en que un material reacciona ante una carga aplicada, mostrando la relación entre la magnitud del esfuerzo y la deformación o cambio en su forma que este provoca. Es fundamental en el análisis del comportamiento mecánico de suelos y materiales de construcción, proporcionando información sobre su resistencia, elasticidad y ductilidad, el análisis también resalta que los valores del CBR pueden presentar variaciones notables según las condiciones de lo que requiere un control riguroso durante las pruebas (Quispe, 2020).

Calculo y gráficos.

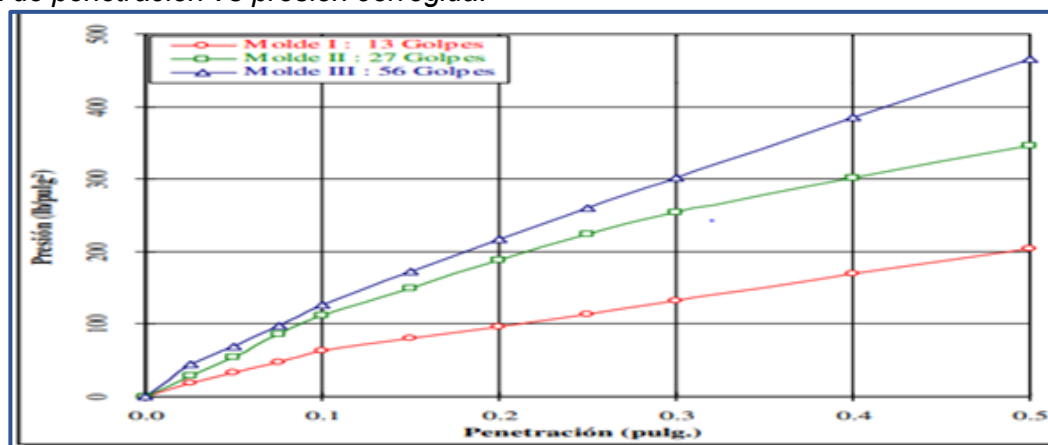
$$\% CBR(0.1'') = \frac{\sigma (0.1'')}{1000psi} \times 100 \quad ( 8 )$$

$$\% CBR(0.2'') = \frac{\sigma (0.2'')}{1500psi} \times 100 \quad ( 9 )$$

Con ( $\sigma$ ): esfuerzo a la penetración expresado en psi.

**Figura 1:**

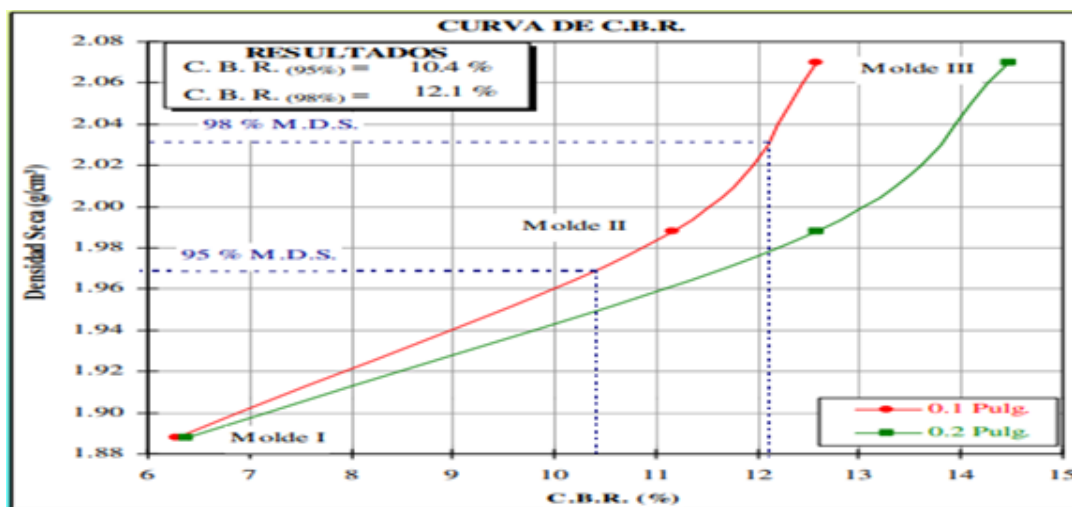
*Curva de penetración vs presión corregida.*



*Nota: La figura presenta los resultados derivados de las pruebas de laboratorio efectuadas sobre suelos y pavimentos, los cuales se basan en los hallazgos obtenidos en investigaciones previas desarrolladas por diversos autores especializados en el análisis del comportamiento mecánico de materiales utilizados en estructuras viales (Quispe, 2020).*

**Figura 2:**

*Curva de densidad máxima seca vs CBR.*



*Nota: la figura muestra el CBR para (95% MDS, penetración 0.1") y CBR para (98%*

*MDS, penetración 0.1") (Quispe, 2020).*

### 3.2.3. Valores de CBR que identifica la resistencia del suelo.

La evaluación de la resistencia o capacidad portante de una subrasante se realiza a través del ensayo de CBR, aplicando los procedimientos técnicos definidos en la normativa vigente.

**Tabla 1:**

*Coeficientes de capacidad de carga ajustados según los criterios propuestos por Terzaghi.*

<b>Grados de sub rasante</b>	<b>CBR</b>
S5: subrasante excelente	CBR >30%
S4: subrasante muy buena	CBR (20% - 30%)
S3: subrasante buena	CBR (10% - 20)
S2: sub rasante regular	CBR (6% - 10%)
S1: subrasante baja	CBR (3% - 6%)
S0: subrasante pobre	CBR (< 3%)

*Nota: Los datos presentados en la tabla han sido obtenidos del manual de carreteras: (MTC) en su versión correspondiente al año 2014.*

### 3.2.4. Límite de Atterberg método estándar (ASTM D 4318).

#### Contenido de humedad.

$$W(\%) = \frac{p. \text{ de suelo humedo} - p. \text{ de suelo seco al horno}}{p. \text{ de suelo seco al horno}} \quad ( 10 )$$

#### Límite líquido (un punto).

El límite líquido se considera como el contenido de humedad a partir del cual el suelo deja de mostrar características plásticas y pasa a comportarse de forma más fluida. Este valor se obtiene mediante el ensayo de un solo punto, conforme a los procedimientos establecidos en la norma ASTM D4318, la cual determina la cantidad de agua requerida para que el material adquiera una consistencia determinada (Pareja, 2022).

$$Ll = w^n * \left(\frac{N}{25}\right)^{0.121} \quad ( 11 )$$

$$LL = KW^n \quad ( 12 )$$

Donde:

$W^n$ : contenido de humedad del espécimen para n golpes.

**N**: número de golpeteos necesarios para cerrar la ranura.

**K**: factor de corrección

**Figura 3:**  
Factor de corrección k.

N (Numero de golpes)	K (Factor para límite líquido)
20	0,974
21	0,979
22	0,985
23	0,990
24	0,995
25	1,000
26	1,005
27	1,009
28	1,014
29	1,018
30	1,022

*Nota: La figura muestra la corrección realizada conforme a los criterios técnicos establecidos en el manual de ensayo (MTC), edición 2016.*

#### **Límite líquido (multipunto).**

Se representa en una gráfica semilogarítmica, donde el eje vertical corresponde al contenido de humedad y el eje horizontal al número de golpes, como se muestra en la figura 4. El límite líquido se identifica en el punto que corresponde al valor de humedad obtenido con 25 golpes (Marín, 2023).

**Figura 4:**

*Gráfico para la determinación del L. líquido*



**Nota:** En la figura se muestra valor de límite líquido perteneciente a los 25 golpes (Marín, 2023).

### 3.2.5. Relación entre el grado de expansión y el límite líquido.

La relación entre el límite líquido y el grado de expansión es clave para entender tanto la clasificación como el comportamiento de los suelos con potencial expansivo. La expansión expresa la tendencia del suelo a aumentar su volumen cuando absorbe agua, fenómeno que puede afectar la estabilidad de las edificaciones o pavimentos.. En términos generales, suelos con valores elevados de LL suelen presentar una mayor tendencia a expandirse, especialmente aquellos que contienen minerales arcillosos como la montmorillonita (Ibarra , 2019).

**Tabla 2:**

*Numero de tamices para el ensayo de granulometría.*

<b>L. líquido (%)</b>	<b>Grado de expansión</b>
0-20	No hay hinchamiento
20-35	Bajo hinchamiento
35-50	Hinchamiento medio
50-70	Alto hinchamiento
70-90	Muy alto hinchamiento
Mayor que 90	Hinchamiento extra alto

*Nota: En la tabla se muestra los datos tomados de, taller básico de mecánica de suelos (Ibarra, 2019).*

### **3.2.6. Limite plástico e índice de plasticidad.**

En el ámbito del diseño de infraestructura vial y sistemas de cimentación, la estabilidad y capacidad del suelo representan factores clave. Para evaluar su resistencia, se emplea comúnmente el ensayo CBR, mientras que el análisis de la subrasante permite interpretar su comportamiento frente a diferentes niveles de carga. La curva esfuerzo-deformación resulta crucial para comprender cómo responde el suelo ante fuerzas externas. En general, materiales con un límite líquido elevado suelen presentar mayor expansión, lo que compromete su estabilidad. Por esta razón, estos criterios resultan esenciales para asegurar la funcionalidad y seguridad en obras de ingeniería civil (Quispe, 2020).

#### **Limite plástico.**

$$LP = \frac{P. del agua}{P. del suelo seco al horno} \times 100 \quad ( 13 )$$

#### **Índice de plasticidad.**

$$IP = L. liquido - L. Plastico \quad ( 14 )$$

**Relación entre el potencial de hinchamiento y el índice plástico.**

**Tabla 3:**

*Relación de factor de expansión y el IP.*

<b>Índice plástico</b>	<b>Potencial de hinchamiento</b>
0-15	Bajo
10-35	Medio
20-55	Alto
35 o mas	Muy alto

*Nota: Los datos presentados en la tabla provienen del taller básico de mecánica de suelos (Quispe, 2020).*

**Límite de contracción.**

El límite de contracción (LC) se define como el contenido mínimo de humedad a partir del cual el suelo ya no experimenta disminución de volumen al secarse debido a la evaporación. Este valor adquiere especial importancia en suelos de grano fino, como los arcillosos, porque evidencia su tendencia a sufrir variaciones volumétricas durante los procesos de secado.

$$\%LC = W - \left[ \frac{(V - V_o) * Y_w}{W_o} \right] x 100 \quad ( 15 )$$

Dónde:

W: contenido de humedad del suelo.

V: vol. De suelo húmedo.

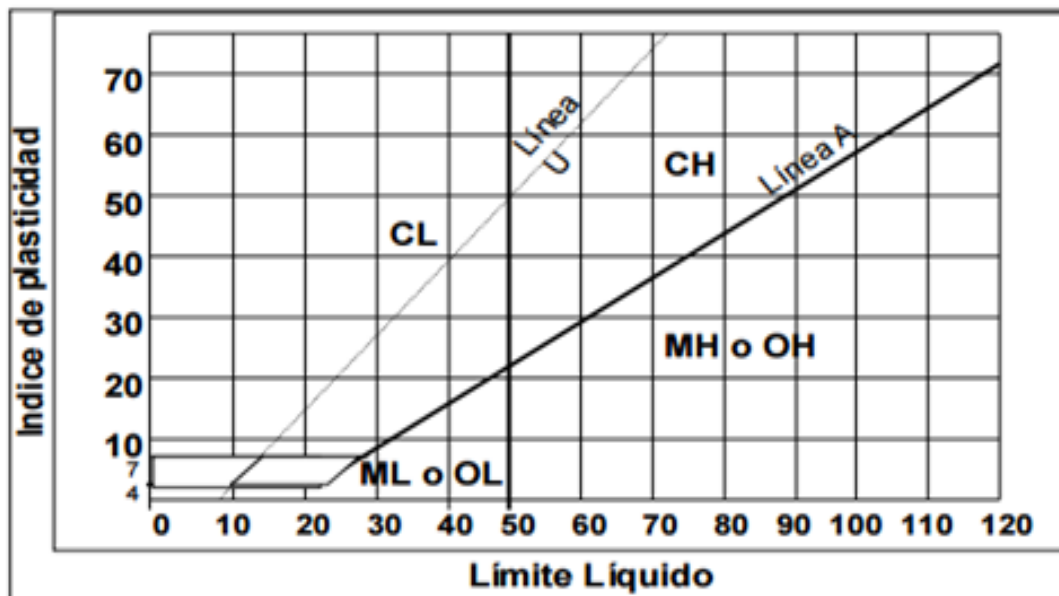
Vo: vol. De suelo seco.

Wo: Peso de suelo seco.

Yw: densidad del agua (1.0g/cm<sup>3</sup>).

### Gráfico de plasticidad (USCS).

**Figura 5:**  
Los Límites de atterberg y la carta de plasticidad de Casagrande.



*Nota: La figura presenta los valores correspondientes a los límites de atterberg (Quispe, 2020).*

### 3.3 Definición de términos

**Suelo:** El suelo constituye la base esencial para la ejecución de las obras de ingeniería, y se distingue por sus propiedades físicas, químicas y mecánicas, las cuales influyen directamente en su desempeño estructural. Desde la perspectiva de la ingeniería civil, su estudio resulta indispensable para garantizar la estabilidad y seguridad de las construcciones, se diferencia de la roca porque sus partículas pueden separarse con facilidad aplicando una fuerza relativamente baja Quispe, (2020).

**Tipos de suelos arcillosos:** El suelo arcilloso con alta plasticidad es aquel que contiene una elevada proporción de partículas finas y presenta una gran capacidad de deformación sin fracturarse cuando está húmedo. Se caracteriza por un índice de plasticidad (IP) alto, alta retención de agua y una significativa expansión y contracción ante cambios de humedad (Pareja, 2022).

**Suelo arcilloso con alta plasticidad:** El suelo arcilloso con alta plasticidad es aquel que contiene una elevada proporción de partículas finas y presenta una gran capacidad de deformación sin fracturarse cuando está húmedo. Se caracteriza por un índice de plasticidad (IP) alto, alta retención de agua y una significativa expansión y contracción ante cambios de humedad (Pozo, 2019)

**Suelo arcilloso colapsables:** Los suelos arcillosos colapsables parecen estables en estado seco, pero al absorber agua sufren una reducción repentina de volumen, perdiendo su estructura. Esto ocurre porque el agua rompe los enlaces débiles entre partículas, provocando asentamientos inesperados (Quispe, 2020).

**Suelo arcilloso expansivos:** Los suelos arcillosos con comportamiento expansivo se distinguen por su habilidad para aumentar de volumen al captar humedad y contraerse cuando esta se evapora, comportamiento vinculado a la presencia de minerales como la montmorillonita. Este tipo de comportamiento genera desplazamientos en el terreno, lo que puede ocasionar fisuras y afectar la integridad de cimentaciones y estructuras (Pareja, 2022).

**Composición de minerales de la arcilla:** La composición de minerales de la arcilla se refiere a los tipos de minerales que conforman las fracciones finas presentes en los suelos arcillosos, que son las responsables de definir sus características físicas y mecánicas. Los principales minerales arcillosos (Pareja, 2022).

**Caolinita:** Es un mineral de arcilla con estructura en capas, baja plasticidad y mínima expansión o contracción, lo que le otorga gran estabilidad. Su fórmula química es  $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$  y se forma por la descomposición de feldespatos en ambientes con baja actividad química. Debido a su estabilidad, se emplea en la industria cerámica, papelera y cosmética, además de ser un indicador de suelos con menor expansividad en ingeniería geotécnica (Solorio, 2019).

**illita:** Es un mineral de arcilla con estructura en capas y una plasticidad moderada, que presenta expansión y contracción limitadas en comparación con la montmorillonita. Su

composición química incluye silicatos de aluminio, potasio y magnesio, y se forma en ambientes marinos o con alteración de feldespatos y micas. En geotecnia, su presencia indica suelos con estabilidad intermedia, siendo menos expansivos que la montmorillonita, pero más plásticos que la caolinita (Sánchez, 2019).

**Cloruro de sodio (NaCl):** Es un mineral de arcilla con estructura en capas y una plasticidad moderada, que presenta expansión y contracción limitadas en comparación con la montmorillonita. Su composición química incluye silicatos de aluminio, potasio y magnesio, y se forma en ambientes marinos o con alteración de feldespatos y micas. En geotecnia, su presencia indica suelos con estabilidad intermedia, siendo menos expansivos que la montmorillonita, pero más plásticos que la caolinita (Sánchez, 2019).

**Composición del cloruro de sodio:** El cloruro de sodio es una sal inorgánica formada por iones de sodio ( $\text{Na}^+$ ) y cloro ( $\text{Cl}^-$ ) dispuestos en una red cristalina uniforme. Destaca por su notable solubilidad en agua y por su propiedad higroscópica. Este compuesto se encuentra comúnmente en ambientes naturales, como en aguas salinas y en depósitos minerales conocidos como halita. Gracias a su estabilidad química, el NaCl tiene múltiples aplicaciones, una de sus aplicaciones más relevantes, donde se emplea como agente estabilizador para optimizar el desempeño y las propiedades de los suelos (Pozo, 2019)

**Concentración del cloruro de sodio en el suelo:** La cantidad de cloruro de sodio incorporada al suelo se determina en relación con su masa total. La dosis utilizada puede variar significativamente de acuerdo con los requerimientos propios del proyecto y las condiciones específicas que presente el suelo (Quispe, 2020)

**Efectos del cloruro de sodio sobre las propiedades del suelo:** La influencia del cloruro de sodio en el suelo varía según su concentración, pudiendo modificar tanto sus características físicas como químicas. Cuando se utiliza en bajas proporciones, contribuye a mejorar la compactación y estabilidad del terreno al disminuir su plasticidad. Sin embargo, en dosis elevadas puede generar salinización, afectando la capacidad del suelo para conservar la humedad y modificando su estructura interna y reduce la disponibilidad

de nutrientes para la vegetación. Asimismo, puede influir en la variación de la permeabilidad del suelo y favorecer la corrosión de elementos estructurales que estén en contacto directo con él (Solorio, 2017).

**Estabilización del suelo:** Se trata de un procedimiento destinado a optimizar las propiedades físicas y mecánicas del suelo, con el propósito de incrementar su resistencia, capacidad de soporte y durabilidad. Para ello, se aplican métodos químicos como la incorporación de cal, cemento o cloruro de sodio y técnicas mecánicas, entre ellas la compactación. Este proceso es esencial en la ingeniería civil, pues asegura la estabilidad y el adecuado desempeño de las estructuras superficies de rodadura, reduciendo asentamientos y optimizando el desempeño del terreno frente a cargas estructurales y condiciones ambientales adversa (MTC, 2014).

**Valor de soporte de california (CBR):** Es un indicador empleado para evaluar la resistencia de un suelo en relación con un material patrón de alta capacidad portante. Su determinación se realiza a través del ensayo CBR, siguiendo los procedimientos establecidos en la norma ASTM D1883, que compactado frente a una carga determinada. El resultado se expresa en porcentaje y tiene un papel esencial en el diseño de pavimentos, al ofrecer datos relevantes sobre la capacidad del terreno para resistir cargas estructurales y de tránsito (Pareja, 2022)

**Límites de Atterberg:** Estos indicadores ayudan a identificar los diversos grados de consistencia que puede alcanzar un suelo fino según su nivel de humedad. El límite líquido (LL) marca el instante en que el material pierde su plasticidad y comienza a comportarse como un fluido. Por otro lado, el límite plástico (LP) establece el cambio entre un estado semisólido y otro plástico. Finalmente, el límite de contracción (LC) señala cuando el suelo ya no disminuye su volumen, a pesar de seguir perdiendo agua. Estos parámetros son esenciales para clasificar y analizar suelos dentro del ámbito de la ingeniería geotécnica y las obras civiles (Pareja, 2022).

**Afirmado:** Se trata de una capa compuesta por material granular correctamente compactado, utilizada en la construcción de caminos y carreteras sin pavimentar. Su principal propósito es proporcionar una superficie firme y estable que soporte adecuadamente el tránsito, además de contribuir al mejoramiento de la capacidad portante del suelo y favorecer el drenaje. Se compone de una combinación de grava, arena y partículas finas y su correcta compactación es crucial para reducir la erosión y garantizar la durabilidad de la vía (Huerta, 2022).

**Base:** Corresponde a la capa intermedia del pavimento, situada entre la subrasante o subbase y la superficie de rodadura, asegurando la estabilidad estructural del conjunto y proporcionando resistencia ante los esfuerzos generados por el tráfico vehicular. Esta capa puede estar compuesta por materiales granulares o estabilizados mediante el uso de cemento, cal u otros aditivos que incrementan su capacidad portante. Un diseño adecuado y un control riguroso del proceso de compactación son fundamentales para garantizar la resistencia y prolongar la durabilidad del pavimento bajo diversas condiciones de servicio Marín, (2023).

**Subbase:** Se trata de una capa estructural del pavimento. Está conformada por materiales granulares, como grava o arena estabilizada, y debe ser compactada apropiadamente para prevenir deformaciones diferenciales y aumentar la vida útil de la vía (Pozo, 2019)

**Subrasante:** Se encuentra por debajo de la base o subbase y tiene la función de absorber y transmitir las cargas generadas por el tránsito hacia el suelo natural, minimizando las deformaciones y asegurando la estabilidad estructural del pavimento (Pozo, 2019)

Resistencia al corte y permeabilidad, son cruciales para el rendimiento del pavimento. En suelos con baja capacidad de carga, es frecuente emplear métodos de estabilización utilizando cloruro de sodio, cemento u otros agentes para incrementar su resistencia y

durabilidad. Un diseño adecuado y un control de calidad riguroso en la subrasante son esenciales para evitar fallos tempranos en carreteras y estructuras (Huerta, 2022).

## **VI. Metodología**

### **4.1 Tipo y nivel de investigación**

#### ***Tipo de Investigación***

**Aplicada:** Esta tesis adopta un enfoque de carácter aplicado, puesto que se orienta a examinar de manera específica el efecto del cloruro de sodio en la subrasante, con el objetivo de optimizar sus propiedades geotécnicas. El estudio se desarrollará en un área específica donde no existen antecedentes que evalúen el efecto de este tipo de estabilizante sobre la capacidad portante del suelo.

. El objetivo es generar información relevante y proponer soluciones prácticas que mejoren el rendimiento de la subrasante y aseguren su estabilidad en proyectos de infraestructura vial (Astocondor, 2020).

**Explicativo:** Este estudio se enmarca dentro del tipo explicativo, puesto que busca determinar las causas y efectos asociados a un fenómeno específico. Este enfoque se centra en comprender las relaciones causales entre variables dentro de un contexto específico. (Hernández & Baptista, 2020).

### **4.2 Ámbito temporal y espacial**

#### ***Temporal***

Este informe de tesis fue desarrollado desde la autorización del proyecto de tesis, cubriendo el periodo comprendido entre 2023 y 2024.

#### ***Espacial***

La tesis se desarrolló en la Avenida Rinconcito Abanquino, situada en el sector de Molinopata Baja, dentro de la ciudad de Abancay, en la región de Apurímac.

### **4.3 Población y muestra**

#### ***Población***

La población de estudio comprendió toda la carretera desde el kilómetro 0+00 hasta el kilómetro 0+979 de la Av. Rinconcito Abanquino-Abancay-Apurímac. La elección de esta zona se basó en su relevancia dentro de la red vial local y en la necesidad de fortalecer la estabilidad de su subrasante. La identificación de sectores críticos en la infraestructura vial resulta fundamental para enfocar las intervenciones que garanticen la seguridad y prolonguen la vida útil de las carreteras, especialmente en áreas con suelos de comportamiento complejo o condiciones geotécnicas desfavorables (Hernández & Baptista, 2020).

#### ***Muestra***

La muestra representa una porción elegida del universo de estudio, donde se recopilan, definen y delimitan con exactitud los datos requeridos. Es esencial que la muestra seleccionada represente adecuadamente a la población, ya que esto permite que los resultados obtenidos puedan generalizarse al conjunto analizado. Disponer de una muestra representativa resulta fundamental para asegurar la validez y fiabilidad de los resultados, especialmente en investigaciones de carácter aplicado que buscan resolver problemas específicos (Hernández & Baptista, 2020).

### **4.4 Instrumentos**

#### ***Recolección de datos***

De acuerdo con Sampieri (2018), La obtención de datos se realizó mediante el uso de instrumentos elaborados para registrar y analizar información pertinente a las variables estudiadas en la muestra seleccionada.

- Formato para ensayo de análisis granulométrico por tamizado. MTC E 107.
- Formato para ensayo de contenido de humedad del suelo. MTC E 108.
- Formato para ensayo límites de Atterberg. MTC E 110, MTC E 111.
- Formato para ensayo Proctor modificado. MTC E115.

- Formato para ensayo de relación de soporte de california (C.B.R.). MTC E 132.

La validación de los formatos utilizados para la recopilación de datos fue realizada por especialistas en ingeniería civil, quienes revisaron y realizaron los ajustes necesarios al instrumento antes de su aprobación final. (Hernández & Baptista, 2020).

#### **4.5 Procedimientos**

Los procedimientos de esta investigación se desarrollaron en etapas bien definidas, cumpliendo con las disposiciones del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) y las normas ASTM aplicables al estudio de suelos. A continuación, se describen las fases que conformaron el proceso experimental (Pozo 2019)

**Recolección de muestras:** Se adquirieron 8 kilogramos de cloruro de sodio, comúnmente conocido como sal común, en su estado sólido y cristalino, con una pureza del 99.9%. Este material fue suministrado por un distribuidor local del distrito de Mara, en la región de Cusco, Perú. Se presentó en cristales blancos, secos y sin impurezas, listos para su utilización (Pozo, 2019)

**Muestra del cloruro de sodio:** El cloruro de sodio se sometió a un proceso de transformación mediante la trituración hasta obtener partículas finas y posteriormente tamizado con un tamiz de malla N° 40. El material que atravesó la malla se utilizó para la incorporación y mezcla con el suelo arcilloso, asegurando una distribución uniforme del estabilizante en el material (Hernández & Baptista, 2020).

**Muestra del suelo natural:** Después de ser extraídas, las muestras se colocaron en bolsas plásticas herméticamente selladas y posteriormente en sacos para facilitar su traslado, siguiendo el procedimiento indicado en el método B de la norma MTC 104. En el laboratorio, las muestras fueron secadas al aire sobre una superficie nivelada, desmenuzadas y sometidas al cuarteo manual de acuerdo con el método B de la norma MTC 105, con el fin de obtener una porción representativa para los ensayos correspondientes (Pozo, 2019)

**Dosificación del cloruro de sodio a muestra natural:** En el análisis de mecánica de suelos se definieron tres concentraciones de cloruro de sodio: 5%, 10% y 15%, calculadas en función del peso seco del suelo arcilloso. Estas dosificaciones se establecieron con el propósito de examinar gradualmente la influencia del NaCl en las propiedades físicas y mecánicas del material (More & Ydrogo, 2020)

**Tabla 4:**

*Dosificación del cloruro de sodio en peso al suelo natural (SN).*

<b>Ensayos</b>	<b>SN</b>	<b>NACI</b>	<b>SN</b>	<b>NACI</b>	<b>SN</b>	<b>NACI</b>	<b>SN</b>	<b>NACI</b>
	<b>100%</b>	<b>0%</b>	<b>98%</b>	<b>5%</b>	<b>96%</b>	<b>10%</b>	<b>94%</b>	<b>15%</b>
Ensayo de granulométrica	1000g	0g	980g	20g	960g	40g	940	60g
Ensayo límites de Atterberg	250g	0g	245g	5g	240g	10g	235g	15g
Ensayo Proctor modificado	4500g	0g	4410g	90g	4320g	180g	4230	270g
Ensayo de CBR	4500g	0g	4410g	90g	4320g	180g	4230	270g

*Nota: La tabla presenta las dosificaciones de cloruro de sodio añadidas al suelo natural, correspondientes a concentraciones del 5%, 10% y 15%.*

**Procedimiento de ensayos de laboratorio con las muestras combinadas del cloruro de sodio:** Considerando las propiedades mecánicas del suelo, especialmente el índice CBR y los límites de Atterberg, se optó por realizar el estudio en la calicata que mostraba las condiciones más críticas. En este contexto, se eligió la calicata C-01 para llevar a cabo el tratamiento correspondiente. Se trabajó con tres muestras, a las cuales se les añadieron distintas concentraciones de cloruro de sodio: 5%, 10% y 15% (Pozo 2019)

**Ensayo de análisis granulométrico:** De acuerdo con lo establecido en la norma MTC E 107, se realizó un ensayo granulométrico por tamizado hasta la malla N.º 200 (74 µm), con el fin de evaluar la distribución de los tamaños de partícula en muestras de suelo tratadas con NaCl en concentraciones del 5%, 10% y 15%. Este estudio permitió analizar el impacto de estas proporciones en propiedades críticas del suelo, como cohesión,

resistencia y capacidad portante, aspectos fundamentales para el diseño y construcción de obras viales. (Pozo, 2019) .

**Tabla 5:**

*Gradación por tamizado del suelo con adición en diferentes % cloruro de sodio.*

Tamiz	Abertura (mm)	Porcentaje que pasa			
		% Q. pasa para (SN+0%)	% Q. pasa para (SN+5%)	% Q. pasa para (SN+10%)	% Q. pasa para (SN+15%)
3/4"	19.0mm	100%	100%	100	100
5/8"	16.0mm	100%	100%	100	100
1/2"	12.7mm	97.10%	96.20%	96.70%	95.60%
3/8"	9.50mm	94.20%	92.60%	92.50%	91.10%
1/4"	6.35mm	90.30%	88.40%	88.20%	86.30%
#4	4.75mm	87.40%	83.0%	82.80%	80.40%
#10	2.00mm	77.80%	72.70%	72.70%	71.10%
#20	0.85mm	70.20%	62.10%	62.0%	60.20%
#40	0.42mm	61.50%	49.80%	50.40%	47.50%
#80	0.18mm	56.50%	42.50%	41.30%	37.60%
#100	0.15mm	53.20%	38.30%	36.80%	31.70%
#200	0,075mm	51.40%	35.60%	33.80%	27.30%
< # 200	fondo	51.00%	35.30%	33.40%	27.0%

*Nota: En la tabla muestra datos del % que pasa del ensayo por tamizado para muestras con niveles de tratamiento de (0%, 5%, 10%, 15%).*

**Compactación de suelo ensayo de Proctor Modificado:** Siguiendo lo establecido en la norma MTC E-115, se llevó a cabo la determinación de la densidad seca máxima (DMS) y de la humedad óptima (OCH) en muestras de suelo tratadas con cloruro de sodio en proporciones del 5%, 10% y 15%. El procedimiento inició con el tamizado del material utilizando el Tamiz N.º 4, para posteriormente preparar las muestras con diferentes niveles de contenido de humedad. (More & Ydrogo, 2020)

**Exploración y extracción de muestras de suelo arcilloso:** Se obtuvieron excavando tres calicatas a cielo abierto en la Av. Rinconcito Abanquino. Este procedimiento permitió extraer material representativo del terreno natural para su posterior análisis en laboratorio. Cada una alcanzó una profundidad de 1.5 metros, extrayéndose

alrededor de 50 kg de suelo por muestra. Posteriormente, las muestras fueron selladas, etiquetadas y trasladadas al laboratorio bajo condiciones controlada (Pozo 2019) .

**Ensayo relación de soporte de califonia (CBR):** En mi investigación, seguí la norma MTC E 132 para analizar suelos estabilizados con NaCl en proporciones del 5%, 10% y 15%. Se aplicó el ensayo Proctor modificado con el propósito de determinar la humedad óptima y la densidad seca máxima de cada mezcla. Las muestras fueron compactadas en capas dentro de un molde cilíndrico, aplicando golpes uniformes, lo que permitió establecer la relación entre el peso específico, las condiciones de compactación, la humedad y la resistencia del material. Posteriormente, las probetas se sumergieron durante cuatro días para simular condiciones desfavorables y analizar su comportamiento frente a la expansión. Finalmente, se determinó el valor del CBR al 95% y 100% de la densidad seca máxima, registrando las deformaciones de 0.1 y 0.2 pulgadas bajo presiones de 1000 psi y 1500 psi, respectivamente (Pozo, 2019)

**Ensayo de límite de Atterber:** con el fin de analizar la influencia de dichas dosificaciones en el comportamiento plástico del material. Las muestras fueron previamente tamizadas con la malla N° 40 y luego mezcladas con agua destilada, asegurando una distribución homogénea de la humedad. El límite líquido (LL) se determinó empleando el dispositivo de Casagrande, registrando la humedad en el punto en que el surco de la muestra se cerró tras 25 golpes. Por su parte, el límite plástico (LP) se obtuvo moldeando el suelo en filamentos de aproximadamente 3.2 mm de diámetro, los cuales se secaron hasta alcanzar una masa constante. (More & Ydrogo, 2020)

#### **4.6 Análisis de datos.**

Para el procesamiento de los datos se empleó un diseño de análisis de varianza con medidas repetidas (ANOVA MR), dado que se efectuaron múltiples observaciones dentro del mismo grupo bajo diferentes niveles de tratamiento. A continuación, se presenta el modelo estadístico aplicado en dicho análisis.

**Tabla 6:***Elementos del ANOVA MR.*

<b>Fuente de variación</b>	<b>S.C</b>	<b>gL</b>	<b>varianza</b>	<b>sig.</b>
Entre grupos	$CS_e = \sum \frac{T^2}{n} - \frac{G^2}{N}$	$gle = k - 1$	$CS_e^2 = \frac{SC_e}{gle}$	<i>p - value</i>
Intra grupos	$CS_i = CS_1 + CS_2 + CS_K$	$gli = k(n - 1)$		
Varianza total	$CS = CS_e - CS_i$	$gl = kn - 1$	$F = \frac{CS_e^2}{S_{error}^2}$	<i>p - value</i>
Entre sujetos	$CS_{es} = \sum \frac{p^2}{k} - \frac{G^2}{N}$	$gles = n - 1$		
error	$CS_{error} = CS_i - CS_{es}$	$gl_{error} = gle - gli$	$S_{error}^2 = \frac{SC_{error}}{gl_{error}}$	<i>p - value</i>

*Nota: En la tabla representa el grado de libertad, Sig. indica el grado de significancia y S.C. corresponde a la suma de cuadrado.*

Antes de realizar la prueba de hipótesis según el diseño seleccionado, es fundamental verificar tres supuestos. Con este objetivo, se empleó el software SPSS Statistics, donde se realizaron a cabo distintas pruebas estadísticas: Shapiro-Wilk para verificar la distribución normal de los datos, Levene para analizar la igualdad de varianzas y Mauchly para comprobar el supuesto de esfericidad. Luego de estas evaluaciones, se procedió a aplicar el análisis de varianza conmigo.

#### **4.7 Consideraciones Éticas**

Un procedimiento de investigación aprobado éticamente puede lograr un estándar ético más alto entre los investigadores. La ética constituye un elemento esencial que asegura que las investigaciones se desarrollen de forma transparente, imparcial y en pleno respeto de los derechos de las personas involucradas. Por lo tanto, es crucial que un investigador demuestre sus más altos principios morales al desarrollar cualquier indagación, asegurando la integridad, transparencia y responsabilidad en cada etapa del proceso.

## V. Resultados y discusión

### 5.1 Resultados

#### 5.1.1 Resultados de los ensayos del suelo natural.

Los resultados fueron estructurados conforme a los objetivos específicos del estudio, evaluando tres muestras de suelo tratadas con diferentes porcentajes de cloruro de sodio (NaCl): 5%, 10% y 15%. Se decidió realizar el análisis en la calicata C-03, por ser la que mostraba las condiciones más desfavorables del terreno.

**Tabla 7:**

*Resultado de los ensayos del grupo aptaron.*

Características	Grupo Patrón - Calicata C-01		
	M1	M2	M3
Clasificación SUCS	SC	SC	CL
Clasificación AASHTO	A-4 (2)	A-6 (1)	A-6 (7)
Humedad natural (%)	11.63	10.78	12.90
Límite líquido (%)	27.20	27.10	28.50
Límite plástico (%)	16.34	16.04	16.34
Índice de plasticidad	10.86	11.06	12.16
Densidad Máxima Seca (gr/cm <sup>3</sup> )	–	–	1.937
Contenido Óptimo de Agua (COA) (%)	–	–	12.00
California Bearing Ratio (CBR) – al 95%	–	–	3.05
California Bearing Ratio (CBR) – al 100%	–	–	6.2

*Nota: La tabla presenta los resultados de las propiedades físicas y mecánicas de la subrasante, proporcionando una visión clara de su comportamiento en condiciones específicas.*

### 5.1.2 Resultado de la dosificación óptima de cloruro de sodio para como estabilizante de la subrasante.

De acuerdo con lo dispuesto en la norma MTC E-132, se efectuaron ensayos de CBR (California Bearing Ratio) tanto en muestras de suelo natural como en aquellas tratadas con cloruro de sodio en concentraciones del 5%, 10% y 15%. El objetivo fue analizar cómo influye este aditivo en la resistencia y capacidad de soporte del terreno.

**Tabla 8:**

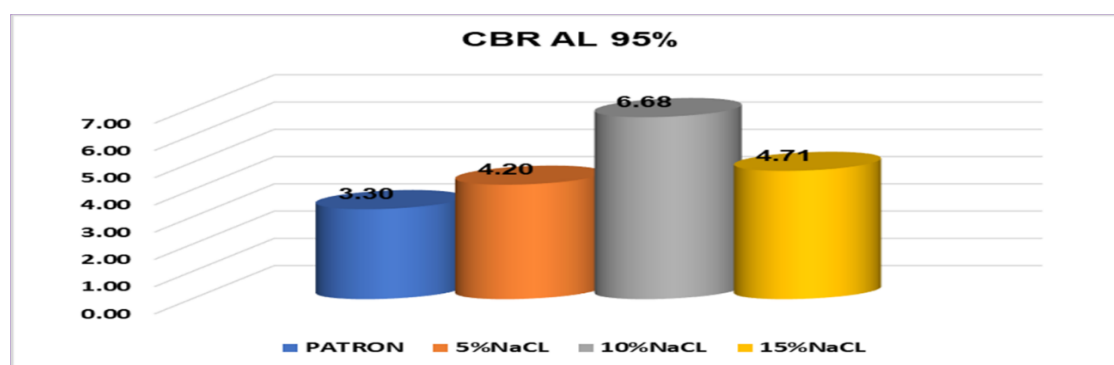
*Resultado de (CBR) al 95% DMS, 1" de penetración*

Suelo natural (SN) con % de adición de cloruro de sodio (NaCl)				
N.º				
MUESTRA	PATRON	5%NaCL	10%NaCL	15%NaCL
M-1	3.05	4.00	6.10	4.40
M-2	3.13	4.11	6.33	4.57
M-3	3.29	4.26	6.75	4.79
M-4	3.47	4.37	7.07	4.95
CBR promedio al 95%DMS,1"	3.58	4.26	7.15	4.84

*Nota: La tabla se muestra los resultados de penetración al 95%.*

**Figura 6:**

*Resultado – del (CBR) al 95% DMS 1" de penetración.*



*Nota: Se observa en la figura muestras las diferentes variaciones del CBR al 95% en función de las adiciones del NaCL.*

Según la tabla N°08 y la figura N°6, el CBR promedio al 95% varía según la concentración de cloruro de sodio (NaCl). Las adiciones del 5%, 10% y 15% presentan valores de 3.30%, 4.20%, 6.68% y 4.71%, respectivamente. Se observa que el CBR al 95% alcanza su valor máximo con un 10% de NaCl (6.68%); sin embargo, al superar esta concentración, la tendencia muestra una disminución en el CBR.

**Tabla 9:**

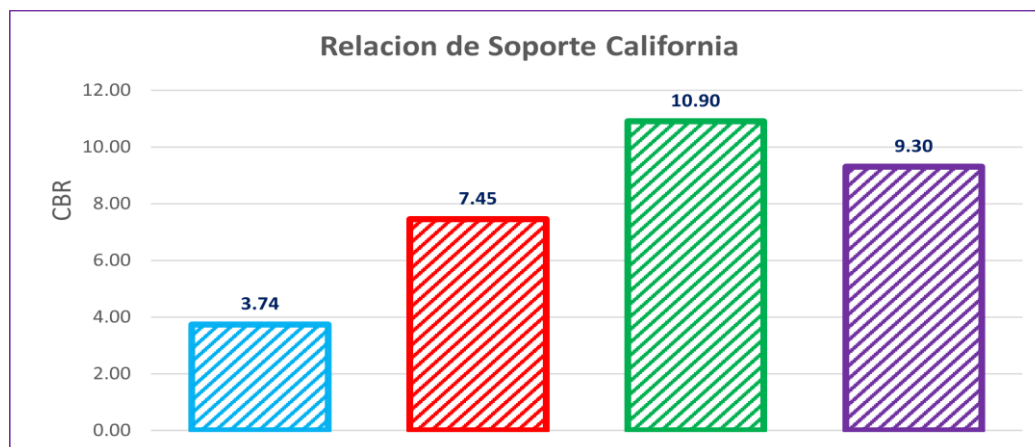
Resultado – (CBR) al 100% DMS, 1" de penetración.

<b>Suelo natural (SN) con % de adición de cloruro de sodio (NaCl)</b>				
Muestra	PATRON	5%NaCL	10%NaCL	15%NaCL
M-1	2.85	0.08	0.18	0.78
M-2	12.33	7.20	6.55	10.06
M-3	17.80	19.11	17.67	18.74
M-4	10.99	8.80	8.13	9.86
CBR promedio al 100%DMS, 1"	2.85	0.08	0.18	0.78

Nota: Muestran variabilidad en la mejora del CBR con NaCl, sin una tendencia clara de optimización al 100% DMS

**Figura 7:**

Resultado - (CBR) al 100 DMS, 1" de penetración.



Nota: La figura presenta los resultados del ensayo CBR, evidenciando la respuesta del suelo ante las diferentes concentraciones de cloruro de sodio aplicadas.

### 5.1.3 Resultado del impacto del cloruro de sodio en las propiedades físicas del suelo como índice de plasticidad y la densidad seca máxima, en la subrasante.

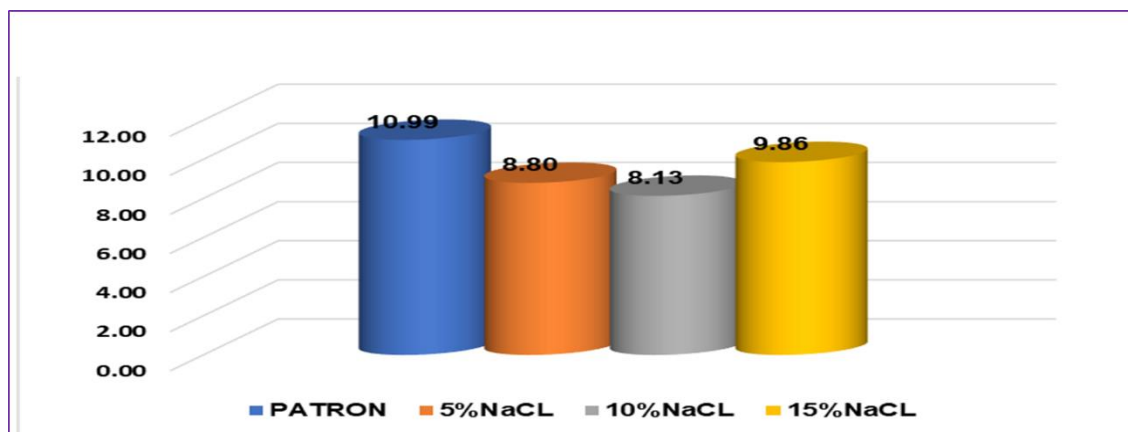
A partir de los resultados obtenidos, fue posible analizar su comportamiento estructural frente a las distintas dosificaciones aplicadas, se pudo evaluar la efectividad del NaCl como material estabilizante, resaltando su capacidad para disminuir la plasticidad y optimizar la respuesta del suelo frente al proceso de compactación.

**Tabla 10:**  
*Resultado - Limite liquido de suelo.*

Suelo natural (SN) con % de adición de cloruro de sodio (NaCl)				
Muestra	SN+0% patrón	SN+5%	SN+10%	SN+15%
M-1	2.85	0.08	0.18	0.78
M-2	12.33	7.20	6.55	10.06
M-3	17.80	19.11	17.67	18.74
<b>L. liquido promedio</b>	<b>10.99</b>	<b>8.80</b>	<b>8.13</b>	<b>9.86</b>

*Nota: En la tabla se presentan los resultados obtenidos luego de agregar cloruro de sodio al suelo en su estado original, lo que permite apreciar los cambios en sus propiedades en función de las diferentes concentraciones aplicadas.*

**Figura 8:**  
*Resultado - Límite Líquido del suelo*



**Nota:** La figura presenta las variaciones en el índice de plasticidad en función de las diferentes concentraciones de NaCl añadidas al suelo.

La figura presenta los valores del índice de plasticidad obtenidos para distintas concentraciones de cloruro de sodio (0%, 5%, 10% y 15%), con resultados de 10.99%, 8.80%, 8.13% y 9.86%, respectivamente. Se observa que el valor más elevado corresponde a la muestra sin tratamiento (10.99%) y a la que contiene un 15% de NaCl (9.86%). Además, conforme aumenta la proporción de NaCl, exceptuando la dosificación del 15%, donde se evidencia un leve incremento en comparación con el 10%.

**Tabla 11:**

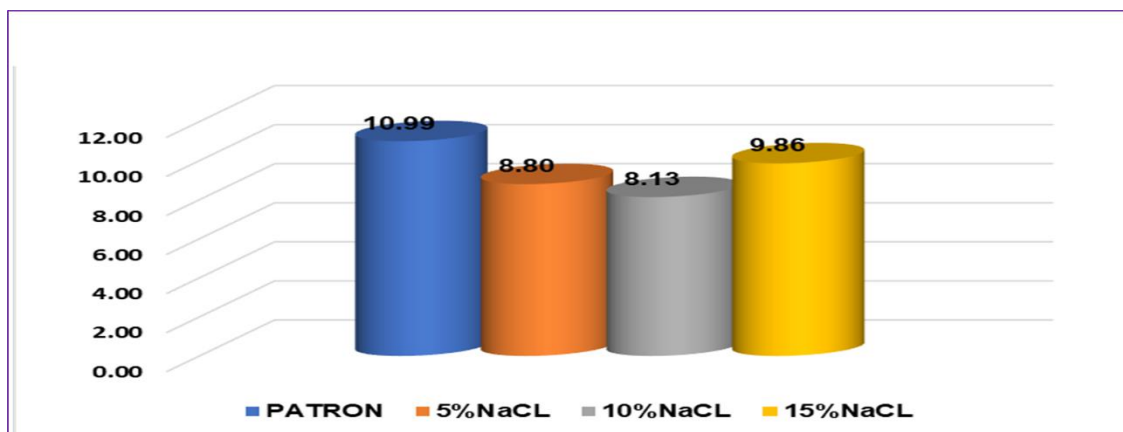
*Resultado - Límite Plástico".*

<b>Suelo natural (SN) con % de adición de cloruro de sodio (NaCl)</b>				
<b>Muestra</b>	<b>PATRON</b>	<b>5%NaCL</b>	<b>10%NaCL</b>	<b>15%NaCL</b>
M-1	2.85	0.08	0.18	0.78
M-2	12.33	7.20	6.55	10.06
M-3	17.80	19.11	17.67	18.74
<b>L. Platico promedio</b>	<b>10.99</b>	<b>8.80</b>	<b>8.13</b>	<b>9.86</b>

*Nota: Elaboración propia.*

**Figura 9:**

*Resultado- Límite plástico*



*Nota: La figura se muestra las diferentes variaciones del índice de plasticidad en función de las adiciones del NaCl.*

La figura 9 se muestran los valores del índice de plasticidad correspondientes a distintas concentraciones de cloruro de sodio (0%, 5%, 10% y 15%), obteniéndose resultados de 10.99%, 8.80%, 8.13% y 9.86%, respectivamente. Se advierte que la muestra sin adición de NaCl presenta el mayor índice de plasticidad (10.99%), mientras que la tratada con un 15% de NaCl exhibe un valor ligeramente superior (9.86%) al registrado con la dosificación del 10%.

**Tabla 12:**

*"Resultado - Índice de Plasticidad del suelo".*

<b>Descripción</b>		<b>Suelo natural (SN) con % de adición de cloruro de sodio (NaCl)</b>			
		<b>PATRON</b>	<b>5%NaCL</b>	<b>10%NaCL</b>	<b>15%NaCL</b>
Límites de Atterberg	L. Líquido	10.99	8.80	8.13	9.86
	L. Plástico	10.99	8.80	8.13	9.86
	I. Plástico	<b>10.99</b>	<b>8.80</b>	<b>8.13</b>	<b>9.86</b>

*Nota: La tabla presenta el Índice Plástico, el cual se obtiene como la diferencia entre el Límite Líquido (L.L.) y el Límite Plástico (L.P).*

**Tabla 13:**

*"Contenido de humedad óptima % de la subrasante".*

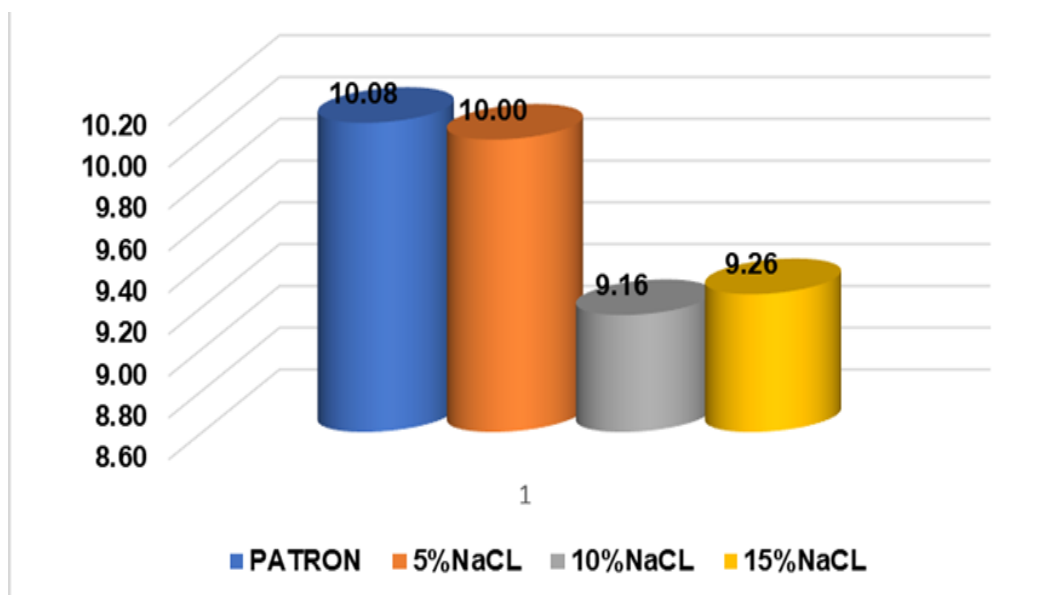
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD ÓPTIMA %</b>				
<b>Nº MUESTRA</b>	<b>PATRON</b>	<b>5%NaCL</b>	<b>10%NaCL</b>	<b>15%NaCL</b>
M1	6.20	5.80	5.30	5.00
M2	8.20	8.00	7.20	7.40
M3	9.90	10.00	9.20	8.90
M4	12.10	12.20	11.40	11.40
M5	14.00	14.00	12.70	13.60
<b>MEDIA</b>	<b>10.08</b>	<b>10.00</b>	<b>9.16</b>	<b>9.26</b>

*Nota: En la tabla se exponen los valores de la humedad óptima, expresados en porcentaje, correspondientes a las distintas concentraciones de NaCl.*

La tabla 13 muestra los valores del porcentaje óptima correspondientes a las diferentes concentraciones analizadas (0%, 5%, 10% y 15% de NaCl), obteniendo resultados de 10.08%, 10.00%, 9.16% y 9.26%, respectivamente. Se aprecia que los valores más elevados corresponden a las muestras con 0% y 5% de NaCl, con 10.08% y 10%, respectivamente. Asimismo, la Figura 3 muestra que, en general, el contenido de humedad óptima se reduce conforme aumenta la concentración de NaCl, con la excepción de la dosificación del 15%, donde se observa un ligero aumento.

**Figura 10:**

*"Resultado - Índice de Plasticidad"*



**Nota:** En la figura se ilustran las variaciones del contenido de humedad óptima en porcentaje según las distintas concentraciones de NaCl.

**Tabla 14:**

*"Densidad máxima seca en gramos por centímetro cúbico de la subrasante."*

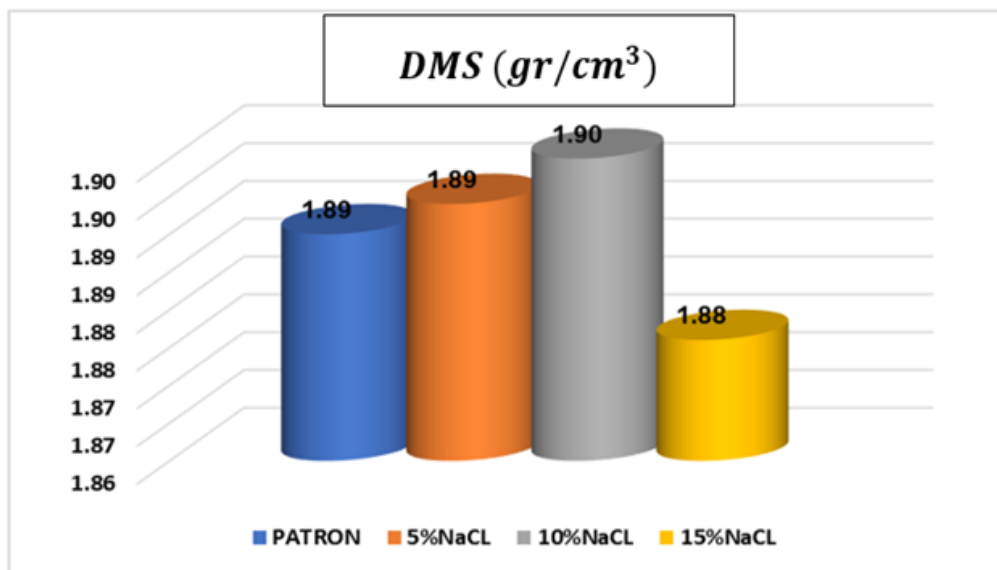
N.º MUESTRA	"DENSIDAD SECA MÁXIMA" gr/cm <sup>3</sup>			
	PATRON	5%NaCL	10%NaCL	15%NaCL
M1	1.83	1.87	1.84	1.84
M2	1.88	1.92	1.91	1.91
M3	1.92	1.94	1.96	1.93
M4	1.93	1.92	1.93	1.90
M5	1.89	1.82	1.86	1.80

MEDIA	1.89	1.89	1.90	1.88
-------	------	------	------	------

*Nota: La figura ilustra cómo varía el porcentaje de humedad óptima en relación con las distintas concentraciones de cloruro de sodio (NaCl).*

**Figura 11:**

*Se muestran los efectos causados por la adición de cloruro de sodio (NaCl) en la densidad máxima seca alcanzada en la capa de subrasante de un terreno.*



*Nota: La figura presenta las fluctuaciones del contenido de humedad óptima, expresado en porcentaje, según las diversas concentraciones de NaCl.*

La tabla 14 muestra los registros de densidad máxima seca, en gr/cm<sup>3</sup>, correspondientes a distintas proporciones de cloruro de sodio (0%, 5%, 10% y 15%). Los valores obtenidos fueron 1,89 gr/cm<sup>3</sup> para las dos primeras dosificaciones, 1,90 gr/cm<sup>3</sup> con un 10% de NaCl, y 1,88 gr/cm<sup>3</sup> al 15%. Se evidencia que la mayor densidad se alcanzó con la adición del 10% de cloruro de sodio.

**5.1.4 Resultado efecto de la estabilización con cloruro de sodio en la relación de soporte de california (CBR) de la subrasante y que porcentaje de mejora se puede esperar en su capacidad portante.**

Siguiendo el procedimiento establecido en la norma MTC E-132, se realizó un análisis con el propósito de evaluar la influencia del cloruro de sodio (NaCl) en la capacidad portante del suelo que compone la subrasante. Para ello, se elaboraron muestras en su estado natural y otras tratadas con concentraciones del 5%, 10% y 15% de NaCl, con el objetivo de examinar las variaciones en la resistencia del material tras el proceso de estabilización.

**Tabla 15:**

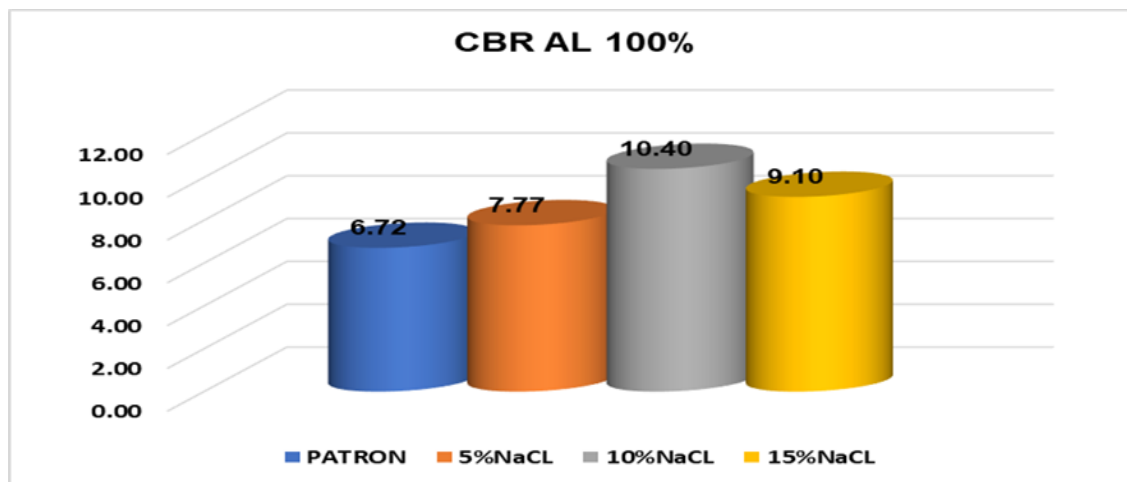
*Se midió el CBR del suelo compactado al 100% de su densidad seca máxima para analizar cómo el cloruro de sodio afecta la resistencia del material estabilizado..*

N.º MUESTRA	CBR AL 100 %			
	PATRON	5%NaCL	10%NaCL	15%NaCL
M1	6.20	7.40	9.50	8.50
M2	6.37	7.60	9.86	8.82
M3	6.68	7.88	10.50	9.25
M4	7.05	8.09	11.02	9.56
M5	7.28	7.88	11.14	9.35
<b>MEDIA</b>	<b>6.72</b>	<b>7.77</b>	<b>10.40</b>	<b>9.10</b>

**Nota:** *En la tabla se presentan los resultados del CBR al 100% con las diversas concentraciones de NaCL añadidas.*

**Figura 12:**

*Resultados de la incorporación de NaCl en el CBR al 100%.*



**Nota:** En la figura se muestran las variaciones del CBR al 100% según las diferentes cantidades de NaCl añadidas.

La tabla 15 presenta los valores del CBR al 100% obtenidos al incorporar diferentes concentraciones de NaCl (0%, 5%, 10% y 15%), con resultados de 6.72%, 7.77%, 10.40% y 9.10%, respectivamente. Se aprecia que el valor máximo de CBR al 100% corresponde a la muestra con una dosificación del 10% de NaCl, alcanzando un resultado de 10.40%.

## **5.2 Resultados y discusiones.**

### **5.2.1 Discusión y resultado de la dosificación óptima de cloruro de sodio para como estabilizante de la subrasante.**

El análisis de los valores de CBR al 95% muestra un aumento en la capacidad de soporte del suelo debido a la adición de diferentes concentraciones de cloruro de sodio. La muestra sin estabilizar registró un CBR de 3.30%, mientras que al añadir 5%, 10% y 15% de NaCl, los valores se elevaron a 4.20%, 6.68% y 4.71%, respectivamente. Se destaca que la concentración del 10% de NaCl ofrece el mejor rendimiento, alcanzando un CBR de 6.68%, lo que indica una estabilización efectiva en comparación con el suelo sin aditivos. En contraste, las concentraciones del 5% y 15% muestran valores similares, con diferencias poco significativas. Esto sugiere que una adición excesiva de NaCl (15%) no genera mejoras sustanciales y, en ciertos casos, podría afectar negativamente la estructura del suelo. Por lo tanto, se recomienda una dosificación óptima del 10% de NaCl, ya que maximiza la estabilidad de la subrasante sin comprometer su resistencia estructural.

Gianella & Rafaele, (2023) se analizó el impacto del cloruro de sodio en suelos arcillosos, evidenciando que la incorporación de NaCl en concentraciones entre el 5% y 10% mejoró el CBR, registrando incrementos que oscilaron entre 4.5% y 7.2%, según las propiedades específicas del suelo. Asimismo, destacaron que la estabilización con NaCl puede mejorar significativamente la capacidad portante, optimizando el desempeño del suelo para aplicaciones viales.

Los resultados del ensayo CBR al 95% indican que la resistencia del suelo mejora significativamente al incorporarle cloruro de sodio en distintas proporciones. En su estado natural, sin ningún aditivo, el suelo presentó un CBR de apenas 3.30%, demostrando su baja capacidad portante inicial, mientras que con la adición de 5%, 10% y 15% de NaCl, los valores aumentaron a 4.20%, 6.68% y 4.71%, respectivamente, lo que hace necesario continuar con investigaciones

complementarias que permitan perfeccionar su uso en distintos escenarios geotécnicos.

### **5.2.2 *Discusión y resultado del impacto del cloruro de sodio en las propiedades físicas del suelo como índice de plasticidad y la densidad seca máxima, en la subrasante.***

El análisis del índice de plasticidad mostró una reducción significativa al añadirse cloruro de sodio (NaCl) al suelo. Al comparar los resultados, se identificó que al aplicar un 10% de NaCl, el índice se redujo a 8.13% desde un valor inicial de 10.99% sin aditivo, lo cual indica una mejora en la respuesta mecánica del material. Asimismo, al emplear dosificaciones de 5% y 15%, los valores obtenidos fueron de 8.80% y 9.86%, respectivamente, mostrando una variación poco significativa entre estos porcentajes. Estos resultados sugieren que la dosificación del 10% de NaCl es la más adecuada para disminuir la plasticidad del suelo analizado.

En relación con (DMS), aumento luego de incorporar cloruro de sodio. El suelo sin aditivo registró una DMS de 1.89 g/cm<sup>3</sup>, mientras que al aplicar una concentración del 10% de NaCl, este valor aumentó a 1.90 g/cm<sup>3</sup>. Aunque el incremento es pequeño, refleja una mejor compactación del material, lo que contribuye favorablemente a su capacidad de soporte y a la estabilidad global de la subrasante.

Ramírez & Soto, (2020) Los resultados demuestran que la incorporación de cloruro de sodio favorece el aumento de la densidad seca máxima y la reducción del índice de plasticidad en suelos con contenido arcilloso, lo cual concuerda con los hallazgos obtenidos en esta investigación. Además, se resalta que la eficacia del NaCl depende de variables como la humedad inicial del suelo y su composición mineralógica, lo que subraya la importancia de realizar evaluaciones particulares según las características de cada terreno.

### **5.2.3 *Discusión y resultado sobre el efecto de la estabilización con cloruro de sodio en la relación de soporte California (CBR) de la subrasante.***

El análisis del CBR al 100% mostró una mejora considerable en la capacidad portante del suelo tras la incorporación de cloruro de sodio (NaCl). Los resultados evidencian que el valor del CBR pasó de 6.72% en el suelo sin aditivos a 10.40% al añadir un 10% de NaCl, lo que demuestra un aumento significativo en la estabilidad de la subrasante. De igual manera, las concentraciones del 5% y 15% alcanzaron valores de 7.77% y 9.10%, respectivamente, indicando que la dosis del 10% es la más adecuada para optimizar la resistencia del material.

En comparación con estudios previos, Pozo (2019) analizó el efecto del NaCl en el CBR al 100%, empleando concentraciones del 2%, 4% y 6%, y registró un valor máximo de 6.44% con el 6% de NaCl, clasificando el material como una subrasante de calidad media. Por otro lado, los resultados obtenidos en esta investigación muestran una mejora más significativa, alcanzando un valor de CBR de 10.40% al adicionar un 10% de cloruro de sodio. Esto sugiere que el aumento en la concentración de NaCl puede favorecer una estabilización más eficiente del suelo, dependiendo de sus características particulares. Aunque las proporciones óptimas varían según cada estudio, existe coincidencia en que la incorporación de NaCl mejora la capacidad portante del terreno.

### 5.3 Prueba de hipótesis.

#### 5.3.1 Prueba de hipótesis 01

El método estadístico ANOVA con medidas repetidas es apropiado para examinar datos recolectados de las mismas unidades experimentales bajo distintos tratamientos o condiciones. Este procedimiento requiere que se cumplan ciertos supuestos para asegurar la fiabilidad y validez de los resultados, los cuales se describen a continuación.

- Prueba de normalidad por Shapiro – Wilk del CBR al 95%:
- Hipótesis nula ( $H_0$ ): Los datos presentan un comportamiento acorde a una distribución normal.
- Hipótesis alternativa ( $H_1$ ): Los datos no se ajustan a una distribución normal.

**Tabla 16:**

*Prueba de esfericidad de Mauchly del CBR al 95.*

Prueba de esfericidad de Mauchly <sup>a</sup>	Prueba de esfericidad de Mauchly <sup>a</sup>	Prueba de esfericidad de Mauchly <sup>a</sup>	Prueba de esfericidad de Mauchly <sup>a</sup>	Prueba de esfericidad de Mauchly <sup>a</sup>
ADICIONES NaCL	0.000	21.051	5	0.002

**Nota:** Datos obtenidos del software IBM SPSS Statistics, © IBM 2022.

Puesto que el valor p calculado (0.002) es menor que el nivel de significancia fijado (0.05), se concluye que hay evidencia estadística suficiente para rechazar la hipótesis nula.

( $H_0$ ). Esto indica que no se cumple el supuesto de esfericidad, lo que significa que las variaciones en las diferencias no son uniformes. Por lo tanto, se infiere que existe una diferencia que resulta estadísticamente significativa.



**Estadístico descriptivo del CBR AL 95%****Tabla 18:***Prueba de esfericidad de Mauchly del CBR al 95.*

Descripción	Estadísticos descriptivos		
	Media	Desviación	N
CBR AL 95% 0% NaCL	3.30400	0.222890	5
CBR AL 95% 5% NaCL	4.20000	0.145086	5
CBR AL 95% 10% NaCL	6.68000	0.457384	5
CBR AL 95% 15% NaCL	4.71000	0.221698	5

*Nota: En la tabla se muestra las correcciones por Greenhouse-Geisser del CBR al 95%.*

**Estadístico descriptivo del CBR AL 95%**

(H0): La dosificación de cloruro de sodio no es adecuada como estabilizante de la subrasante en la Av. Rinconcito Abanquino, Abancay, Apurímac, 2023.

(H1): La dosificación de cloruro de sodio es adecuada como estabilizante de la subrasante en la Av. Rinconcito Abanquino, Abancay, Apurímac, 2023.

**Tabla 19:***Prueba de esfericidad de Mauchly del CBR al 95.*

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	ANOVA MR			
		gl	Media cuadrática	F	Sig.
Intersección	446.229	1	446.229	1690.854	0.000
Error	1.056	4	0.264		

*Nota: Los datos fueron analizados utilizando el programa IBM SPSS Statistics versión 26 (edición 2024), y los resultados correspondientes se detallan a continuación.*

Como el valor p obtenido (0.000) es inferior al nivel de significancia de 0.05, se descarta la hipótesis nula ( $H_0$ ). Por lo tanto, con un nivel de confianza del 95%, se

concluye que la incorporación de cloruro de sodio (NaCl) genera un efecto estadísticamente significativo.

***Análisis de comparación entre grupos por Bonferroni del CBR al 95%:***

Puesto que el cloruro de sodio (NaCl) tiene incidencia en el valor de CBR al 95%, conforme al análisis ANOVA de medidas repetidas, resulta necesario determinar cuál de las dosificaciones (5%, 10% o 15%) produce variaciones significativas en comparación con el suelo base de la subrasante sin adición (0%).

**Tabla 20:**

***Prueba de esfericidad de Mauchly del CBR al 95.***

Comparaciones por parejas						
(I) ADICIONES NaCL	(J) ADICIONES NaCL	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	95% de intervalo de confianza para diferencia	
					Límite inferior	Límite superior
Patrón	5%	-,896	0.056	0.001	-1.166	-0.626
	10%	-3,376	0.108	0.000	-3.899	-2.853
	15%	-1,406	0.045	0.000	-1.623	-1.189
5% adición	patrón	,896	0.056	0.001	0.626	1.166
	10%	-2,480	0.146	0.000	-3.190	-1.770
	15%	-,510	0.035	0.001	-0.681	-0.339
10% adición	patrón	3,376	0.108	0.000	2.853	3.899
	5%	2,480	0.146	0.000	1.770	3.190
	15%	1,970	0.113	0.000	1.422	2.518
15% adición	patrón	1,406	0.045	0.000	1.189	1.623
	5%	510	0.035	0.001	0.339	0.681
	10%	-1,970	0.113	0.000	-2.518	-1.422

*Nota: De la tabla se muestra los datos obtenidos del software IBM SPSS Statistics 26, © IBM 2024.*

### 5.3.2 Prueba de hipótesis 02.

Analizar la influencia del cloruro de sodio como agente estabilizador en las propiedades físicas de la subrasante situada en la Avenida Rinconcito Abanquino, en la ciudad de Abancay, región Apurímac, durante el año 2023.

#### **Prueba de normalidad por Shapiro-Wilk al índice de plasticidad %**

Hipótesis nula ( $H_0$ ): Los datos siguen una distribución normal.

Hipótesis alternativa ( $H_1$ ): Los datos no siguen una distribución normal.

**Tabla 21:**

*Prueba de normalidad Shapiro – Wilk.*

Pruebas de normalidad			
Variable	Shapiro-Wilk Estadístico	gl	Sig.
INDICE DE PLASTICIDAD 0% NaCL	0.977	3	0.707
INDICE DE PLASTICIDAD 5% NaCL	0.979	3	0.724
INDICE DE PLASTICIDAD 10% NaCL	0.953	3	0.581
INDICE DE PLASTICIDAD 15% NaCL	1.000	3	0.963

**Nota:** De la tabla se muestra los datos obtenidos del software IBM SPSS Statistics 26, © IBM 2024.

Puesto que el valor p obtenido es mayor que el nivel de significancia de 0.05, no se rechaza la hipótesis nula ( $H_0$ ), lo que sugiere que las variables analizadas muestran un comportamiento acorde con una distribución normal.

#### **Prueba de esfericidad de Mauchly al índice de plasticidad %.**

Hipótesis nula ( $H_0$ ): la esfericidad Se cumple.

Hipótesis alternativa ( $H_1$ ): la esfericidad no se cumple.

**Tabla 22:***Prueba de esfericidad de Mauchly al índice de plasticidad %.*

<i>Prueba de esfericidad de Mauchly</i>							
Efecto intra-sujetos	W de Mauchly	Aprox. Chi-cuadrado	gl	Sig.	Épsilonb Greenhouse-Geisser	Huynh-Feldt	Límite inferior
ADICIONES NaCL	.000	.000	5	.000	0.414	.758	0.333

*Nota: De la tabla se muestra los datos obtenidos del software IBM SPSS Statistics 26, © IBM 2024.*

Dado que el valor p obtenido (0.000) es inferior al nivel de significancia de 0.05, se procede a rechazar la hipótesis nula ( $H_0$ ). Esto indica que el supuesto de esfericidad no se cumple, evidenciando que las varianzas de las diferencias entre las variables no son homogéneas. Como consecuencia, se observa una diferencia estadísticamente significativa en los datos analizados.

**Tabla 23:***Correcciones por Greenhouse-Geisser del índice de plasticidad %.*

<i>Pruebas de efectos intra-sujetos</i>						
Origen	Corrección	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
ADICIONES NaCL	Esfericidad asumida	17.006	3	5.669	2.044	0.209
	Greenhouse-Geisser	17.006	1.242	13.697	2.044	0.277
	Huynh-Feldt	17.006	2.274	7.478	2.044	0.234
	Límite inferior	17.006	1.000	17.006	2.044	0.289
Error (ADICIONES NaCL)	Esfericidad asumida	16.644	6	2.774		
	Greenhouse-Geisser	16.644	2.483	6.703		
	Huynh-Feldt	16.644	4.548	3.660		
	Límite inferior	16.644	2.000	8.322		

*Nota: De la tabla se muestra los datos obtenidos del software IBM SPSS Statistics 26, © IBM 2024.*

Hipótesis nula ( $H_0$ ): No se presentan diferencias estadísticamente significativas.

Hipótesis alternativa ( $H_1$ ): Los resultados mostraron que no existen diferencias significativas desde el punto de vista estadístico. El valor p calculado (0.277) es mayor que el umbral de significancia establecido (0.05), lo que indica que no hay pruebas suficientes para descartar la hipótesis nula ( $H_0$ ). En otras palabras, el análisis sugiere que las posibles variaciones en los datos no son estadísticamente relevantes.

***Estadístico descriptivo del índice de plasticidad %:***

**Tabla 24:**

*Promedio y dispersión estándar del índice de plasticidad en porcentaje.*

<b>Estadísticos descriptivos</b>			
<b>Descripción</b>	<b>Media</b>	<b>Desv. Desviación</b>	<b>N</b>
INDICE DE PLASTICIDAD 0% NaCl	10.99333	7.564102	3
INDICE DE PLASTICIDAD 5% NaCl	8.79667	9.614948	3
INDICE DE PLASTICIDAD 10% NaCl	7.80000	8.959459	3
INDICE DE PLASTICIDAD 15% NaCl	9.86000	8.981670	3

*Nota: La tabla presenta los resultados generados a través del software IBM SPSS Statistics 26, © IBM 2024.*

***Análisis de estadísticos de ANOVA M.R del índice de plasticidad %:***

( $H_0$ ): El cloruro de sodio no muestra una influencia considerable en la mejora de las propiedades físicas de la subrasante en la Av. Rinconcito Abanquino, ubicada en la ciudad de Abancay, región Apurímac, durante el año 2023.

( $H_1$ ): El cloruro de sodio presenta una influencia notable como estabilizante en las propiedades físicas de la subrasante de la Av. Rinconcito Abanquino, en Abancay, Apurímac, durante el año 2023.

**Tabla 25:**

*Resultados del análisis de varianza con medidas repetidas (ANOVA MR) para el índice de plasticidad en porcentaje.*

ANOVA MR					
Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Intersección	1051.877	1	1051.877	3.480	0.203
Error	604.567	2	302.283		

*Nota: La tabla se presentan los datos generados mediante el software IBM SPSS Statistics 26, © IBM 2024.*

**Análisis de comparación entre grupos por Bonferroni del índice plasticidad**

%:

**Tabla 26:**

*Resultado del análisis de Bonferroni del índice de plasticidad %.*

Comparaciones por parejas						
(I) ADICIONES NaCL	(J) ADICIONES NaCL	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	95% de intervalo de confianza para diferencia	
					Límite inferior	Límite superior
Patrón	5%	2.197	1.881	1.000	-18.280	22.673
	10%	3.193	1.937	1.000	-17.897	24.284
	15%	1.133	1.038	1.000	-10.169	12.436
5% adición	Patrón	-2.197	1.881	1.000	-22.673	18.280
	10%	0.997	0.552	1.000	-5.009	7.002
	15%	-1.063	0.950	1.000	-11.404	9.278
10% adición	Patrón	-3.193	1.937	1.000	-24.284	17.897
	5%	-0.997	0.552	1.000	-7.002	5.009
	15%	-2.060	1.232	1.000	-15.477	11.357
15% adición	Patrón	-1.133	1.038	1.000	-12.436	10.169
	5%	1.063	0.950	1.000	-9.278	11.404
	10%	2.060	1.232	1.000	-11.357	15.477

*Nota: La tabla se muestra los datos obtenidos del software IBM SPSS Statistics 26, © IBM 2024.*

Mediante el método de Bonferroni utilizado para las comparaciones por pares, se evaluó el efecto del cloruro de sodio (NaCl) como material estabilizante en las propiedades físicas de la subrasante, con especial atención al índice de plasticidad. Al examinar los valores de significancia obtenidos, se registró un p-valor constante de 1.000 en todos los

grupos, superior al nivel de 0.05. Esto indica que la adición de NaCl en proporciones del 5%, 10% y 15% no produce variaciones estadísticamente significativas en dicho parámetro.

***Prueba de normalidad por Shapiro - Wilk contenido óptimo de humedad %.***

Hipótesis nula ( $H_0$ ): No se presentan diferencias con significancia estadística.

Hipótesis alternativa ( $H_1$ ): Se evidencian diferencias con significancia estadística.

**Tabla 27:**

*Resultado del análisis de Bonferroni del índice de plasticidad %.*

<b>Pruebas de normalidad</b>			
<b>Shapiro-Wilk</b>			
<b>Variable</b>	<b>Estadístico</b>	<b>gl</b>	<b>Sig.</b>
CONTENIDO OPT. HUMEDAD 0% NaCL	0.986	5	0.962
CONTENIDO OPT. HUMEDAD 5% NaCL	0.984	5	0.953
CONTENIDO OPT. HUMEDAD 10% NaCL	0.970	5	0.873
CONTENIDO OPT. HUMEDAD 15% NaCL	0.989	5	0.975

***Nota:*** La tabla se muestra los datos obtenidos del software IBM SPSS Statistics 26, © IBM 2024.

**Prueba de esfericidad de Mauchly contenido óptimo de humedad %.**

Hipótesis nula (H<sub>0</sub>): Se cumple la condición de esfericidad.

Hipótesis alternativa (H<sub>1</sub>): La condición de esfericidad no se cumple.

**Tabla 28:**

*Prueba de esfericidad de Mauchly al contenido óptimo de humedad %.*

Efecto intra-sujetos	W de Mauchly	Prueba de esfericidad de Mauchly <sup>a</sup>				Épsilon <sup>b</sup>	
		Aprox. Chi-cuadrado	gl	Sig.	Greenhouse-Geisser	Huynh-Feldt	Límite inferior
ADICIONES NaCL	0.071	7.190	5	0.232	0.469	0.647	0.333

*Nota: La tabla se muestra los datos obtenidos del software IBM SPSS Statistics 26, © IBM 2024.*

Debido a que el valor p obtenido (0.232) excede el nivel de significancia del 5%, no se rechaza la hipótesis nula (H<sub>0</sub>), lo que significa que los datos analizados no muestran diferencias estadísticamente significativas. Esto sugiere que se cumple la condición de esfericidad, lo que implica que las variaciones en las diferencias son consistentes y, en consecuencia, no se detecta una diferencia estadísticamente significativa.

**Tabla 29:**

*Correcciones por Greenhouse-Geisser del contenido óptimo de humedad %.*

Origen	Corrección	Pruebas de efectos intra-sujetos				
		Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
ADICIONES NaCL	Esfericidad asumida	3.486	3	1.162	23.353	0.000
	Greenhouse-Geisser	3.486	1.407	2.478	23.353	0.003
	Huynh-Feldt	3.486	1.941	1.796	23.353	0.001
	Límite inferior	3.486	1.000	3.486	23.353	0.008
Error (ADICIONES NaCL)	Esfericidad asumida	0.597	12	0.050		
	Greenhouse-Geisser	0.597	5.626	0.106		
	Huynh-Feldt	0.597	7.762	0.077		

---

Límite inferior      0.597      4.000      0.149

---

*Nota: De la tabla se muestra los datos obtenidos del software IBM SPSS Statistics 30, © IBM 2024.*

Hipótesis nula ( $H_0$ ): No hay diferencias estadísticamente significativas.

Hipótesis alternativa ( $H_1$ ): Se identifican diferencias con relevancia estadística, ya que el valor p obtenido (0.003) es menor que el nivel de significancia del 5%, lo que permite concluir que los valores analizados presentan una variación estadísticamente significativa.

### **Estadístico descriptivo del contenido de óptimo de humedad %:**

**Tabla 30:**

*Media y desviación estándar del contenido óptimo de humedad %.*

<b>Estadísticos descriptivos</b>			
<b>Descripción</b>	<b>Media</b>	<b>Desv. Desviación</b>	<b>N</b>
CONTENIDO OPT. HUMEDAD 0% NaCL	10.08000	3.084964	5
CONTENIDO OPT. HUMEDAD 5% NaCL	10.00000	3.258834	5
CONTENIDO OPT. HUMEDAD 10% NaCL	9.16000	3.012142	5
CONTENIDO OPT. HUMEDAD 15% NaCL	9.26000	3.359762	5

*Nota: La tabla se muestra los datos obtenidos del software IBM SPSS Statistics 30, © IBM 2024.*

Análisis estadístico ANOVA M.R. del contenido óptimo de humedad %:

( $H_0$ ): La incorporación de cloruro de sodio no evidencia un efecto significativo en las propiedades físicas de la subrasante ubicada en la Av. Rinconcito Abanquino, en la ciudad de Abancay, región Apurímac, durante el año 2023.

(H1): El cloruro de sodio tiene un efecto estabilizador y modifica las propiedades físicas de la subrasante en la Av. Rinconcito Abanquino, en Abancay, Apurímac, durante el año 2023.

**Tabla 31:**

*Resultados del ANOVA MR del contenido óptimo de humedad %.*

ANOVA MR					
Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Intersección	1852.813	1	1852.813	45.920	0.002
Error	161.395	4	40.349		

**Nota:** La tabla se muestra los datos obtenidos del software IBM SPSS

*Statistics 30, © IBM 2024.*

**Estadístico descriptivo del contenido de óptimo de humedad %:**

**Tabla 32:**

*Resultado del análisis de Bonferroni del contenido óptimo de humedad %.*

Comparaciones por parejas						
(I) ADICIONES NaCl	(J) ADICIONES NaCl	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	95% de intervalo de confianza para diferencia	
					Límite inferior	Límite superior
Patrón	5% adición	0.080	0.097	1.000	-0.390	0.550
	10% adición	,920*	0.111	0.007	0.380	1.460
	15% adición	,820*	0.136	0.023	0.162	1.478
5%	Patrón	-0.080	0.097	1.000	-0.550	0.390
	10% adición	,840*	0.129	0.017	0.215	1.465
	15% adición	,740*	0.117	0.019	0.174	1.306
10%	Patrón	-,920*	0.111	0.007	-1.460	-0.380
	5% adición	-,840*	0.129	0.017	-1.465	-0.215
	15% adición	-0.100	0.221	1.000	-1.174	0.974
15%	Patrón	-,820*	0.136	0.023	-1.478	-0.162
	5% adición	-,740*	0.117	0.019	-1.306	-0.174
	10% adición	0.100	0.221	1.000	-0.974	1.174

**Nota:** La tabla se observa los datos obtenidos del software IBM SPSS *Statistics 26, © IBM 2024.*

Al aplicar el método de Bonferroni para comparar los efectos del cloruro de sodio (NaCl) en la humedad óptima de la subrasante, observé que los valores p oscilaron

entre 1.000 y 0.007. En particular, al contrastar la muestra sin tratamiento con la que tenía un 10% de NaCl, obtuve un valor p de 0.007, el cual fue menor que el nivel de significancia (0.05). Esto me permitió concluir que la dosificación del 10% de NaCl es la más efectiva para optimizar el contenido de humedad de la subrasante.

***Prueba de normalidad por shapiro – Wilk a la densidad seca: gr/cm<sup>3</sup>***

Hipótesis nula ( $H_0$ ): Los datos siguen una distribución normal.

Hipótesis alternativa ( $H_1$ ): Los datos no siguen un patrón de distribución normal.

**Tabla 33:**

*Prueba de normalidad Shapiro-Wilk a la densidad máxima seca gr/ cm<sup>3</sup>*

Variable	Pruebas de normalidad		
	Shapiro-Wilk	gl	Sig.
	Estadístico		
DMS 0% NaCL	0.935	5	0.627
DMS 5% NaCL	0.886	5	0.336
DMS 10% NaCL	0.953	5	0.760
DMS 15% NaCL	0.910	5	0.470

*Nota: En la tabla se presentan los resultados obtenidos utilizando el software IBM SPSS statistics 26, © IBM 2024.*

Análisis estadístico ANOVA M.R. del contenido óptimo de humedad %:

Dado que el valor p calculado supera el nivel de significancia de 0.05, no se rechaza la hipótesis nula ( $H_0$ ), lo que sugiere que los datos evaluados siguen un patrón que se ajusta correctamente a una distribución normal..

***Prueba de esfericidad de Mauchly a la densidad máxima seca gr/ cm<sup>3</sup>:***

Hipótesis nula ( $H_0$ ): Los datos siguen un comportamiento acorde a una distribución normal.

Hipótesis alternativa ( $H_1$ ): Los datos no se distribuyen de manera normal.

**Tabla 34:**

*Prueba de normalidad Shapiro-Wilk a la densidad máxima seca gr/ cm<sup>3</sup>*

Efecto intra-sujetos	W de Mauchly	Prueba de esfericidad de Mauchly			Épsilon <sub>b</sub> Greenhouse-Geisser	Huynh-Feldt	Límite inferior
		Aprox. Chi-cuadrado	gl	Sig.			
ADICIONES NaCL	0.011	12.310	5	0.041	0.400	0.476	0.333

**Nota:** La tabla muestra los datos resultantes del análisis realizado con el software IBM SPSS Statistics 26, © IBM 2024.

El p-valor obtenido (0.041), siendo menor que el umbral de significancia de 0.05, conduce al rechazo de la hipótesis nula ( $H_0$ ). Esto sugiere que no se cumple con la condición de esfericidad, indicando que las variaciones en las diferencias no son consistentes, lo que a su vez señala una diferencia estadísticamente significativa.

**Tabla 35:**

*Correcciones por Greenhouse-Geisser de la densidad máxima seca gr/ cm<sup>3</sup>.*

Origen	Corrección	Pruebas de efectos intra-sujetos				
		Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
ADICIONES NaCL	Esfericidad asumida	0.002	3	0.001	0.947	0.449
	Greenhouse-Geisser	0.002	1.200	0.001	0.947	0.397
	Huynh-Feldt	0.002	1.428	0.001	0.947	0.408
	Límite inferior	0.002	1.000	0.002	0.947	0.386
Error (ADICIONES NaCL)	Esfericidad asumida	0.007	12	0.001		
	Greenhouse-Geisser	0.007	4.798	0.001		
	Huynh-Feldt	0.007	5.711	0.001		
	Límite inferior	0.007	4.000	0.002		

**Nota:** La tabla se observa los datos obtenidos del software IBM SPSS statistics 26, © IBM 2024.

Hipótesis nula ( $H_0$ ): No hay diferencias estadísticamente significativas.

Hipótesis alternativa ( $H_1$ ): Existen diferencias estadísticamente significativas.

**Estadísticos descriptivos de la densidad máxima seca gr/cm<sup>3</sup>:**

**Tabla 36:**

*Media y desviación estándar de la densidad máxima seca gr/cm<sup>3</sup>*

Estadísticos descriptivos			
Descripción	Media	Desv. Desviación	N
DMS 0% NaCL	1.89000	0.039370	5
DMS 5% NaCL	1.89400	0.048785	5
DMS 10% NaCL	1.90000	0.049497	5
DMS 15% NaCL	1.87600	0.054129	5

**Nota:** La tabla se observa los datos obtenidos del software IBM SPSS Statistics 26, © IBM 2024.

**Análisis estadístico ANOVA M.R. de la densidad máxima seca gr/cm<sup>3</sup>:**

(H0): La incorporación de cloruro de sodio no produce un impacto significativo en la mejora de las propiedades físicas de la subrasante en la Av. Rinconcito Abanquino, situada en la ciudad de Abancay, región Apurímac, durante el año 2023.

(H1): El cloruro de sodio tiene un efecto estabilizador y altera las características físicas de la subrasante en la Av. Rinconcito Abanquino, situada en Abancay, Apurímac, durante el año 2023.

**Tabla 37:**

*Resultados del ANOVA MR de la densidad máxima seca gr/cm<sup>3</sup>*

ANOVA MR					
Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Intersección	71.442	1	71.442	9323.589	0.000
Error	0.031	4	0.008		

**Nota:** En la tabla se obtiene los resultados obtenidos utilizando el software IBM SPSS Statistics 26, © IBM 2024.

Dado que el valor p obtenido (0.000) es menor que el nivel de significancia establecido ( $\alpha = 0.05$ ), se rechaza la hipótesis nula ( $H_0$ ). Por lo tanto, con una

confiabilidad del 95%, puede afirmarse que la incorporación de cloruro de sodio (NaCl) influye de manera significativa en las características físicas de la subrasante.

**Análisis de comparación entre grupos por Bonferroni de la densidad seca**

**gr/cm<sup>3</sup>:**

**Tabla 38:**

*Resultados del ANOVA MR de la densidad máxima seca gr/cm<sup>3</sup>*

		Comparaciones por parejas			95% de intervalo de confianza para diferencia	
(I) ADICIONES NaCL	(J) ADICIONES NaCL	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Límite inferior	Límite superior
Patrón	5% adición	-0.004	0.021	1.000	-0.104	0.096
	10% adición	-0.010	0.012	1.000	-0.069	0.049
	15% adición	0.014	0.021	1.000	-0.090	0.118
5%	Patrón	0.004	0.021	1.000	-0.096	0.104
	10% adición	-0.006	0.012	1.000	-0.065	0.053
	15% adición	0.018	0.004	0.051	0.000	0.036
10%	patrón	0.010	0.012	1.000	-0.049	0.069
	5% adición	0.006	0.012	1.000	-0.053	0.065
	15% adición	0.024	0.011	0.596	-0.030	0.078
15%	Patrón	-0.014	0.021	1.000	-0.118	0.090
	5% adición	-0.018	0.004	0.051	-0.036	0.000
	10% adición	-0.024	0.011	0.596	-0.078	0.030

*Nota: La tabla se observa los datos obtenidos del software IBM SPSS Statistics 26, © IBM 2024.*

A través del método de Bonferroni aplicado a las comparaciones por pares, se evaluó la influencia del NaCl sobre la densidad seca máxima (g/cm<sup>3</sup>) de la subrasante. Los valores p obtenidos en las diferentes comparaciones oscilaron entre 1.000 y 0.596. En particular, al comparar la muestra sin aditivos con la tratada con un 10% de NaCl, se registró un valor p de 1.000, superior al nivel de significancia de 0.05, lo que indica que la incorporación de cloruro de sodio en proporciones del 5%, 10% y 15% no genera diferencias estadísticamente significativas en la densidad seca máxima.

### 5.3.3 Prueba de hipótesis 03.

Se evaluó el efecto del cloruro de sodio como estabilizante en la capacidad de soporte de la subrasante, medida a través del Índice CBR, en la Av. Rinconcito Abanquino, ubicada en Abancay, Apurímac, durante el año 2023.

#### Prueba de normalidad por Shapiro – Wilk del CBR al 100%:

Hipótesis nula ( $H_0$ ): Los datos siguen una distribución normal.

Hipótesis alternativa ( $H_1$ ): Los datos no presentan un comportamiento acorde a una distribución normal.

**Tabla 39:**

*Prueba de normalidad Shapiro-Wilk del CBR al 100%.*

Variable	Pruebas de normalidad		
	Shapiro-Wilk Estadístico	gl	Sig.
CBR AL 100% 0% NaCL	0.952	5	0.752
CBR AL 100% 5% NaCL	0.947	5	0.715
CBR AL 100% 10% NaCL	0.918	5	0.520
CBR AL 100% 15% NaCL	0.943	5	0.686

*Nota: La tabla se observa los datos obtenidos del software IBM SPSS statistics 26, © IBM 2024.*

Dado que el valor p obtenido supera el nivel de significancia de 0.05, no se cuenta con evidencia suficiente para rechazar la hipótesis nula ( $H_0$ ), lo que indica que los datos analizados presentan un comportamiento consistente con una distribución normal.

#### Prueba de esfericidad de Mauchly del CBR al 100%:

Hipótesis nula ( $H_0$ ): La esfericidad está presente en los datos.

Hipótesis alternativa (H1): No se cumple la condición de esfericidad.

**Tabla 40:**

*Prueba de normalidad Shapiro-Wilk del CBR al 100%.*

Prueba de esfericidad de Mauchly							
Efecto intra-sujetos	W de Mauchly	Aprox. Chi-cuadrado	gl	Sig.	Épsilonb Greenhouse-Geisser	Huynh-Feldt	Límite inferior
ADICIONES NaCl	0.001	18.574	5	0.004	0.436	0.563	0.333

*Nota: La tabla se observa los datos obtenidos del software IBM SPSS Statistics 26, © IBM 2024.*

**Tabla 41:**

*Correcciones por Greenhouse-Geisser del CBR al 100%.*

Prueba de esfericidad de Mauchly							
Efecto intra-sujetos	W de Mauchly	Aprox. Chi-cuadrado	gl	Sig.	Épsilonb Greenhouse-Geisser	Huynh-Feldt	Límite inferior
ADICIONES NaCl	0.001	18.574	5	0.004	0.436	0.563	0.333

*Nota: La tabla se observa los datos obtenidos del software IBM SPSS statistics 26, © IBM 2024.*

Debido a que el valor p obtenido (0.004) es menor que el nivel de significancia de 0.05, se procede a rechazar la hipótesis nula ( $H_0$ ). Este resultado indica que no se cumple el supuesto planteado y que existe un efecto significativo del cloruro de sodio (NaCl) sobre las propiedades físicas de la subrasante el supuesto de esfericidad, lo que implica la presencia de varianzas desiguales entre las diferencias de las mediciones y confirma una diferencia estadísticamente significativa entre los grupos analizados.

---

#### Pruebas de efectos intra-sujetos

Origen	Corrección	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
ADICIONES NaCL	Esfericidad asumida	38.480	3	12.827	280.807	0.000
	Greenhouse-Geisser	38.480	1.309	29.398	280.807	0.000
	Huynh-Feldt	38.480	1.689	22.785	280.807	0.000
	Límite inferior	38.480	1.000	38.480	280.807	0.000
Error (ADICIONES NaCL)	Esfericidad asumida	0.548	12	0.046		
	Greenhouse-Geisser	0.548	5.236	0.105		
	Huynh-Feldt	0.548	6.755	0.081		
	Límite inferior	0.548	4.000	0.137		

**Tabla 42:**

*Correcciones por Greenhouse-Geisser del CBR al 100%.*

*Nota: La tabla se observa los datos obtenidos del software IBM SPSS Statistics 26, © IBM 2024.*

Hipótesis nula ( $H_0$ ): No se presentan diferencias que sean estadísticamente significativas.

Hipótesis alternativa ( $H_1$ ): Se evidencia la presencia de diferencias con relevancia estadística.

Como el valor p resultante (0.000) al estar por debajo del nivel de significancia fijado en 0.05, se confirma la existencia de una diferencia con relevancia estadística en el análisis de las mediciones efectuadas.

### ***Estadísticos descriptivos del CBR al 100%:***

**Tabla 43:**

*Media y desviación estándar del CBR al 100%.*

Estadísticos descriptivos			
Descripción	Media	Desv. Desviación	N
CBR AL 100% 0% NaCL	6.71600	0.451918	5

CBR AL 100% 5% NaCL	7.77000	0.270370	5
CBR AL 100% 10% NaCL	10.40400	0.714759	5
CBR AL 100% 15% NaCL	9.09600	0.428637	5

*Nota: La tabla se observa los datos obtenidos del software IBM SPSS Statistics 26, © IBM 2024.*

**Análisis estadístico ANOVA M.R. del CBR al 100%:**

ANOVA MR					
Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Intersección	1443.810	1	1443.810	1729.306	0.000
A	3.340	4	0.835		

(H<sub>0</sub>): No se observa un impacto significativo del cloruro de sodio como material

estabilizante en los valores del Índice CBR de la subrasante ubicada en la Av. Rinconcito Abanquino, en la ciudad de Abancay, departamento de Apurímac, durante el año 2023.

(H<sub>1</sub>): La incorporación de cloruro de sodio genera variaciones en la capacidad de soporte del suelo, evidenciadas en los valores de CBR obtenidos para la subrasante de la Av. Rinconcito Abanquino, ubicada en la ciudad de Abancay, región Apurímac, durante el año 2023, lo que confirma su eficacia como agente estabilizante.

**Tabla 44:**

*Resultados del ANOVA MR del CBR al 100%.*

*Nota: En la tabla se presentan los resultados generados mediante el uso del software IBM SPSS Statistics 26 (© IBM, 2024).*

**Análisis estadístico ANOVA M.R. del CBR al 100%:**

Dado el valor p obtenido (0.000) es inferior al nivel de significancia del 5%, se procede a rechazar la hipótesis nula (H<sub>0</sub>). En consecuencia, con un nivel de confianza

del 95%, se determina que la adición de cloruro de sodio (NaCl) produce un efecto estadísticamente significativo y es efectiva para obtener un valor de CBR equivalente al 100%.

***Análisis de comparación entre grupos por Bonferroni del CBR al 95%:***

Considerando que el análisis ANOVA de medidas repetidas evidencia la influencia (NaCl) en la Relación de Soporte de California (CBR) al 100%, resulta fundamental determinar cuál de las proporciones evaluadas (5%, 10% o 15%) genera una diferencia significativa respecto a la condición base de la subrasante sin aditivos (0%).

**Tabla 45:**

Resultados de comparación Bonferroni.

Nota: La tabla se observa los datos obtenidos del software IBM SPSS

Comparaciones por parejas						
(I) ADICIONES NaCl	(J) ADICIONES NaCl	Diferencia de medias (I- J)	Desv. Error	Sig.	95% de intervalo de confianza para diferencia	
					Límite inferior	Límite superior
Patrón	5% adición	-1,054*	0.118	0.005	-1.628	-0.480
	10% adición	-3,688*	0.126	0.000	-4.298	-3.078
	15% adición	-2,380*	0.090	0.000	-2.814	-1.946
5%	Patrón	1,054*	0.118	0.005	0.480	1.628
	10% adición	-2,634*	0.213	0.001	-3.666	-1.602
	15% adición	-1,326*	0.073	0.000	-1.679	-0.973
10%	patrón	3,688*	0.126	0.000	3.078	4.298
	5% adición	2,634*	0.213	0.001	1.602	3.666
	15% adición	1,308*	0.146	0.005	0.600	2.016
15%	Patrón	2,380*	0.090	0.000	1.946	2.814
	5% adición	1,326*	0.073	0.000	0.973	1.679
	10% adición	-1,308*	0.146	0.005	-2.016	-0.600

Statistics 26, © IBM 2024.

A través del método de comparación múltiple de Bonferroni, (NaCl) como estabilizante en el valor de CBR de la subrasante. Los valores p obtenidos en las distintas comparaciones variaron entre 0.000 y 0.005, todos por debajo del nivel de significancia del 5%. Estos resultados evidencian que la dosificación del 10% de NaCl es la más efectiva en relación con la muestra sin tratamiento, mejorando de manera notable la capacidad de soporte del suelo.

## VI. Conclusiones

### Respecto al objetivo específico OE-1

Se evaluó la influencia del cloruro de sodio (NaCl) sobre el índice de plasticidad (I.P.) de una subrasante conformada por un suelo limoso con baja plasticidad. Los resultados mostraron una disminución gradual del I.P. conforme aumentaba la cantidad de NaCl, pasando de 10.99% en la muestra sin aditivo a 9.86% al incorporar un 15% de NaCl. Este comportamiento se explica porque el NaCl actúa como un agente no plástico, reduciendo la capacidad del suelo para absorber agua y experimentar deformaciones.

No obstante, el análisis estadístico mediante ANOVA de medidas repetidas (ANOVAMR) reveló que las variaciones en el índice de plasticidad no son estadísticamente significativas ( $p$ -valor  $> 0.203$ ), lo que sugiere que el efecto del NaCl en la plasticidad del suelo es limitado. Aunque se observó una reducción, es importante considerar que un exceso en la adición de NaCl podría afectar la compactibilidad del suelo, aumentando su fragilidad y favoreciendo la aparición de fisuras con el tiempo.

### **Respecto al objetivo específico OE-2**

Se llevó a cabo un estudio enfocado en evaluar la influencia del cloruro de sodio (NaCl) sobre las propiedades físicas del suelo, haciendo especial énfasis en el índice de plasticidad y la densidad seca máxima de la subrasante situada en la Av. Rinconcito Abanquino. Los resultados evidenciaron una disminución progresiva del índice de plasticidad conforme se incrementó la proporción de NaCl, pasando de 10.99% en la muestra sin tratamiento a 9.86% con una dosificación del 15%. Esta variación se relaciona con el carácter no plástico del NaCl, que limita la retención de humedad y minimiza las deformaciones del suelo.

El análisis estadístico con ANOVAMR mostró que esta reducción no es significativa ( $p$ -valor  $> 0.203$ ), lo que implica que la adición de NaCl no genera un cambio sustancial en la plasticidad del suelo. Adicionalmente, se observó que dosis excesivas de NaCl pueden afectar la compactibilidad del suelo, comprometiendo su estabilidad estructural y aumentando la posibilidad de fisuraciones en el pavimento.

Respecto a la densidad seca máxima (DMS), los resultados evidenciaron un aumento tras la adición de cloruro de sodio, indicando una mejora en la compactabilidad y en la resistencia estructural del material del suelo. Sin embargo, dosis mayores al 10% podrían afectar negativamente su cohesión y manejabilidad, lo que eventualmente podría influir en la resistencia y vida útil de la estructura vial.

### **Respecto al objetivo específico OE-3**

Se analizó el efecto del cloruro de sodio (NaCl) sobre la capacidad portante del suelo utilizando el ensayo CBR al 100% de compactación. Los resultados revelaron que la incorporación de NaCl mejora la resistencia del material, alcanzando un valor máximo de 10.40% con una dosificación del 10%, en contraste con el 6.72% registrado en la muestra sin tratamiento.

Sin embargo, al utilizar dosis del 5% y 15% de NaCl, se observó una ligera disminución en el CBR, lo que indica que concentraciones superiores al 10% pueden interferir con la compactación y homogeneización del suelo, reduciendo su cohesión. El análisis estadístico mediante ANOVA MR confirmó que estas diferencias son altamente significativas ( $p$ -valor  $< 0.000$ ), respaldando la influencia del NaCl en la mejora del CBR.

Desde una perspectiva estructural, el incremento en el valor de CBR representa una mejora en la capacidad portante del pavimento. Esto se refleja en una mayor resistencia a las deformaciones generadas por el tránsito, así como en una menor necesidad de mantenimiento de la vía a lo largo del tiempo.

### **Respecto al objetivo general OG**

Se desarrolló una investigación con el propósito de analizar el efecto del cloruro de sodio (NaCl) en la estabilización de una subrasante compuesta por un suelo limoso de baja plasticidad en la Av. Rinconcito Abanquino. Los resultados demostraron que la

incorporación de NaCl mejora de manera notable el desempeño mecánico del suelo, evidenciándose un incremento gradual en los valores del CBR para las diferentes proporciones evaluadas (5%, 10% y 15%).

La dosificación óptima de NaCl fue del 10%, ya que permitió alcanzar el mayor incremento en la capacidad de soporte del suelo (CBR = 10.40%), sin comprometer su cohesión ni su capacidad de compactación. Sin embargo, dosis superiores al 10% redujeron el CBR, lo que sugiere que un exceso de NaCl podría generar problemas de estabilidad en el suelo a largo plazo.

Desde el punto de vista de la infraestructura vial, la estabilización con NaCl contribuye a mejorar la durabilidad y resistencia del pavimento, permitiendo una mayor capacidad de carga y reduciendo los costos de mantenimiento. Además, al incrementar la estabilidad de la subrasante, se previene la aparición de fisuras, hundimientos y deformaciones, mejorando la seguridad y transitabilidad de la vía. No obstante, para garantizar la efectividad a largo plazo de esta técnica, es esencial considerar las condiciones climáticas y geotécnicas del área de aplicación investigación para garantizar la estabilidad, seguridad y eficiencia en el diseño de las cimentaciones, optimizando así los recursos y asegurando la durabilidad de las estructuras a lo largo del tiempo.

## **VII. Recomendaciones**

### **Respecto al objetivo específico OE-1**

Se recomienda emplear una dosificación óptima del 10% de cloruro de sodio (NaCl) para mejorar la capacidad de soporte del suelo, ya que este porcentaje incrementa el CBR hasta un 10.40%, optimizando la estabilidad estructural de la subrasante. Dosis superiores al 10% pueden afectar negativamente la compactación del suelo y reducir su cohesión, lo que comprometería la durabilidad del pavimento.

#### **Respecto al objetivo específico OE-2**

Se sugiere dosificar el NaCl de manera controlada, sin exceder el 10%, para mejorar la resistencia del suelo frente a la humedad y reducir el Índice de Plasticidad (I.P.). Sin embargo, debido a que el impacto del NaCl en la plasticidad del suelo no es estadísticamente significativo, se recomienda realizar estudios adicionales que evalúen su comportamiento a largo plazo. Además, se debe considerar que una adición excesiva podría afectar la compactabilidad del suelo, incrementando el riesgo de fisuraciones.

#### **Respecto al objetivo específico OE-3**

Se recomienda desarrollar estudios posteriores orientados a evaluar la aplicación del cloruro de sodio como agente estabilizante en diferentes clases de suelos y en variadas condiciones climáticas, con el propósito de determinar su efecto sobre la resistencia y la durabilidad de las infraestructuras viales. Del mismo modo, resulta conveniente investigar su uso combinado con otros materiales estabilizantes, como cementos o aditivos químicos, con el objetivo de identificar posibles efectos complementarios que mejoren el comportamiento mecánico del suelo y su estabilidad a largo plazo.

#### **Respecto al objetivo general OG**

Se recomienda emplear una dosificación óptima del 10% de cloruro de sodio (NaCl) para mejorar la capacidad de soporte del suelo sin afectar negativamente su compactación ni cohesión. Es fundamental que la aplicación del NaCl se realice de manera controlada, ya que su impacto en la reducción del índice de plasticidad no es significativo. Por ello, se

considera necesario realizar investigaciones adicionales que permitan evaluar su comportamiento a largo plazo. Asimismo, se recomienda ampliar las investigaciones sobre su efectividad en distintos tipos de suelo y condiciones climáticas, así como evaluar su combinación con otros estabilizantes para potenciar sus beneficios.

Los hallazgos de esta investigación pueden aplicarse en proyectos de infraestructura vial en Abancay y en otras regiones con suelos de baja capacidad portante, contribuyendo a la optimización de costos y a la mejora en la calidad de las vías. Para reforzar estos resultados, sería conveniente realizar ensayos geotécnicos complementarios, como pruebas de deformabilidad y ensayos de penetración estándar (SPT), con el propósito de obtener información más detallada sobre la estabilidad del suelo.

Además, la Municipalidad Distrital de Abancay podría considerar estos resultados en su planificación urbana, especialmente en la urbanización San Luis, con el objetivo de fortalecer la seguridad y sostenibilidad de las construcciones y las vías. Por último, se recomienda implementar un plan de monitoreo continuo para evaluar la estabilidad del suelo a lo largo del tiempo, tomando en cuenta aspectos como la posible lixiviación del NaCl y sus efectos ambientales, garantizando así la durabilidad y funcionalidad de la infraestructura vial.

## VIII. Referencias

Ancajima, S. J., & Facundo, P. M. (2021). Mapeo de los tipos de suelo en el Cercado de Vice, distrito de Vice – provincia de Sechura, departamento de Piura. Universidad Nacional de Piura. <https://repositorio.unp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12676/3281/ICIV-ANC-FAC-2021.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Altamirano Guerrero, A. R., & Casas Alvarado, Jeysi Marlleth. (2022). Zonificación de s.

Astocondor, P. D. (2020). Estudio de zonificación de los suelos para fines de cimentación superficial del sector Pómape del distrito de Monsefú – Chiclayo. Lima.

Bermúdez Huamán, J. R., & Ortiz Gutiérrez, M. A. (2021). Influencia de la escoria de paja de anís (CCDA) y la cal en la mejora de las propiedades mecánicas del suelo en la carretera Curahuasi–Cachora, Apurímac. Tesis de licenciatura, Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco, Cusco, Perú.

*Carruitero Rivero, K. A. (2022). Análisis del comportamiento de la subrasante arenosa con el cloruro de sodio de un camino vecinal de bajo volumen de tránsito, Virú 2022. Universidad Privada del Norte. <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/31999>*

Castro Casas, A. A., & Chanamé Gómez, J. P. (2021). Estudio de zonificación de suelos para diseño de cimentaciones superficiales en el sector Lagunas I y II, distrito de Santa Rosa, provincia de Chiclayo, departamento de Lambayeque.

Castro-Sandoval, J. A., & Melo-Pabón, C. (2020). Efecto del cloruro de sodio (NaCl) como agente estabilizante de suelos arcillosos potencialmente expansivos en la ciudad de Cúcuta, Norte de Santander. *Universidad Continental*. <https://revistas.unitecnar.edu.co/index.php/sth/article/view/103>

Chamba De La Cruz, L. A. (2021). Análisis comparativo de estabilización para el mejoramiento de subrasante entre el uso del cloruro de sodio y el sistema Consolida en zonas urbanas no pavimentadas de la urbanización El Parral del distrito de la Victoria-2020. Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo. <https://tesis.usat.edu.pe/handle/20.500.12423/3913>

Condori Lima, E. C. (2021). Zonificación geotécnica para el diseño de cimentación superficial en la urbanización Villa los Triunfadores Caracoto – Puno 2021.

Cordova Quiñones, L. J., & Sanchez Abanto, J. M. (2019). Zonificación geotécnica de los suelos de asentamiento urbano con fines de cimentación en el distrito de Samanco – Provincia del Santa - Departamento Áncash.

Díaz, A. V., & Foncea Navarro, C. (2018). Caracterización geotécnica y tentativa de zonificación de los suelos de Punta Arenas. Universidad de Chile. <http://vu2018.admin.hosting.ing.udec.cl/descargas/14.pdf>

Fernández Polo, J. B. (2023). Zonificación de suelos para el diseño de cimentaciones superficiales en el sector CHOC, distrito de Moche, Trujillo, La Libertad. <http://repositorio.upao.edu.pe/handle/20.500.12759/10152>

- Gambini Zelada, J. A. (2021). Estabilización de la subrasante con cloruro de sodio en el Sector 24 la Villa de Huacariz-Cajamarca.
- Gianella, A., & Rafaele, B. (2023). Dosificación óptima de cloruro de sodio para la estabilización de subrasantes en sustratos arcillosos: Estudio en Puma Marca, San Sebastián, Cuzco. <https://repositorio.uss.edu.pe/handle/12345/67890>
- Gómez. (2021). Dosificación óptima de cloruro de sodio para la estabilización de subrasantes en sustratos arcillosos: Estudio en Puma Marca, San Sebastián, Cuzco.
- Hernández Sampieri, R., & Mendoza Torres, C. P. (2020). Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta (6.<sup>a</sup> ed.). McGraw-Hill.
- Huerta Quispe, L. M. (2022). Comportamiento de materiales granulares en capas de rodadura de caminos no pavimentados en zonas altoandinas. *Tesis de licenciatura*, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.
- Ibarra, K. A. (2019). Caracterización geotécnica de un sector de la ciudad de Neuquén en Argentina. <https://1library.co/document/y654vxoz-caracterizacion-geotecnica-sector-ciudad-neuquen.html>
- Marin Abanto, N. K. (2023). Influencia de la Aplicación de Cloruro de Sodio en la Estabilización de Suelos Arcillosos para Uso como Subrasante Mejorada del Pavimento de la Carretera Cajamarca - Huacariz 2021. <https://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/5793>
- Masís Flores, D. E. (2017). Zonificación y caracterización geotécnica de los suelos de la sede central del Instituto Tecnológico de Costa Rica. <https://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/7275>
- Melgarejo Paulino, L. A., & Reyes de la Cruz, E. S. (2022). Estudio de las propiedades físico-mecánicas del suelo con adición de cloruro de sodio en la calle Antival, Supe, Barranca. *Huacho*.
- More, S., & Ydrogo, E. (2020). *Estabilización de suelos con cloruro de sodio, en el camino de bajo volumen de tránsito desde el caserío Los Tubos hasta el caserío Pozo Cuarenta, distrito de Mórrope, provincia de Lambayeque, departamento Lambayeque*. <https://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/8363>
- Ojanama, S. S., & García, C. S. (2018). Microzonificación del suelo para uso de cimentaciones superficiales en el barrio San Juan, barrio Tangumi y barrio La Victoria, distrito de Soritor. Universidad Nacional de San Martín. <https://tesis.unsm.edu.pe/bitstream/11458/3827/1/CIVIL%20-%20Segundo%20Robinson%20Ojanama%20Sangama%20%26%20Simeon%20Garcia%20Cordova.pdf>
- Pacheco, O. V., Cadena, C. G., Ortega, S. E., & Vanegas, P. A. (2021). Zonificación geotécnica de los suelos de la ciudad de Valledupar mediante utilización de un SIG. <https://www.redalyc.org/journal/6078/607868325009/html/>
- Palomino et al. (2021). Análisis comparativo de estabilización para el mejoramiento de subrasante entre el uso del cloruro de sodio y el sistema Consolida en zonas urbanas.

Pareja Quispe, Juan Carlos. (2022). Uso de materiales sostenibles en la estabilización de suelos para infraestructura vial rural. Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.

Pineda & Martínez. (2021). La estabilización con adición de biopolímero natural, donde el universo de estudio fue consentido por los componentes de la subrasante de las vías del centro urbano. Colombia. <https://www.redalyc.org/journal/3442/344264140012/html>

Ponce, T. A., & Carraza, M. I. (2017). Estudio de zonificación geotécnica en el sector III del centro poblado El Milagro para el diseño de cimentaciones superficiales. <https://repositorio.upao.edu.pe/handle/20.500.12759/3559>

Pozo Carbajal, D. P. (2019). Influencia del aditivo cloruro de sodio como estabilizante de la subrasante de la carretera tramo cruce El Porongo - Aeropuerto - Cajamarca. Universidad Privada del Norte. <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/15027?locale-attribute=es>.

Provias Descentralizado. (2023). Convenio de Delegación de Competencias para la Ejecución de Proyecto de Inversión entre Provias Descentralizado y la Municipalidad Provincial de Abancay. [www.gob.pe/institucion/pvd/normas-legales/5854159-00459-2023-mtc-21](http://www.gob.pe/institucion/pvd/normas-legales/5854159-00459-2023-mtc-21)

Quispe Chuquillanqui, W. J. L. (2020). Estabilización de subrasante de vías en suelos expansivos con cloruro de sodio – Avenida Jacinto Ibarra, distrito de Chilca - Huancayo 2020. <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/8216>

Ramírez Huamán, K. L., & Soto Gutiérrez, M. E. (2020). Influencia del cloruro de sodio en las propiedades físicas y mecánicas de suelos arcillosos para uso vial. Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Arequipa, Perú.

Sandoval Ventura, J. (2021). Estabilización de suelos con cloruro de sodio para su uso en las vías terrestres. <https://www.docsity.com/es/docs/estabilizacion-de-suelos-con-cloruro-de-sodio-para-su-uso-en-las-vias-terrestres-prof-s/11349386/>

Sampieri, R. H. (2016). Metodología de la investigación.

Sanchez, A. I. (2019). Estudio geotécnico para el diseño de cimentaciones superficiales en viviendas unifamiliares en el Centro Poblado de Huamanmarca. Huancayo.

Solorio, & Vásquez. (2017). Zonificación geotécnica superficial de la ciudad de Uruapan, Michoacán. México.

Tucto, H. F. (2022). Estabilización de suelos con cloruro de sodio y cemento Portland en la carretera departamental HU-108 tramo: Aeropuerto - Conchumayo - Churubamba, Huánuco - 2021. Huánuco.

Vasquez, R. A. A., Guanuchi Orellana, L. M., Cahuana Tapia, R. D., Vera Trevez, R., & Holgado Tisoc, J. (2023). Métodos de investigación científica. INUDI-PERÚ. <https://doi.org/10.35622/inudi.b.094.6>

Villacís, et al. (2022). Comparar las propiedades de los suelos arcillosos hinchables estabilizados con una sustitución de ceniza de desechos de arroz (CCA) y ceniza volcánica (CV). <https://rte.espol.edu.ec/index.php/tecnologica/article/view/821>

Los anexos, panel fotográfico y otros documentos están resguardados en la oficina de repositorio digital institucional en la Biblioteca Central de la Universidad Tecnológica de los Andes