



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**ESTUDIO COMPARATIVO DE LOS ESTABILIZANTES PROES,
CONAID Y TERRAZYME APLICADO EN SUBRASANTES DE
VÍAS NO PAVIMENTADAS, TRAMO LARA – LLIQUI, REGIÓN
CUSCO, 2022.**

TESIS

PRESENTADA POR:

Bach. EDWIN ROMERO SARA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO CIVIL

PUNO – PERÚ

2024



Reporte de similitud

NOMBRE DEL TRABAJO

ESTUDIO COMPARATIVO DE LOS ESTAB
ILIZANTES PROES, CONAID Y TERRAZY
ME APLICADO EN SUBRASANTES DE VÍ
AS NO PAVIMENTADAS, TRAMO LARA -
LLIQUI, REGIÓN CUSCO, 2022

AUTOR

EDWIN ROMERO SARA

RECuento DE PALABRAS

18331 Words

RECuento DE CARACTERES

98579 Characters

RECuento DE PÁGINAS

87 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

1.2MB

FECHA DE ENTREGA

Oct 9, 2024 11:39 PM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Oct 9, 2024 11:41 PM GMT-5

● 11% de similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 9% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 8% Base de datos de trabajos entregados
- 1% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● Excluir del Reporte de Similitud

- Material bibliográfico
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 10 palabras)

Visto,

19 octubre 2024
Ing. J. Leiva
DOCENTE UNIVERSITARIO
COD. UNA N° 820545
SUBDIRECCIÓN INVESTIGACION EDC


MSc. Emilio Gastón Aroni
DOCENTE UNIVERSITARIO
COD. UNA N° 820514

Resumen



DEDICATORIA

A mis queridos padres Casimiro Romero y Rosita Sara; esposa e hijo quienes con su amor y valores me impulsaron a perseverar por lograr mis metas, gracias por inculcar en mí con su ejemplo el esfuerzo y valentía de enfrentar las adversidades con la ayuda de Dios.

Edwin Romero Sara



AGRADECIMIENTOS

Mi profundo agradecimiento a:

Querido Ing. Emilio Castillo, quisiera expresar por su orientación profesional en el desarrollo del presente trabajo de investigación. Su experiencia y dedicación fueron fundamentales para la culminación de este proyecto académico. Gracias por compartir sus conocimientos y ser un mentor excepcional.

A los distinguidos miembros del jurado, Ing. José Luis Cutipa, Ing. Cesar Edwin Guerra e Ing. Gino Laque; agradezco sinceramente su tiempo, esfuerzo y dedicación al evaluar mi trabajo de tesis. Sus sugerencias han contribuido al desarrollo de mi proyecto, enriqueciendo mi sapiencia. Su compromiso con la excelencia académica ha sido motivador.

A mi primera casa de estudios; la Universidad Nacional del Altiplano, a las autoridades y personal docente de la Escuela Profesional de Ingeniera Civil, por haberme acompañado en el programa a crecer y fortalecerme a nivel profesional y por permitirme cumplir mis objetivos como persona y culminar la profesión.

Edwin Romero Sara



ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTOS	
ÍNDICE GENERAL	
ÍNDICE DE FIGURAS	
ÍNDICE DE TABLAS	
ACRÓNIMOS	
RESUMEN	12
ABSTRACT.....	13
CAPÍTULO I	
INTRODUCCIÓN	
1.1. PROBLEMÁTICA.....	14
1.1.1. Problema general	15
1.1.2. Problemas específicos.....	15
1.2. HIPÓTESIS	15
1.2.1. Hipótesis general.....	15
1.2.2. Hipótesis específicas.....	16
1.3. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	16
1.3.1. Justificación técnica	16
1.3.2. Justificación práctica.....	17
1.3.3. Justificación social	17
1.3.4. Justificación económica	18
1.4. OBJETIVOS.....	18
1.4.1. Objetivo general.....	18



1.4.2. Objetivos específicos 18

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1.	ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	19
2.1.1.	Antecedentes internacionales.....	19
2.1.2.	Antecedentes nacionales	20
2.1.3.	Antecedentes regionales	22
2.2.	DEFINICIÓN DE SUELO	24
2.3.	SUBRASANTES	25
2.4.	LAS CATEGORÍAS DE UNA SUBRASANTE	27
2.5.	ESTABILIZACIÓN DE SUELOS	28
2.6.	TIPOS DE ESTABILIZACIÓN	28
2.6.1.	Estabilización mecánica.....	28
2.6.2.	Estabilizantes Químicos.....	28
2.6.3.	Estabilización física	30
2.7.	DENSIDAD SECA	31
2.8.	CBR (CALIFORNIA BEARING RATIO)	31
2.9.	CLASIFICACIÓN DE SUELOS	32
2.10.	ADITIVOS PROES	33
2.11.	ADITIVOS CONAIT	33
2.12.	ADITIVOS TERRAZYME	34
2.13.	MARCO NORMATIVO	36

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1.	UBICACIÓN DEL ESTUDIO	37
-------------	------------------------------------	-----------



3.2.	ACCESIBILIDAD	38
3.3.	CONSIDERACIONES CLIMÁTICAS	39
	3.3.1. Temperatura	39
	3.3.2. Precipitaciones	39
	3.3.3. Lluvia	40
	3.3.4. Viento.....	40
3.4.	TOPOGRAFÍA.....	40
3.5.	PERIODO DE DURACIÓN DEL ESTUDIO	41
3.6.	MATERIALES.....	41
3.7.	METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	41
	3.7.1. Tipo de instigación.....	41
	3.7.2. Diseño de investigación	41
	3.7.3. Enfoque de Investigación.....	42
	3.7.4. Población	43
	3.7.5. Muestra	43
	3.7.6. Muestreo	43
	3.7.7. Prueba Estadística	44
3.8.	VALIDEZ DEL EQUIPOS Y CONFIABILIDAD	44
3.9.	PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL.....	44
	3.9.1. Etapa preliminar.....	44
	3.9.2. Etapa de campo	45
	3.9.3. Etapa de laboratorio	46
CAPÍTULO IV		
RESULTADOS Y DISCUSIÓN		
4.1.	PROPIEDADES FÍSICAS DE LA SUBRASANTE	52



4.1.1. Máxima densidad seca MDS de la subrasante	55
4.1.2. Contenido de humedad óptimo CHO de la subrasante	57
4.1.3. Capacidad de soporte CBR de la subrasante	58
4.2. COSTO DE ESTABILIZACIÓN DE UNA SUBRASANTE	63
4.2.1. Costo de estabilización adicionando PROES	63
4.2.2. Costo de estabilización adicionando CONAID	63
4.2.3. Costo de estabilización adicionando TERRAZYME	64
4.3. COSTO - BENEFICIO DE LA ESTABILIZACIÓN DE UNA SUBRASANTE ADICIONANDO ADITIVOS ESTABILIZANTES.	65
4.4. CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS	66
4.4.1. Prueba de ANOVA para la máxima densidad seca.....	66
4.4.2. Prueba de ANOVA para el contenido de humedad óptimo	67
4.4.3. Prueba de ANOVA para la capacidad de soporte	69
4.5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	70
V. CONCLUSIONES.....	74
VI. RECOMENDACIONES	76
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	77
ANEXOS.....	85

Área : Ingeniería civil

Tema : Estudio comparativo de los estabilizantes proes, conaid y terrazyme aplicado en subrasantes de vías no pavimentadas, tramo Lara – Lliqui, región Cusco, 2022.

FECHA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS: 18 de octubre del 2024



ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 Partes de un pavimento (SUBRASANTE).....	26
Figura 2 Ubicación geográfica del proyecto.....	38
Figura 3 Ubicación de la zona de proyecto.....	38
Figura 4 Se evidencia la extracción de la muestra de la trocha carrozable Lara – Llique.....	45
Figura 5 Se evidencia, el carguío de material para su transporte a la ciudad.	46
Figura 6 Ensayo del contenido de humedad el secado de la muestra en horno.	47
Figura 7 Ensayo del Proctor modificado muestra natural.....	50
Figura 8 Ensayo del CBR.	51
Figura 9 Representación gráfica de la curva granulométrica.....	53
Figura 10 Representación gráfica de la comparación de la máxima densidad seca ...	56
Figura 11 Representación gráfica de la comparación del contenido de humedad óptimo	58
Figura 12 Representación gráfica de la comparación de la capacidad de soporte al 95%	60
Figura 13 Representación gráfica de la comparación de la capacidad de soporte al 100%.....	62



ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Categoría de la subrasante (CBR).....	27
Tabla 2 Clasificación de aditivos no-tradicionales.	30
Tabla 3 Valores de CBR por categoría	32
Tabla 4 Cuadro de clasificación de tipos de suelos.	32
Tabla 5 Acceso al lugar del proyecto a realizar.	39
Tabla 6 Análisis granulométrico de cantera.....	52
Tabla 7 Características físicas de la subrasante natural	53
Tabla 8 Variación de la máxima densidad seca con diversos aditivos	55
Tabla 9 Variación del contenido de humedad óptimo con diversos aditivos.....	57
Tabla 10 Variación de la capacidad de soporte al 95% con diversos aditivos.....	59
Tabla 11 Variación de la capacidad de soporte al 100% con diversos aditivos.....	61
Tabla 12 Descripción de presupuesto al adicionar aditivo proes.....	63
Tabla 13 Descripción de presupuesto al adicionar aditivo Conaid.	63
Tabla 14 Descripción de presupuesto al adicionar aditivo Terrazine.	64
Tabla 15 Comparación del costo y el CBR.....	65
Tabla 16 Prueba de ANOVA para la máxima densidad seca	66
Tabla 17 Prueba post hoc de Tukey para la máxima densidad seca	66
Tabla 18 Prueba de ANOVA para el contenido de humedad óptima	68
Tabla 19 Prueba post hoc de Tukey para el contenido de humedad óptimo.....	68
Tabla 20 Prueba de ANOVA para la capacidad de soporte	69
Tabla 21 Prueba post hoc de Tukey para la capacidad de soporte.....	69



ACRÓNIMOS

ASTM: Sociedad Americana para Pruebas y Materiales.

AASHTO: asociación americana de funcionarios estatales de carreteras y transporte.

ETGC: Especificaciones Técnicas generales para la construcción.

MDC: Máxima Densidad Seca.

MTC: Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

NTP: Norma Técnica peruana.

S/A: Sin aditivo.

SUCS: Sistema unificado de Clasificación de Suelos.

CBR: California Bearing Ratio.

CHO: Contenido Optimo de Humedad



RESUMEN

El objetivo de la investigación es efectuar un análisis comparativo de los estabilizantes Proes, Conaid y Terrazyme aplicado en subrasantes de vías no pavimentadas. Esta investigación hizo uso de una metodología cuantitativa basada en un diseño cuasiexperimental y una selección de participantes elegidos mediante muestreo crítico o juicioso. Los hallazgos de la prueba de límite de consistencia muestran que existe un límite plástico natural del suelo del 15% y un límite líquido del 25%, un contenido de humedad de 8.34%, la gravedad específica fue de 2.774 gr/cm³, el CBR al 95% del suelo natural fue de 4.6%, adicionando aditivo PROES al 25%, 28% y 30% fue de 14.6%, 33.6% y 46.6%, adicionando aditivo CONAID en 15%, 18% y 20% fue de 8.4%, 16.1% y 35.8%, adicionando TERRAZYME en porcentajes de 2%, 3% y 4% los hallazgos fueron 7.5%, 6.1% y 14.7%, en cuanto al costo para mejorar una capa se subrasante de la vía mencionada, adicionando el aditivo PROES fue de S/. 731077.28, con la adición de CONAID fue de S/. 703469.78, finalmente adicionando aditivo TERRAZYME el costo fue de S/. 537824.78, **concluyendo** que la capacidad de soporte del suelo mejoró con la adición del 28% de PROES, considerándose una dosificación óptima, sin embargo, el costo es más elevado que el resto de aditivos, por el alto porcentaje utilizado.

Palabras Clave: Aditivos, Arcilla, Estabilización, Gravedad específica, Plasticidad, Suelos.



ABSTRACT

The objective of this research is to carry out a comparative analysis of the stabilizers Proes, Conaid and Terrazyme applied to unpaved road subgrades. This research employed a quantitative strategy based on a quasi-experimental design and purposeful, critical, or judgmental sampling for its data collection. The data resulting from the consistency limits test show that the plastic limit of the natural soil was 15% and a liquid limit of 25%, a moisture content of 8.34%, the specific gravity was 2.774 gr/cm³, the CBR at 95% of the natural soil was 4.6%, adding PROES additive at 25%, 28% and 30% was 14.6%, 33.6% and 46.6%, adding CONAID additive at 15%, 18% and 20% was 8.4%, 16.1% and 35.8%, adding TERRAZYME in percentages of 2%, 3% and 4% the results were 7.5%, 6.1% and 14.7%, as for the cost to improve a subgrade layer of the mentioned road, adding The PROES additive was S/. 731077.28, with the addition of CONAID it was S/. 703469.78, finally adding TERRAZYME additive the cost was S/. 537824.78, concluding that the soil support capacity improved with the addition of 28% of PROES, considering it an optimal dosage, however, the cost is higher than the rest of the additives, due to the high percentage used.

Keywords: Additives, Clay, Stabilization, Specific gravity, Plasticity, Soils.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. PROBLEMÁTICA

El volumen de suelos en todo el mundo se expande durante la temporada de lluvias y se contrae durante la seca, dando lugar a suelos expansivos. Callo & Canta (2022). En Latinoamérica, se han construido estructuras viales y hogares sobre suelos expansivos, lo que ha provocado asentamientos excesivos y deficiencias en la capacidad de carga, lo que puede dañar gravemente la infraestructura. Actualmente en Perú, la mayor parte de Latinoamérica, según Noriega (2022, pág. 1) en el área de la ingeniería civil y geotécnica, la presencia de suelos muy cohesivos es el problema más frecuente, especialmente en la construcción de carreteras. Según Ramos y otros (2020), esto se debe a que hay varias áreas en el país, como la costa, la sierra y el bosque, que existe una topografía y geología muy diversas y diferentes que presenta dicho lugar con respecto a los tipos de suelos. Como resultado, es difícil encontrar una solución para aumentar el soporte para cada tipo de suelo y su capacidad.

Según el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2022) en la región de Cusco, hay 2801.2 km de red vial departamental y 113847.9 km de red vial vecinal RVV, con 6424.0 km a nivel de trocha. Por lo tanto, carecen de infraestructura vial y deben ser atendidas para facilitar la accesibilidad y comunicación entre sectores, distritos rurales como urbanos. La región de la sierra de Cusco se caracteriza por tener suelos arcillosos en su territorio, debido a su incumplimiento de los requisitos mínimos establecidos en la normativa nacional, estos materiales no son aptos para su uso como subrasantes en proyectos. La obtención de canteras con materiales granulares adecuados es un desafío adicional para trabajar en proyectos de carreteras, que también implica un alto costo. La



incapacidad del suelo arcilloso para soportar adecuadamente el peso de los vehículos lo hace inadecuado para la construcción de caminos y senderos, lo que provoca problemas de asentamiento y agrietamiento, lo que reduce la vida útil de las vías.

1.1.1. Problema general

- ¿Cuál será la influencia de los estabilizantes Proes, Conaid y Terrazyme aplicados en la subrasante de vías no pavimentadas, tramo Lara – Lliqui, Región Cusco, 2022?

1.1.2. Problemas específicos

- ¿Cuál será la influencia de los estabilizantes Proes, Conaid y Terrazyme en la máxima densidad seca y óptimo contenido de humedad de la subrasante de la vía no pavimentada, tramo Lara – Lliqui, Región Cusco, 2022?
- ¿Cuál será la influencia de los estabilizantes Proes, Conaid y Terrazyme en el valor del CBR de la vía no pavimentada, tramo Lara – Lliqui, Región Cusco, 2022?
- ¿Cuál será el costo – beneficio al aplicar los estabilizantes Proes, Conaid y Terrazyme en la subrasante de la vía no pavimentada, tramo Lara – Lliqui, Región Cusco, 2022?

1.2. HIPÓTESIS

1.2.1. Hipótesis general

- Al realizar la comparativa de los estabilizantes Proes, Conaid y Terrazyme de la vía no pavimentada tramo Lara – Lliqui, Región Cusco, el



estabilizador Proes mejora notablemente las características de la subrasante.

1.2.2. Hipótesis específicas

- Al aplicar los estabilizantes Proes, Conaid y Terrazyme en la subrasante de la vía no pavimentada, tramo Lara – Lliqui, Región Cusco, la mejora que se obtiene en la máxima densidad seca y el óptimo contenido de humedad es con el estabilizante Conaid.
- Al aplicar los estabilizantes Proes, Conaid y Terrazyme en la subrasante de la vía no pavimentada, tramo Lara – Lliqui, Región Cusco, la mejora que se obtiene en el valor del CBR es con el estabilizante Terrazyme.
- Al aplicar los estabilizantes Proes, Conaid y Terrazyme en la subrasante de la vía no pavimentada, tramo Lara – Lliqui, Región Cusco, la mejor relación costo – beneficio la presenta el estabizante Terrazyme.

1.3. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1. Justificación técnica

El propósito de este estudio es determinar qué suelos son aptos para su uso como sustratos de carreteras, con el objetivo de aumentar su durabilidad y resistencia. El uso de suelo de alta calidad para la construcción de subrasante de carreteras no sólo fortalece la plataforma de la carretera, extendiendo su durabilidad, sino que también mejora las características físicas y mecánicas de las carreteras no pavimentadas. Dentro de los métodos de aplicación, el método químico es una opción de estabilización cuando no se cumplan los requisitos mínimos de resistencia en una subrasante, para su aplicación el profesional encargado sustenta mediante un estudio técnico que el suelo alcanzará los



requerimientos al adicionar el aditivo químico, además que los insumos no deberán generar riesgos a la vida humana, demás seres vivos y al medio ambiente, ya que su composición debería de estar constituida a base de enzimas o compuestos multi enzimáticos que trabajen para el beneficio del medio ambiente, por lo que solo requerirán de agua para su dilución y aplicación (CE 020, 2018).

En la investigación de (Singh, 2021) menciona que adicionando el aditivo Terrazyme incrementa en la resistencia a compresión del suelo, se encontró evidencia mínima donde el aditivo se utiliza colectivamente en combinación binaria para la estabilización de un suelo.

1.3.2. Justificación práctica

Actualmente el estudio tiene una finalidad de conocer el impacto económico de los aditivos estabilizantes aplicados en la subrasante de una vía no pavimentada, absolver los problemas que existen en tiempos de avenida en que se presenta en el tramo Lara -Lliqui, para ellos son viables las estabilizaciones de suelos con aditivos para que mantengan una resistencia en cambios de clima en la región de Cusco.

1.3.3. Justificación social

Se justifica socialmente porque este estudio radica en su exploración de los efectos de la aplicación de estabilizadores en una carretera cercana a las comunidades, midiendo los hallazgos positivos para las poblaciones circundantes, lo que reduce el tiempo y los costos al no tener que explotar canteras que pueden estar cerca de estas comunidades, lo que podría afectar su funcionamiento normal.



1.3.4. Justificación económica

Se justifica económicamente porque mediante la investigación, nuestro objetivo es identificar el agente estabilizador óptimo, minimizando así los gastos de mantenimiento de carreteras.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. Objetivo general

- Efectuar un análisis comparativo de los estabilizantes Proes, Conaid y Terrazyme aplicado en subrasantes de vías no pavimentadas, tramo Lara – Lliqui, Región Cusco, 2022.

1.4.2. Objetivos específicos

- Determinar la influencia de los estabilizantes Proes, Conaid y Terrazyme en la máxima densidad seca y óptimo contenido de humedad de la subrasante de la vía no pavimentada, tramo Lara – Lliqui, Región Cusco, 2022.
- Determinar la influencia de los estabilizantes Proes, Conaid y Terrazyme en el valor de CBR de la vía no pavimentada, tramo Lara – Lliqui, Región Cusco, 2022.
- Analizar el costo – beneficio de la aplicación de los estabilizantes Proes, Conaid y Terrazyme en la subrasante de la vía no pavimentada, tramo Lara – Lliqui, Región Cusco, 2022.



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.1. Antecedentes internacionales

Ahirwar & Sir (2021), buscó estabilizar el suelo de algodón negro con bioenzimas (Terrazyme), la metodología aplicada fue de tipo experimental con un muestreo distribuido. Los hallazgos de la prueba de límites de consistencia muestran que de 0 a 600 ml/m³ de suelo, el nivel de medición de enzimas aumenta, el límite de liquidez potencial ha bajado del 26,13% al 23,81%, el límite de contracción del 14,76% al 12,56% y el límite plástico potencial del 20,57% al 18,23%, todas ellas pequeñas reducciones, la conclusión de que los límites de consistencia del suelo BioEnzymatic mejoraron mucho, la DFS del suelo adyacente. Se determinan que la proporción ideal de Terrazyme para el suelo es de 400 mililitros por metro cúbico, donde el suelo exhibe una notable mejora en todas las propiedades geotécnicas.

De la misma manera, Farooq & Singh (2020) tuvo como objetivo estudiar el resultado experimental mediante la realización de diversas pruebas bioenzimáticas de estabilización del suelo, la metodología es aplicada basándose en un diseño experimental. La tierra de algodón negro mezclada con bioenzima (terrazyme) en diferentes dosis (250 ml/2 m³, 250 ml/1,5 m³, 250 ml/1,0 m³ y 250 ml/0,5 m³) mostró un incremento en la resistencia compresiva libre del suelo del 40,25% al 73,33% durante un período de curado de 28 días. De igual manera, se observó un valor ascendente de CBR sin remojar del 5,45 al 8,35 (53,21%) al



aumentar la dosis de terrazyme. En conclusión, el aumento de terrazima en la combinación de suelo de algodón negro mejora notablemente la resistencia a la compresión libre y el índice de carga de California (CBR) no empapado del suelo.

Asimismo, Chaurasia, Mishra, & Pawar (2021) El objetivo general de su estudio es confirmar que la adición de una bioenzima llamada Terrazyme mejora las cualidades de la tierra de algodón negra (BCS) y la tierra roja (RS). El método empleado de tipo experimental, donde la bioenzima fue ensayada en suelos con diferentes propiedades de índice, tanto vírgenes como estabilizados, con diferentes dosis. En los hallazgos en la segunda adición de estabilizador se observó una mejora significativa en la resistencia del suelo. En las pruebas de UCS (compresión sin confinamiento), se observó un aumento de 168 KPa en la capacidad portante (BCS) y 174 KPa en la resistencia a la deformación (RS). En las pruebas de CBR (índice de soporte de California), se encontró un incremento del 5,5% en la BCS y del 5,7% en la RS. Este estudio demuestra que la estabilización mejora significativamente la resistencia del suelo, aumentando así la capacidad de carga del suelo y su resistencia a la deformación.

2.1.2. Antecedentes nacionales

Según Villalobos & Guevara (2020), se basó como objetivo determinar la influencia de estabilizantes químicos consolidado, conaid y proes en la economía y resistencia de suelos con elevado contenido de arcilla para mejorar una subrasante de la vía de acceso de la Asociación María Magdalena, Lurigancho – Chozica, se desarrolló la investigación bajo un diseño experimental, los hallazgos del estudio revelan un incremento en los valores de CBR al utilizar los diferentes aditivos. El sistema consolidó logró mejorar la clasificación del suelo de "pobre"



a "excelente" con un CBR del 36,20%. Por otro lado, el aditivo Proes obtuvo un valor de CBR del 75,00%, mientras que la adición de Con-aid junto con cemento Portland alcanzó un CBR del 52,00%, concluyendo que el aditivo Proes junto con el cemento Portland es la mejor opción para modificar las propiedades mecánicas del suelo, mejorando su valor resultante. El Proes no solo incrementa la resistencia, sino que también es considerado el aditivo más económico en el mercado.

Según Guerra & Quispe (2021), tiene como objetivo evaluar los efectos de los polímeros de acrilamida, los aceites sulfonados y las diferentes dosis de cemento, este estudio utilizó una técnica cuantitativa para investigar las características mecánicas y físicas de los suelos granulares, lo que significa que se utilizaron datos numéricos para examinar el tema de investigación. El tipo de investigación fue aplicada, puesto que se buscó generar conocimiento útil para la resolución de un problema real. El diseño utilizado fue cuasi - experimental, debido a que no se pudo controlar plenamente la asignación de individuos a los distintos grupos de investigación. El uso de aditivos Proes y Polycom con cantidades variadas de cemento Portland Tipo I durante la estabilización de las canteras Ccatillo y Murucancha dieron como resultado mejoras significativas en la resistencia, durabilidad y una disminución del ascenso capilar. Si bien ambos aditivos mostraron resultados positivos, el aditivo Proes presentó un ligero incremento en términos de resistencia y durabilidad en comparación con el aditivo Polycom, cuando se utilizaron en las mismas proporciones de cemento y en las mismas canteras.

Según Ortega (2016), en su investigación tiene como objetivo reducir la operación y costos en la estabilización de vías no pavimentadas aplicando



estabilizante de suelo, enzimas Terrazyme. En el diseño experimental y analítico se empleó el molde de matriz arcillosa o limosa, el cual se aplicó a 500 metros de suelo. La información fue procesada mediante el uso de los programas Excel y S10. La adición en el aditivo Terrazyme aumentó significativamente la capacidad de carga del suelo, según los hallazgos de la prueba CBR. La adición de 0,027 ml de Terrazyme dio como resultado un aumento del 25,89%, mientras que el mismo aditivo, cuando se añadió a 0,054 ml, tuvo el mismo resultado, hubo un aumento significativo del 46,67 %, así mismo al comparar costos de estabilización por m³ se obtuvo un ahorro de S/. 164.11 entre emulsión asfáltica y el aditivo Terrazyme, de igual forma se obtuvo un ahorro de S/. 60.67 entre el aditivo PolyCom y el aditivo TerraZyme. En conclusión, el uso de TerraZyme no sólo reduce el costo de estabilización del suelo, sino que también mejora considerablemente la capacidad de carga del suelo, según lo evaluado por el índice CBR.

2.1.3. Antecedentes regionales

Según Guzmán (2018) buscó determinar el impacto de las enmiendas químicas en la mejora de las características mecánicas y físicas de los suelos que constituirían la ruta Puno-Aeropuerto Ventilla en la Región Puno. El diseño metodológico fue de tipo experimental. Según la investigación, la capacidad de carga del suelo (CBR) aumentó considerablemente después de aplicar Terrazyme. El CBR subió de 56,37% a 72,20% con relación a los suelos de cantera Salcedo. Como alternativa, el CBR aumentó de 31,60% a 33,36% en los suelos de la cantera Condoriri. En resumen, Terrazyme se incorporó con éxito y contribuyó a mejorar las propiedades del suelo.



Cárdenas (2018) buscó determinar cómo el aditivo Con-aid CBR Plus optimiza el suelo para su uso como base en pavimento flexible en la carretera Juliaca–Tilali. La tipología de diseño de la investigación de fue Cuasi experimental, con un tipo aplicada y enfoque cuantitativo. Los hallazgos del estudio indican que el aditivo CON-AID CBR Plus cumple efectivamente con la función de aumentar el índice CBR del suelo arcilloso. Se logró un valor máximo de CBR del 56% con una dosis del 1.0%, lo que se considera la dosis ideal para este tipo de material. En conclusión, la adición del aditivo incrementó significativamente el grado de compactación y soporte del suelo, lo que se traduce en un ahorro de tiempo en el proceso de compactación.

Según Pari (2019), en su estudio tiene como objetivo evaluar factores que permitan alcanzar el grado de compactación para alcanzar un suelo estructurado en los procesos constructivos de carreteras en zonas frías de la región Puno. La metodología que empleo fue experimental, tomando como muestra la vía Santa Rosa-Nuñoa-Macusani, al aumentar la densidad seca máxima de los suelos utilizando la adición química TerraZyme, los investigadores pudieron comprender mejor las características físicas así como mecánicas de los suelos. En los hallazgos se demostró en suelos no recomendables con el empleo del aditivo TerraZyme, el suelo mejora su densidad seca. Se concluye la adición de aditivos químicos TerraZyme a los suelos durante el procedimiento de compactación aumenta la densidad seca del suelo en la construcción de estructuras viales, lo que conduce a una mayor durabilidad de las vías.



2.2. DEFINICIÓN DE SUELO

Los elementos que componen la Tierra se pueden clasificar en dos categorías principales según su origen. Un grupo está formado por elementos inorgánicos que han sido alterados física y/o químicamente por la erosión de rocas, minerales y suelos. Por otro lado, están los elementos orgánicos, que se originan principalmente de la descomposición de la materia viva, como el humus, la turba y el compost (Castillo, 2018).

Gravas

Las gravas son agregados sueltos de fragmentos de roca que fueron erosionados y transportados por el agua o el viento. Estos fragmentos tienen una forma generalmente redondeada y varían de tamaño desde 2,0 mm, a tamaños de hasta 7,62 cm. Se encuentran en forma de lechos en áreas de tierra que han sido rellenadas por los ríos (Castillo, 2018).

Arenas

Los materiales de granos finos, como la arena y la grava, pueden provenir de dos fuentes: la erosión natural de las rocas (denudación) o la trituración artificial de materiales rocosos. Los tamaños de las partículas en estos materiales varían de 2 mm a 0,05 mm; por ejemplo, la arena es más fina que la grava. Es común encontrar estos dos tipos de materiales juntos en la naturaleza (Castillo, 2018).

Limos

Las limosinas son un tipo específico de suciedad que contiene partículas tan pequeñas como 0,05 mm a 0,005 mm de tamaño. Debido a su tamaño microscópico, estas partículas son invisibles al ojo humano. Las limosinas suelen venir en dos variedades: baba inorgánica, que es común en las canteras, y baba orgánica, que se forma en los lechos de los ríos a partir de la descomposición de materia vegetal (Castillo, 2018).



Arcilla

Las arcillas son partículas de suelo muy pequeñas, que miden menos de 0,005 mm de diámetro. Al combinarse con agua adquieren una flexibilidad que les permite ser moldeados y esculpidos. Las arcillas se encuentran en abundancia en suelos y sedimentos, ya que se forman principalmente a partir de la meteorización o descomposición de minerales de silicato (Castillo, 2018).

2.3. SUBRASANTES

Los pavimentos para carreteras están constituidos por un conjunto de capas superficiales relativamente horizontales, compuestas por materiales seleccionados, se pueden conformar por una capa asfáltica apoyada sobre capas de menor rigidez, compuestas por materiales granulares no tratados o ligados (base, subbase, afirmado y subrasantes mejoradas o de material de conformación), que a su vez se soportan sobre el terreno natural o subrasante (Rondón, et al., 2022 pág. 44).

La subrasante es la capa natural que está debajo de un pavimento y actúa como su soporte principal. Su función es proporcionar una base uniforme y resistente para el pavimento, sin sufrir cambios bruscos en su capacidad de soporte (CBR). Para garantizar la idoneidad de la subrasante, se realizan ensayos de laboratorio en muestras del suelo. Estos ensayos permiten determinar si el suelo tiene la capacidad de soportar las cargas del pavimento sin sufrir daños como agrietamientos. Villalobos & Guevara (2020).

Figura 1

Partes de un pavimento (SUBRASANTE).



Elaboración Propia: Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

Capa de rodadura

La capa de rodadura es la parte del pavimento que se ubica en la parte superior y es la que no entra en contacto con los vehículos. Puede estar hecha de diferentes materiales, como asfalto (en pavimentos flexibles), concreto de cemento Portland (en pavimentos rígidos) o adoquines. Su función principal es absorber y distribuir las cargas y tensiones que generan los vehículos, protegiendo las capas inferiores del pavimento y evitando deformaciones (Castillo, 2018).

Base

La base se encuentra entre la subrasante del pavimento, así como la capa de rodadura. Sostener, distribuir y transferir cargas de tráfico a la subrasante es su deber principal. Para cumplir con esta función, la base debe estar hecha de un material granular con buen drenaje y una capacidad de soporte adecuada (CBR superior o igual al 80%). También es posible tratar la base con cal, cemento Portland o asfalto para mejorar sus propiedades (Castillo, 2018).

Sub base

La subbase es una capa de pavimento que se sitúa por encima de la subrasante, y es una capa intermedia. Su función principal es controlar el ascenso del agua por capilaridad desde la subrasante, actuando como una capa de drenaje. Si no se le aplica un tratamiento con cal, cemento Portland o asfalto, el material granular utilizado en la subbase debe tener una capacidad de soporte (CBR) superior al 40% (Castillo, 2018).

Sub rasante

Es una capa de tierra que se debe preparar y compactar previamente para luego colocarla Estructura de revestimiento. La función de la base de la carretera es soportar toda la estructura. desde la acera; por lo tanto, el suelo debe tener propiedades aceptables, las cuales. En capas y comprimido para crear un cuerpo estable en las mejores condiciones, para protegerlo de la carga de tráfico de diseño (Castillo, 2018).

2.4. LAS CATEGORÍAS DE UNA SUBRASANTE

Tabla 1

Categoría de la subrasante (CBR).

CATEGORÍAS DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE	ITEM	Descripción de CBR (%)
Muy pobre	S0	Suelo muy débil. Requiere una mejora considerable para un de CBR < 3%
Pobre	S1	Suelo con capacidad de soporte moderada baja, requiere una mejora. CBR \geq 3% A CBR<6%
Regular	S2	Suelo con capacidad de soporte moderada, requerir una mejora CBR \geq 6% A CBR <10%
Buena	S3	Suelo con capacidad de soporte moderada, requerir una mejora CBR \geq 10% A CBR < 20%
Muy buena	S4	Suelo fuerte y estable adecuado para soportar cargas moderadas para un CBR \geq 20% A CBR
Excelente	S5	Suelo muy fuerte y estable sin necesidad de mejora para un CBR mayor igual a 30%

Fuentes: ministerio de transportes y comunicaciones (2013).



2.5. ESTABILIZACIÓN DE SUELOS

La estabilización de suelos es un procedimiento que tiene como objetivo potenciar las cualidades ambientales del suelo de la zona donde se ubicó por primera vez. Para ello se incorporan al suelo compuestos químicos, ya sean naturales o sintéticos. Estos químicos alteran las características del suelo, haciéndolo más resistente al daño, estable y duradero, para lograr un mejor resultado sobre la propiedad de su resistencia y durabilidad, para tener resultados esperados o mejores Montejo & Alfonso (2002).

2.6. TIPOS DE ESTABILIZACIÓN

2.6.1. Estabilización mecánica

La estabilización mecánica es una técnica que mejora las características del suelo mediante la mezcla con otros materiales. Esta mezcla produce un nuevo material de alta calidad que cumple con las especificaciones requeridas. La estabilización mecánica mejora principalmente el tamaño y la plasticidad del suelo. El tamaño del suelo afecta su sensibilidad al agua y su capacidad de drenaje, mientras que la plasticidad influye en la durabilidad, la facilidad de manejo y la compacidad del suelo. (Laura, 2021).

2.6.2. Estabilizantes Químicos

La estabilización química se refiere a la fusión de un producto con una muestra de suelo para inducir una reacción química, alterando así las características del suelo, la estabilización química es aplicable en variedades de suelos que son difíciles de trabajar, suelos de variación de volúmenes y aumentar ciertas cualidades, como la resistencia y la durabilidad , en suelos estabilizados; En cuanto a las arcillas en dispersión, la estabilización química tiende a flocularlas



(Braja, 2014). Así mismo se debe considerar que los elementos que se agregan en la mezcla van a reaccionar distinto al depender de la composición química de la tierra (Guzman & Iñiguez, 2016).

Productos cementantes o tradicionales

Cada nación tiene sus propias especificaciones técnicas que han establecido y han mantenido su empleo. Esto indica que existe una base sólida que se puede utilizar como base para continuar elaborando el proceso de estabilización de manera efectiva. También se incluyen el procedimiento de evaluación, circunstancias de uso, cambios en las características del suelo, rangos de dosis que afectan la mezcla y cualquier otra dificultad que pueda surgir. Según el BID (2019), el cemento se puede encontrar en asfalto, cemento, cal o una mezcla de ceniza y cemento (Pumaricra, 2022).

Productos no tradicionales

Se han descubierto muchos productos; en este campo, la mayoría no presenta un documento técnico normalizado que indique las características o especificaciones que deben cumplir los aditivos o agregados para ser utilizados en el proceso de mezcla (Pumaricra, 2022).

Tabla 2

Clasificación de aditivos no-tradicionales.

Absorbentes de agua	Derivados del petróleo	No derivados del petróleo	Electroquímicos	Polímeros sintéticos	Aditivos de arcilla
Cloruro de calcio	Emulsión asfáltica	Grasa de animales	Enzimas	Acetato polivinílico	Bentonita
Cloruro de sodio	Líquidos asfálticos	Lignosulfatos	Productos iónicos	Vinil acrílico	Montmorillonita
Cloruro de magnesio	Emulsiones de asfalto modificado	Melaza-azúcar de beterraga	Aceite sulfonatos		
		Emulsiones de aceite de tallos			
		Aceites vegetales			

Fuente: Dirección de Estudios Especiales, MTC.

2.6.3. Estabilización física

La mejora del suelo se logra mediante cambios físicos, como la mezcla de suelo, una técnica muy utilizada. Si bien esta técnica puede mejorar la estabilidad, es posible que no siempre logre los hallazgos deseados y, a menudo, requiere una mayor compactación, carecen de la estabilidad necesaria para las carreteras. Sus partículas sueltas pueden desplazarse y desintegrarse con el tráfico de vehículos, lo que daña la carretera. Las arcillas, con su alta cohesión y baja fricción, son propensas a perder estabilidad bajo condiciones de alta humedad. Las arcillas, con su alta cohesión y baja fricción, pueden perder estabilidad en ambientes húmedos. Sin embargo, al combinar dos superficies con diferentes propiedades, combinando una superficie de alta fricción con una cohesiva, se puede diseñar un material más estable, permitiendo que las partículas se unan. Este enfoque se emplea en geotextiles, flotación vibratoria (costura mecánica), preconsolidación y otras técnicas para mejorar la estabilidad del suelo. (Laura, 2021).



2.7. DENSIDAD SECA

La densidad de la fase sólida del suelo es igual a la masa total de los sólidos dividida por el volumen total de ellos, en donde se obtiene una cifra promedio, la densidad de la partícula o la densidad real se determina midiendo el volumen desplazado por una masa conocida de suelo en un frasco volumétrico (Forsythe, 1985, pág. 28).

La proporción de partículas sólidas en relación al volumen total, conocida como densidad del suelo seco, es un factor crucial al comparar el suelo compactado con su densidad máxima potencial, dada la variabilidad del contenido de humedad del suelo. En la construcción de carreteras, la densidad seca se determina in situ mediante la prueba de densidad seca Proctor modificada. (Densidad, 2012).

2.8. CBR (CALIFORNIA BEARING RATIO)

Esta prueba se puede realizar en el campo o utilizando muestras modificadas. El ensayo de placa de carga se realiza en depresiones del suelo para determinar su capacidad portante y su resistencia al hinchamiento y la filtración. La prueba comienza con la nivelación del área que será la base del camino y continúa con la carga de una placa en el suelo. La capacidad del suelo a fin de soportar el peso de la carretera se determina midiendo su deformación cuando se somete a una carga. (ASTM D-1883 & AAASHTO, 2006, pág. 1).

El CBR representa la resiliencia del suelo; para subrasante, es el 95% de la densidad seca máxima a una profundidad de 2,54 mm para cargas, el CBR de diseño de la subrasante se obtiene promediando los valores totales evaluados de cada sector con características homogéneas; estos valores difieren según las categorías de la siguiente tabla:

Tabla 3*Valores de CBR por categoría*

Categoría subrasante:	Valor
S0: inadecuada	$< 3\%$
S1: insuficiente	De $\geq 3\%$ a $< 6\%$
S2: regular	De $\geq 6\%$ a $< 10\%$
S3: buena	De $\geq 10\%$ a $< 20\%$
S4: muy buena	De $\geq 20\%$ a $< 30\%$
S5: excelente	$\geq 30\%$

Elaboración Propia: Fuente Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

2.9. CLASIFICACIÓN DE SUELOS

Al realizar una evaluación estructurada de las propiedades del suelo, se pueden obtener conocimientos valiosos sobre su comportamiento probable. Esto permite delimitar sectores homogéneos de suelo y facilita la selección de materiales adecuados en la construcción de carreteras, el Cuadro de correlación de tipos de suelos de AASHTO y SUCS y el manual de carreteras (2013).

Tabla 4*Cuadro de clasificación de tipos de suelos.*

Clasificación según AASHTO	Clasificación según SUCS
A-1-a Suelos granulares bien gradadas	(GW, GP, GM, SW, SP, SM)
A-1-b Suelos granulares bien gradadas	(GM, GP, SM, SP)
A-2 Suelos granulares con finos.	(GM, GC, SM, SP)
A-3 Suelos granulares con finos y plasticidad	(SP)
A-4 Suelos limosos con plasticidad	(CL, ML)
A-5 Suelos arcillosos con plasticidad	(ML, MH, CH)
A-6 Suelos arcillosos con alta plasticidad	(CL, CH)
A-7 Suelos arcillosos con muy alta plasticidad	(OH, MH, CH)

Fuente: Según MTC el ensayo de laboratorio de suelos (2016).



2.10. ADITIVOS PROES

El producto PROES es un estabilizador químico que mejora las características de suelos inestables como las arcillas. Estas arcillas, que forman parte de la subrasante de un pavimento, debido a su débil capacidad de carga, estos suelos requieren estabilización. PROES, un compuesto iónico, mejora la fuerza del suelo y la resistencia al agua. Este líquido oscuro y aceitoso permanece estable a temperatura ambiente por debajo de los 100 grados centígrados (Villalobos & Guevara, 2020).

El aditivo Proes tiene la capacidad de transformar una base e impermeabilizarla, disminuyendo su plasticidad, es trasladada en un estanque HDPE siendo un líquido corrosivo de color oscuro y apariencia oleosa, su peso específico es de $1,15 \text{ g/cm}^3$, su pH varía de 1 a 1,5 en agua y de 4 a 6, dependiendo de la concentración, cuando se aplica tópicamente, este producto no tiene fecha de caducidad y es estable a temperatura ambiente siempre que se mantenga por debajo de los 100°C .

2.11. ADITIVOS CONAIT

Este es un producto especialmente diseñado para el mejoramiento de suelos en construcciones de vía, estos estabilizadores ecológicos mejoran el rendimiento tanto de los caminos naturales como de las capas estructurales del pavimento. Diseñado principalmente para alterar la resistencia de suelos arcillosos, lo que se logra mediante un proceso de intercambio iónico con las partículas de arcilla. Los estabilizadores orgánicos no solo modifican la resistencia de los suelos arcillosos, sino que también impactan su comportamiento a nivel físico y químico. Al reducir la movilidad e intercambio iónico de las arcillas: Se incrementa la naturaleza hidrofóbica del suelo: Repelando el agua en mayor medida. Se elimina parte del agua absorbida: Secando el suelo y compactándolo.



Las propiedades físicas y químicas del suelo sufren una transformación: Volviéndolo más resistente y estable (Bada, 2016).

El aditivo es una molécula sintética aniónica generada a partir de ácido sulfónico (R-SO₃H). Es una sustancia dispersada en agua, no combustible, no corrosiva y no tóxica que no representa ninguna amenaza para el medio ambiente. Secado a una temperatura máxima de 110°C, tiene un 23% de forma cónica y un 23% de fracción sólida, tiene un PH de 0.85 una viscosidad de 600 +-100 a 25°C, un peso específico a 25°C de 1.01 +- 0.015, la reducción de hinchamiento es de un mínimo de 70%, el aumento de valor de soporte mínimo del 80% y un aumento RCI mínimo de 50%.

2.12. ADITIVOS TERRAZYME

Las especificaciones técnicas definen a los estabilizadores enzimáticos como productos que se obtienen a partir de la fermentación biológica de enzimas. Estas enzimas tienen la capacidad de estabilizar y mantener las propiedades del suelo. El estabilizador enzimático es un líquido natural y no tóxico compuesto por enzimas orgánicas. Estas enzimas actúan como catalizadores, acelerando la floculación y compactación de las partículas del suelo. Se aumenta la densidad compactada del suelo. Se incrementa el CBR (índice de soporte de California). Se reduce la formación de polvo y cal (Cruz, 2023).

Según (Moreno, 2010), indica las características del terrazyme y áreas de aplicación como mencionamos lo siguiente:

- Rendimiento alto y bajo costo
- Normal uso de equipos
- Aplicación en suelos de mala calidad
- Naturalmente 100%
- Compatible con el medio ambiente



- Biodegradable con respecto al medio tiempo.
- De manejabilidad seguro
- Resistente a la combustión
- Las formulaciones están cuidadosamente diseñadas para cumplir con los requisitos específicos de diferentes tipos de suelo, incluidas las condiciones normales del suelo y los suelos con alto contenido de arcilla

Según (Moreno, 2010), las zonas aplicables de Terrazyme son:

- Crear y rehabilitar carreteras, caminos de tierra, áreas de control de erosión y caminos secundarios.
- En áreas de control de erosión: Actúan como escudo contra las fuerzas erosivas del viento y el agua, salvaguardando la integridad de las superficies del suelo.
- Carreteras limítrofes, canales de agua y acequias de drenaje: Actúan como estabilizadores contra la erosión y el escurrimiento, protegiendo las estructuras y el medio ambiente.
- En subbases antes de asfaltar caminos primarios y pistas de aeropuerto: Permiten una mejor compactación del suelo, lo que incrementa la capacidad de carga y disminuye la formación de baches.

El aditivo tiene una tecnología de sistema enzimático, su respuesta e intercambio iónico sustentan su comportamiento, disminuyendo la flexibilidad y la permeabilidad al tiempo que aumenta la densidad y, por extensión, el CBR, la sustancia se vuelve líquida mediante la fermentación de vegetales; es electroquímico, contiene partículas de arcilla que reducen la tensión superficial y descompone enzimáticamente la materia orgánica del suelo, es de fácil aplicación, el cual es trasladada en bidones de 20 litros que rinde para 660m³, presenta un vencimiento de 48 meses desde la fecha de su fabricación. Las



propiedades a 25°C presentan un PH de 4 a 9, una gravedad específica de 1 a 1.10 gr/cm³ de color marrón claro, una viscosidad de 20 y no presenta olor.

2.13. MARCO NORMATIVO

- **R.D. N°10 – 2024 - MTC/14** “Manual de carreteras suelos, geología, geotecnia y pavimentos” menciona los detalles de una subrasante, los requisitos mínimos para su composición y los tipos de estabilización, así como el proceso.
- **MTC E 110 Y 111** “límites de consistencia”, menciona los requisitos mínimos que deberá presentar una subrasante.
- **MTC E 207** “máquina de los ángeles”, indica que los agregados gruesos deben tener un desgaste a la abrasión no mayor a 50%.
- **RNE CE.020** “suelos y taludes”, especifica que se debe realizar una investigación técnica por parte del experto apropiado antes de utilizar tratamientos químicos para estabilizar suelos, para que el suelo pueda retener su volumen, tener suficiente resistencia, ser permeable, compresible y duradero; Además, los materiales empleados no deben representar ninguna amenaza para los humanos, otros animales o el medio ambiente.
- **Ministerio de vivienda y urbanismo 2018 - Chile** indica acerca de las características de un suelo de subrasante, así como su estabilización mediante productos químicos.



CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

El método para dicho capítulo se detalla a continuación:

3.1. UBICACIÓN DEL ESTUDIO

El estudio se realizará en el tramo de Lara- Lliqui en la localidad de Santo Tomas está ubicado en la provincia de Chumbivilcas departamento de Cusco país Perú, con las siguientes coordenadas Lliqui ubicado con latitud $14^{\circ} 32' 4''$ sur. Longitud $72^{\circ} 8' 5''$ oeste, Altitud 3,908 m, por otro lado, Lara esta con una latitud $14^{\circ} 30' 39''$ sur y longitud $72^{\circ} 6' 48''$ oeste.

- Región : Cusco
- Provincia : Chumbivilcas
- Distrito : Santo Tomas
- Tramo : Lara -Lliqui

Figura 2

Ubicación geográfica del proyecto.



Fuentes: Mapas del Perú.

Figura 3

Ubicación de la zona de proyecto.



Fuentes: Google Earth.

3.2. ACCESIBILIDAD

La ruta que el proyecto son las siguientes:

Tabla 5

Acceso al lugar del proyecto a realizar.

Caminos de acceso	Tramos	Tipo de vía	Distancia a aproximada (km)	Tiempo aproximado	Medio de transporte
Vía terrestre	Santo Tomas – Lara	asfaltado	7.55 km	20 min	Transporte de servicio
Vía terrestre	Lara - Lliqui	Trocha carrozable	4 km	10 min	Transporte de servicio

Fuentes: Material propio.

3.3. CONSIDERACIONES CLIMÁTICAS

3.3.1. Temperatura

Se puede observar una temperatura templada durante 1.6 meses aproximadamente, esto se da desde el 19 de octubre hasta el 08 de diciembre por otro lado la temperatura más elevada es más de 21 mes de noviembre son días más cálidos de todo el año que aborda una temperatura de 22 °C y mínima de 6° C. también tenemos la temperatura frígida que está situada de 1.7 meses esto empieza del 12 de junio hasta el 4 de agosto donde se tiene una temperatura media de -1 °C y máxima de 19°C.

3.3.2. Precipitaciones

En el lugar de estudio se puede observar en un día húmedo 1milimetro de lluvia y las probabilidades son considerables en todo el año. La temporada de lluvias dura 4.2 meses, esto empieza desde el 20 de noviembre hasta 26 de marzo, teniendo una probabilidad del 25% de clima mojada en un día determinado. Los días más lluviosos son los días de enero con precipitaciones de 14.4 días aproximadamente, por otro lado, tenemos la etapa más seca que dura 7.8 meses



esto empieza desde 26 de marzo hasta 20 de noviembre los días menos lluviosos es el mes de junio. La precipitación más habitual tiene una probabilidad de 3 máxima de 49% esto está dado en el mes de enero.

3.3.3. Lluvia

La variación de las temperaturas de lluvias dura 6.8 meses esto se da desde el mes de setiembre hasta abril con los intervalos de 31 días de lluvia, el mes más lluvioso en Santo Tomas es en enero promediando de 80 milímetros de lluvia. de la misma manera el mes sin precipitaciones pluviales dura 5.2 meses empieza el 21 de abril hasta el 26 de septiembre aproximadamente dando como el mes con menos lluvia es junio.

3.3.4. Viento

La velocidad media del viento situado en Santo Tomas tiene variaciones durante todo el año. La etapa más ventosa dura 4.7 meses empezando desde el 7 de junio hasta el 28 de octubre aproximadamente, donde genera un viento de 8.6 km por hora y se puede determinar que el mes más ventoso es el mes de septiembre donde alcanzamos el 9.8 km por hora.

3.4. TOPOGRAFÍA

La topografía en Santo Tomas tiene variaciones fuertes de la altitud, hay un máximo de 812 metros en un radio de 3 kilómetros, con un promedio de 3.629 metros sobre el nivel del mar. En un radio de 16 km tiene cambios de altitud 1,561 m y en 80 km tienen una variación de extremas de altitud 3,212m.



3.5. PERIODO DE DURACIÓN DEL ESTUDIO

El presente proyecto se realizará durante los 16 semanas aproximados, con el fin de culminar satisfactoriamente el estudio donde contiene estudios en campo (situ) extracción de muestras de las calicatas posteriormente se realizará ensayos con las muestras obtenidas en seguida se interpretará los hallazgos en gabinete. Para ellos se realiza un estudio arduo y detallado.

3.6. MATERIALES

Los materiales para esta investigación se obtuvieron directamente de la zona de estudio. Se recolectaron dos tipos de muestras; muestras alteradas: se colocaron en bolsas plásticas para su análisis posterior. Muestras inalteradas: Se almacenaron en latas selladas para preservar su estado original. para luego realizar en sayos de laboratorio, también se utilizará en el ambiente de gabinete como la computadora, materiales de escritorio, Softwares a utilizar como EXCEL, WORD, POWER POINT.

3.7. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.7.1. Tipo de instigación

El estudio fue de tipo aplicada, porque se sugiere estabilizar suelos arcillosos utilizando nuevas formas de innovación técnica.

3.7.2. Diseño de investigación

El estudio fue cuasi experimental examina la conexión entre un conjunto de variables independientes y un conjunto de variables dependientes. Lo que lo diferencia de un experimento puro es que no hay control total sobre cómo se asigna a los participantes a los grupos de estudio. En otras palabras, los grupos ya



están formados antes de que se realice el experimento. Esto puede ser debido a diversas razones; los sujetos no pueden ser asignados al azar por razones éticas o prácticas. Los grupos ya están formados de forma natural, como en el caso de un estudio comparativo entre dos escuelas diferentes. A pesar de la falta de control total, la investigación cuasi experimental puede proporcionar información valiosa sobre la relación entre las variables. (Hernández, Fernández, & Baptista, 2010)

La investigación se plantea como un diseño cuasiexperimental. Esto significa que se utilizarán ensayos y pruebas para determinar la hipótesis, esto se ajustará de manera iterativa, comparativa y orientada a la práctica hasta que se descubran o aproximan los valores objetivo. No habrá asignación aleatoria a grupos de estudio, a diferencia de un experimento puro. En cambio, serán elegidos según qué tan bien se ajusten a ciertos criterios. Los siguientes factores llevaron a la selección de esta metodología: La naturaleza del problema de investigación no permite la asignación aleatoria de los integrantes de los grupos. Se busca obtener resultados que sean relevantes para la práctica real. Se necesita un mayor control sobre las variables que pueden influir en los hallazgos.

3.7.3. Enfoque de Investigación

El desarrollo de la investigación tendrá un enfoque secuencial y demostrativo. A partir de las preguntas de investigación se establecen las variables a estudiar. Este enfoque secuencial y demostrativo permite un análisis sistemático y preciso del problema de investigación. Se asegura que la investigación sea válida y confiable, y que los hallazgos sean relevantes para la toma de decisiones.



3.7.4. Población

La población es el conjunto completo de elementos que se desea estudiar. Estos elementos no son necesariamente personas, sino que pueden ser grupos, días, negocios, animales, plantas, o cualquier otro tipo de objeto o evento que sea relevante para la investigación. (Pino, 2007, pág. 449)

Actualmente el dicho estudio, referente a la población está conformada por las todas las vías no pavimentadas a nivel de subrasante en la localidad de Santo Tomás, Provincia Chumbivilcas, Departamento Cusco.

3.7.5. Muestra

Una muestra es una parte de las personas que se supone que deben ser estudiadas en un estudio. Para ser considerada representativa, una muestra debe ser imparcial y representar de forma precisa a la población en su conjunto. Cuando una muestra es representativa, las respuestas de los participantes en la investigación pueden generalizarse a toda la población. (Carrasco, 2007 pág. 236).

La muestra estuvo constituida por el tramo Lara – Lliqui con una longitud de 30 km, de las cuales se seleccionaron tres puntos críticos para realizar 3 calicatas a lo largo de la vía.

3.7.6. Muestreo

Según el investigador Carrasco (2019), los diferentes métodos de muestreo pueden dividirse en dos categorías principales: probabilístico y no probabilístico. La selección aleatoria de los integrantes es la base de la metodología de muestreo probabilístico. El muestreo no probabilístico, por el contrario, no se basa en el



azar. El muestreo probabilístico supera al muestreo no probabilístico en términos de precisión y confiabilidad. (pág. 240).

Se afirma que el estudio utilizó el muestreo no probabilístico, dado que el investigador tiene discreción sobre la selección de las ubicaciones de la muestra del material.

3.7.7. Prueba Estadística

La estadística es un procedimiento muy importante con respecto al estudio que se realizó con la prueba de ANOVA una herramienta analítica utilizada para este tipo de investigaciones y llevar una esto se realizara para la contrastar las hipótesis que se plantearon.

3.8. VALIDEZ DEL EQUIPOS Y CONFIABILIDAD

Los equipos de laboratorio se validarán con el respectivo certificado de calibración donde detalla la marca y la fecha de calibración y el estadio en que se encuentra el equipo.

3.9. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

3.9.1. Etapa preliminar

En esta fase se realiza un trabajo exhaustivo de la búsqueda de información respecto a las bases teóricas, de la misma manera se realiza búsqueda de los antecedentes que fueron estudiadas anteriormente esto se realiza a nivel internacional, nacional y local y estas deben estar relacionadas al tema del presente estudio. Para ello, se busca información de artículos científicos informes, tesis entre otros, y un dato muy importante que la búsqueda se realice en fuentes confiables.

3.9.2. Etapa de campo

Esta parte del trabajo de campo incluyó la recolección de muestras de suelo para un examen más detallado. Para recoger las muestras se excavaron fosas, que son pozos de sección rectangular. Las muestras extraídas se utilizarán para determinar sus propiedades físicas y mecánicas. Estas propiedades se analizarán en relación con la adición de diferentes aditivos, el objetivo de evaluar su efecto sobre el comportamiento del suelo.

Figura 4

Se evidencia la extracción de la muestra de la trocha carrozable Lara – Lliqui.



Nota: Se evidencia la extracción de muestras de suelo de subrasante.

Figura 5

Se evidencia, el carguío de material para su transporte a la ciudad.



Nota: Se evidencia el transporte de material subrasante.

3.9.3. Etapa de laboratorio

Para realizar los ensayos del presente proyecto se ha empleado las siguientes normativas:

La regla MTC E 108 especifica un método para medir el contenido de humedad del suelo en un laboratorio. Este método se alinea con los procedimientos establecidos descritos en ASTM D 2216 y AASHTO T 265, que son estándares ampliamente reconocidos a fin de determinar el contenido de humedad del suelo. Además, MTC E 132 proporciona una prueba complementaria para evaluar el índice de carga de California (CBR) de los suelos, una propiedad de ingeniería clave relacionada con la resistencia y el rendimiento del suelo. (LABORATORIO).



mitades simétricas con una máquina ranuradora. El procedimiento se repitió hasta que la ranura se rellenó hasta media pulgada, manteniendo la cuenta del número de golpes necesarios. Este método se repitió muchas veces para obtener resultados precisos. La primera parte consiste en medir el contenido de humedad del suelo pesando una muestra de 5 gramos. El siguiente paso es combinar la muestra con agua hasta formar una pasta uniforme y luego colocarla dentro de una cápsula de Casagrande. Una vez que la pasta haya alcanzado una consistencia estable, se deja secar en un horno precalentado. En la segunda parte, es combinar la muestra con agua hasta formar una pasta uniforme y luego colocarla dentro de una cápsula de Casagrande. Una vez que la pasta haya alcanzado una consistencia estable, se deja secar en un horno precalentado. Estos se elaboraron continuando el proceso hasta alcanzar el límite plástico, el cual se correlaciona con el contenido de humedad al que la varilla tiene 3 mm de diámetro. Después de eso, se rompieron a una longitud de 0,5 a 1 cm. Debe rehacerse si resulta incorrecto. Pesar el bastón para saber el contenido de humedad. Realizamos los ensayos las veces sean necesarias para poder promediar las diferencias entre 2 determinaciones no deben ser mayores al 2%.

Ensayos granulometría

Este ensayo se realizó empleado la normativa de ASTM D 422, AASHTO T 88, MTC E 107 se toman muestras naturales extraídos de campo y se realizó el cuarteo en seguida se pesaron los tamices limpios y se adicionaron las muestras para luego tamizar la muestra con un tiempo de 7 minutos pasado esto se pasó a pesar cada material retenido en las mallas.

Clasificación de suelos (SUCS)



Para su SUCS se utilizó la norma técnica de ASTM D-2487.

Clasificación de suelos (AASHTO)

Para AASHTO se utilizó la norma técnica de M-145.

Ensayos de gravedad específica de suelos

La gravedad específica se terminó basándose en la normatividad MTC E 113, NTP 339.131 y ASTM D 854.

Ensayos del peso específico del suelo

El peso específico se determinó con la norma técnica MTC E 206 y NTP 400.021.

Ensayos del Proctor modificado

Este análisis se determinó con la norma técnica MTC E 115, NTP 339.141 y ASTM D 1557, el estudio se realiza para la muestra natural como también para las adiciones como conaid, terrazyme y el proes el procedimiento se realizó la misma manera para cada uno según la norma establecida. Para realizar la prueba de compactación se dejó caer desde una altura de 457 mm un molde cilíndrico de 2.320 cm³ y un martillo de 4.135 kg. Con 25 golpes en cada capa, las cinco capas de tierra fueron comprimidas con el mazo.

Figura 7

Ensayo del Proctor modificado muestra natural.



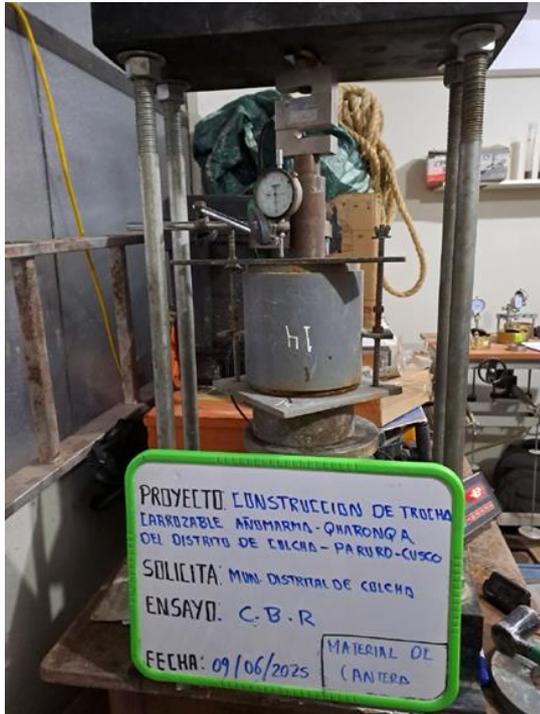
Nota: Se evidencia el secado de la muestra en horno.

Ensayos CBR

El análisis de la capacidad de soporte en la subrasante se realizó siguiendo las normas técnicas MTC E 132 y ASTM D 1883. Se utilizó una muestra de suelo apropiada y tres moldes de 6 pulgadas de diámetro y 7 pulgadas de alto. Se compactaron cinco capas en cada molde, aplicando diferentes números de golpes: 10 golpes para el primer molde, 25 golpes para el segundo y 56 golpes para el tercero. Se empleó un collarín, discos espaciadores, un pistón de penetración de 2.97 pulgadas de sección transversal y un deformímetro para realizar las mediciones.

Figura 8

Ensayo del CBR.



Nota: Se evidencia el secado de la muestra en horno.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. PROPIEDADES FÍSICAS DE LA SUBRASANTE

Las características físicas del suelo natural fueron determinadas mediante una serie de ensayos en laboratorio conforme a la normativa ASTM, detallados a continuación:

Tabla 6

Análisis granulométrico de material subrasante.

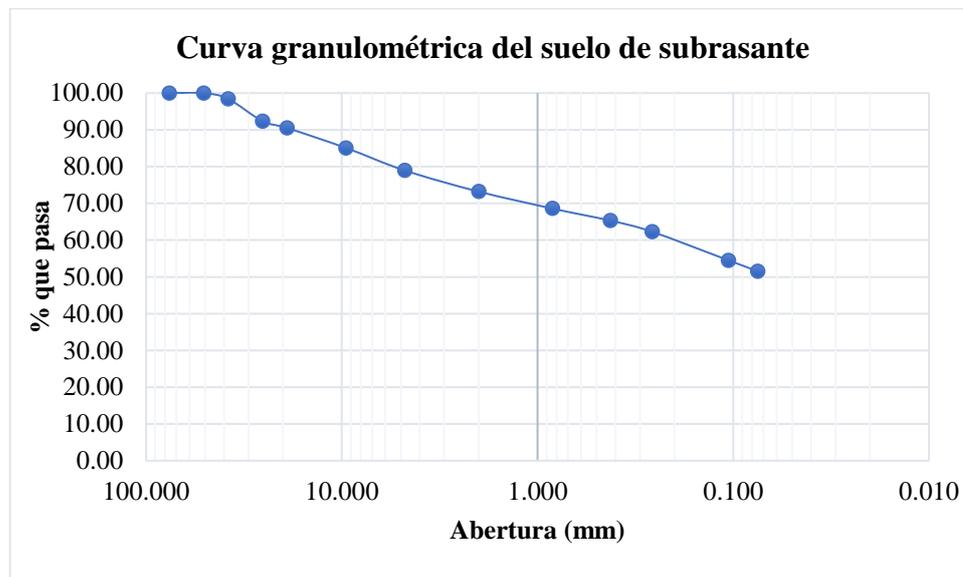
Tamices ASTM	Abertura (mm)	Peso retenido	% retenido parcial	% retenido acumulado	% que pasa
3"	76.200	0.00	0.00	0.00	100.00
2"	50.800	0.00	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	38.100	117.49	1.59	1.59	98.41
1"	25.400	448.14	6.08	7.67	92.33
3/4"	19.050	134.75	1.83	9.50	90.50
3/8"	9.525	400.16	5.43	14.93	85.07
N°4	4.760	452.62	6.14	21.07	78.93
N°10	2.000	422.24	5.73	26.80	73.20
N°20	0.840	339.41	4.60	31.40	68.59
N°40	0.425	242.27	3.29	34.69	65.31
N°60	0.260	223.37	3.03	37.72	62.28
N°140	0.106	571.83	7.76	45.48	54.52
N°200	0.075	219.48	2.98	48.46	51.54
<N° 200	Cazuela	94.78	1.29	100.00	

Nota: Se muestran los resultados del tamizaje de la muestra de suelo.

En la tabla 6 revela el análisis granulométrico realizado al suelo natural de una subrasante extraída de una calicata, realizada mediante la normativa ASTM D422, en el que se detallan los pesos retenidos en cada tamiz, al igual que los porcentajes que pasan cada tamiz.

Figura 9

Representación gráfica de la curva granulométrica



Nota: Se muestra la curva granulométrica de la muestra de suelo.

Al agitar los tamices, las partículas se separan por tamaños, quedando retenidas en cada tamiz aquellas mayores que el tamaño de su abertura realizada al agregado global, se obtuvo el peso total a 85.07%, pasante del tamiz N°3/8" a un 14.93% el agregado grueso es retenido N°4.

En la figura 9 se aprecia la distribución de las partículas de suelo natural, el tamaño máximo nominal del material es de 1 1/2", el tipo de suelo especificado según SUCS es de CL considerado un material arcilloso de baja plasticidad.

Tabla 7

Características físicas de la subrasante natural

Características físicas	Valores
Contenido de humedad	8.34 %
Límite plástico	15.00%
Límite líquido	25.00%
Índice de plasticidad	10.00%
Gravedad específica	2.774 gr/cm ³



Nota: Se muestran los resultados de las características del suelo.

En el Cuadro 7 se presentan los atributos del suelo de subrasante natural, exhibiendo un contenido de humedad natural de 8.34% en el sector Lara-Lliqui, distrito de Santo Tomás, crucial para su clasificación. En cuanto al límite plástico del suelo natural es de 15%, en donde la influencia esta por el margen permisible de según el manual de carreteras ETGC R.D. N° 22 – 2013 – MTC/14. Considerando la estabilización de productos químicos, la plasticidad es inferior al tamiz de 425 μm (N°40) el límite plástico se realizó según el ensayo de MTC E 111. Para el límite líquido de la subrasante tenemos un 25%, en donde la influencia esta por el margen permisible de según el manual de carreteras ETGC R.D. N° 22 – 2013 – MTC/14. Considerando la estabilización de productos químicos, la plasticidad es inferior al tamiz de 425 μm (N°40) el límite líquido esta por el rango inferior a 40% según el ensayo de MTC E 110. El índice de plasticidad de la subrasante es de 10%, considerada una plasticidad media característica de suelos arcillosos, en donde la influencia esta por el margen permisible de según el manual de carreteras ETGC R.D. N° 22 – 2013 – MTC/14. La gravedad específica entre su masa y la del agua destilada por unidad de volumen a una determinada temperatura; Este atributo físico es útil para clasificar materiales granulares, incluidos suelos, agregados, rocas y muchos más. El peso específico es de 2,774 gr/cm^3 , como se ve en la tabla.

PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA SUBRASANTE ESTABILIZADA

Las características mecánicas del suelo natural, así como el suelo de subrasante estabilizado con tres tipos de aditivos químicos fueron determinadas mediante una serie de ensayos en laboratorio conforme a la normativa ASTM, detallados a continuación:

4.1.1. Máxima densidad seca MDS de la subrasante

Tabla 8

Variación de la máxima densidad seca con diversos aditivos

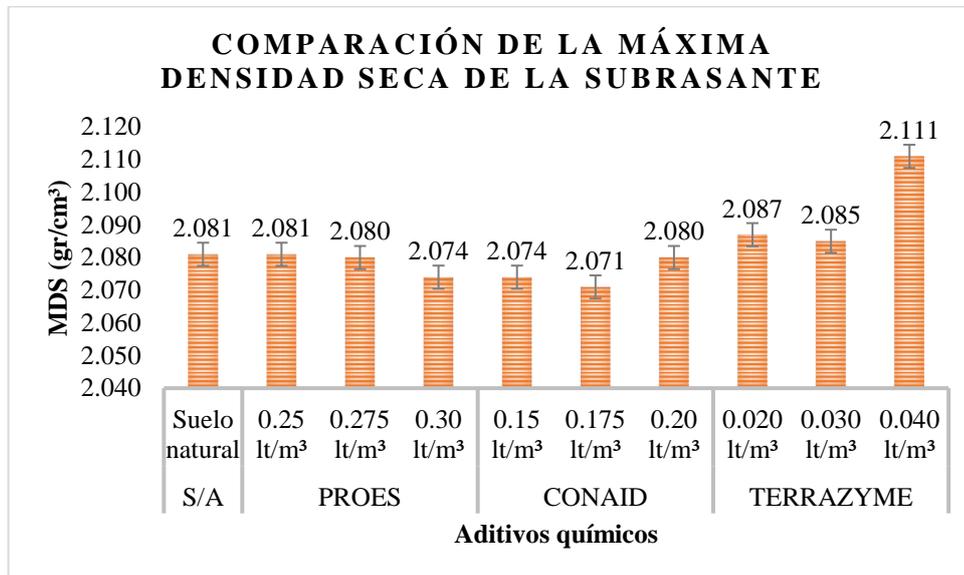
Aditivo	Dosificaciones	Máxima densidad seca (gr/cm ³)	Variación (%)
S/A	Suelo natural	2.081	0.00
	0.25 lt/m ³	2.081	0.00
PROES	0.275 lt/m ³	2.080	-0.05
	0.30 lt/m ³	2.074	-0.34
	0.15 lt/m ³	2.074	-0.34
CONAID	0.175 lt/m ³	2.071	-0.48
	0.20 lt/m ³	2.080	-0.05
	0.020 lt/m ³	2.087	0.29
TERRAZYME	0.030 lt/m ³	2.085	0.19
	0.040 lt/m ³	2.111	1.44

Nota: Se muestran los resultados obtenidos de la máxima densidad seca con los aditivos.

Utilizando la prueba de Proctor modificada, la Tabla 8 muestra los hallazgos de la densidad seca máxima (MDS) del suelo natural de 2.081 gr/cm³, adicionando aditivo PROES en cantidades de 0.25 lt/m³, 0.275 lt/m³ y 0.30 lt/m³ la MDS tuvo una variación de 0%, -0.05% y -0.34% respecto al suelo natural, adicionando aditivo CONAID en cantidades de 0.15 lt/m³, 0.175 lt/m³ y 0.20 lt/m³ la MDS tuvo una variación del -0.34%, -0.48% y -0.05% en relación al suelo natural, finalmente con la adición del aditivo TERRAZYME en cantidades de 0.020 lt/m³, 0.030 lt/m³ y 0.040 lt/m³ la MDS tuvo una variación del 0.29%, 0.19% y 1.44% respecto al suelo natural.

Figura 10

Representación gráfica de la comparación de la máxima densidad seca



Nota: Se muestra los resultados en un diagrama de barras de la máxima densidad seca.

En la figura 10 se aprecia mediante una representación gráfica de barras la comparación de la máxima densidad seca resultante adicionando aditivos químicos en diversas dosis, el suelo natural sin adición de aditivos tuvo una MDS de 2,081 gr/cm³, con 0,25 lt/m³, 0,275 lt/m³ y 0,30 lt/m³ de aditivo PROES, el MDS fue de 2,081 gr/cm³, 2,080 gr/cm³ y 2,074 gr/cm³. Con 0.15 lt/m³, 0.175 lt/m³ y 0.20 lt/m³ de aditivo CONAID, el MDS fue de 2.074 gr/cm³, 2.071 gr/cm³ y 2.080 gr/cm³, el MDS fue de 2,087 gr/cm³, 2,085 gr/cm³ y 2,111 gr/cm³ cuando se añadió el aditivo TERRAZYME en porciones de 0,020 lt/m³, 0,030 lt/m³ y 0,040 lt/m³, respectivamente.

4.1.2. Contenido de humedad óptimo CHO de la subrasante

Tabla 9

Variación del contenido de humedad óptimo con diversos aditivos

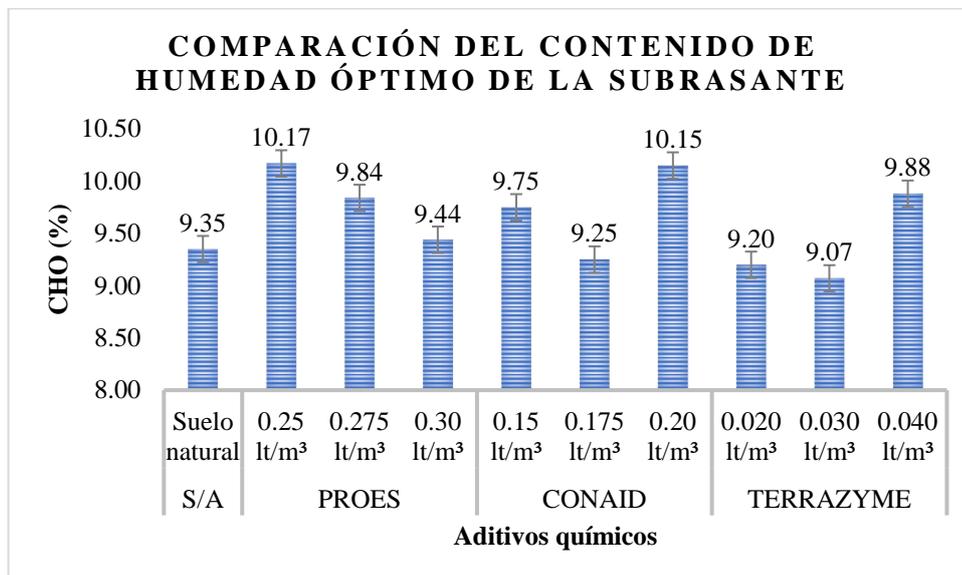
Aditivo	Dosificaciones	Contenido de humedad óptimo (%)	Variación (%)
S/A	Suelo natural	9.35	0.00
	0.25 lt/m ³	10.17	8.77
PROES	0.275 lt/m ³	9.84	5.24
	0.30 lt/m ³	9.44	0.96
	0.15 lt/m ³	9.75	4.28
CONAID	0.175 lt/m ³	9.25	-1.07
	0.20 lt/m ³	10.15	8.56
	0.020 lt/m ³	9.20	-1.60
TERRAZYME	0.030 lt/m ³	9.07	-2.99
	0.040 lt/m ³	9.88	5.67

Nota: Se muestra los resultados del contenido de humedad óptimo.

En la tabla 9 se aprecian los hallazgos adquiridos al realizar el ensayo de contenido de humedad óptimo CHO a través del ensayo de Proctor modificado en el que se aprecia un CHO del suelo natural de 9.35%, adicionando aditivo PROES en cantidades de 0.25 lt/m³, 0.275 lt/m³ y 0.30 lt/m³ el CHO tuvo una variación de 8.77%, 5.24% y 0.96% respecto al suelo natural, adicionando aditivo CONAID en cantidades de 0.15 lt/m³, 0.175 lt/m³ y 0.20 lt/m³ el CHO tuvo una variación del 4.28%, -1.07% y 8.56% en relación al suelo natural, finalmente con adición del aditivo TERRAZYME en cantidades de 0.020 lt/m³, 0.030 lt/m³ y 0.040 lt/m³ el CHO tuvo una variación del -1.60%, -2.99% y 5.67% respecto al suelo natural.

Figura 11

Representación gráfica de la comparación del contenido de humedad óptimo



Nota: Se muestra en una gráfica de barras los contenidos de humedad óptimo.

En la figura 11 se aprecia mediante una representación gráfica de barras la comparación del contenido de humedad óptima adicionando aditivos químicos en diversas dosis, el suelo natural sin adición de aditivos tuvo un CHO de 9.35%, al adicionar el aditivo PROES en cantidades de 0.25 lt/m³, 0.275 lt/m³ y 0.30 lt/m³ el CHO fue de 10.17%, 9.84% y 9.44%, adicionando aditivo CONAID en cantidades de 0.15 lt/m³, 0.175 lt/m³ y 0.20 lt/m³ el CHO fue de 9.75%, 9.25% y 10.15%, con la adición del aditivo TERRAZYME en cantidades de 0.020 lt/m³, 0.030 lt/m³ y 0.040 lt/m³ el CHO fue de 9.20%, 9.07% y 9.88% respectivamente.

4.1.3. Capacidad de soporte CBR de la subrasante

La prueba de índice de carga de California (CBR) se utiliza a menudo en ingeniería civil para evaluar la capacidad de carga de suelos destinados a ser utilizados como base, subbase o material de préstamo granular en la construcción de carreteras y proyectos asociados.

El CBR 95% es un valor índice que caracteriza la resistencia al esfuerzo cortante y capacidad de soporte de suelos compactados.

Tabla 10

Variación de la capacidad de soporte al 95% con diversos aditivos

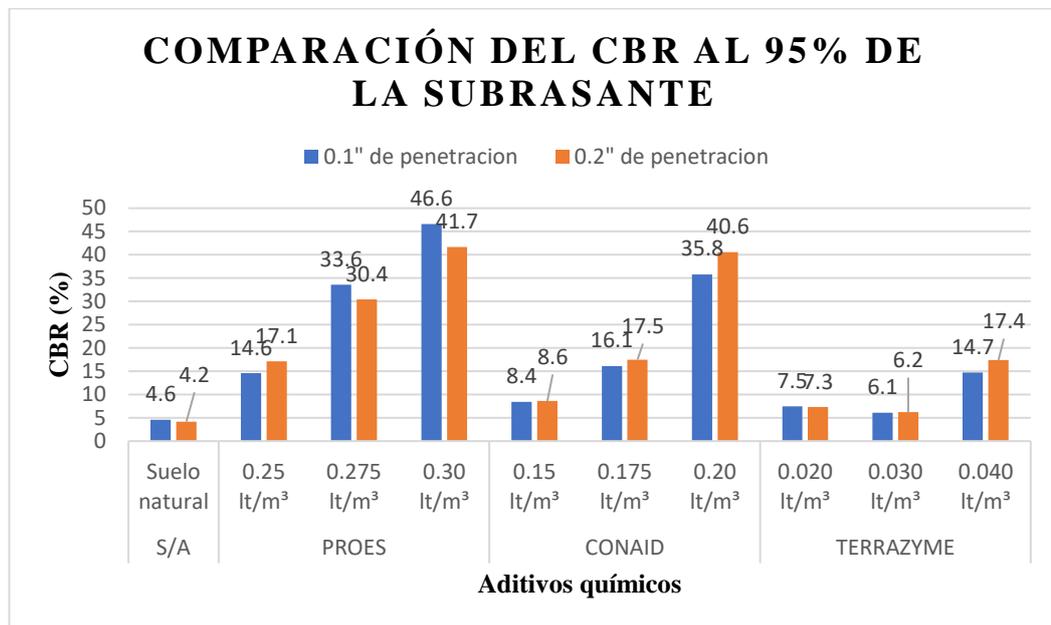
Aditivo	Dosificaciones	CBR al 95% a 0.1" de penetración (%)	CBR al 95% a 0.2" de penetración (%)	Variación del CBR al 95% a 0.1" (%)
S/A	Suelo natural	4.6	4.2	0.00
	0.250 lt/m ³	14.6	17.1	217.39
PROES	0.275 lt/m ³	33.6	30.4	630.43
	0.300 lt/m ³	46.6	41.7	913.04
	0.150 lt/m ³	8.4	8.6	82.61
CONAID	0.175 lt/m ³	16.1	17.5	250.00
	0.200 lt/m ³	35.8	40.6	678.26
	0.020 lt/m ³	7.5	7.3	63.04
TERRAZYME	0.030 lt/m ³	6.1	6.2	32.61
	0.040 lt/m ³	14.7	17.4	219.57

Nota: Se muestra los resultados de CBR al adicionar los diversos aditivos.

En la tabla 10 como consecuencia de la realización de la prueba CBR, se aprecian los hallazgos que se obtuvieron utilizando la norma ASTM D1883, la cual demuestra un 95% CBR a 0.1" de penetración del suelo natural del 4.60 por ciento adicionando aditivo PROES en cantidades de 0.25 lt/m³, 0.275 lt/m³ y 0.30 lt/m³ el CBR tuvo una variación de 217.39%, 630.43% y 913.04% respecto al suelo natural, adicionando aditivo CONAID en cantidades de 0.15 lt/m³, 0.175 lt/m³ y 0.20 lt/m³ en comparativa con el suelo natural, la capacidad en el soporte varió en 82.61%, 250.00% y 678.26% antes de agregar el aditivo TERRAZYME en proporciones de 0.020 lt/m³, 0.030 lt/m³ y 0.040 lt/m³; esto resultó en una variación de 63,14%, 32,61% y 219,57%.

Figura 12

Representación gráfica de la comparación de la capacidad de soporte al 95%



Nota: Se muestra los resultados de CBR.

En la figura 12 se aprecia mediante una representación gráfica de barras la comparativa de la capacidad de soporte resultante adicionando aditivos químicos en diversas dosis, el suelo natural sin adición de aditivos tuvo un CBR al 95% a 0.1" de penetración de 4.6%, considerándose una subrasante "inadecuada", al adicionar el aditivo PROES en 0.275 lt/m³ la capacidad de soporte incrementó en 33.60%, el cual se encuentra en una categoría de subrasante "muy buena", al adicionar aditivo CONAID en 0.200 lt/m³ la capacidad de soporte incrementó en un 35.80% que se encuentra en una categoría de subrasante "muy buena", finalmente con la adición del aditivo TERRAZYME en 0.040 lt/m³ la capacidad de soporte también incrementó en 14.7% considerada una subrasante "regular", con lo observado en la gráfica existen adiciones por cada aditivo que disminuyen la capacidad de soporte de subrasante, las cuales no se consideran.

Tabla 11*Variación de la capacidad de soporte al 100% con diversos aditivos*

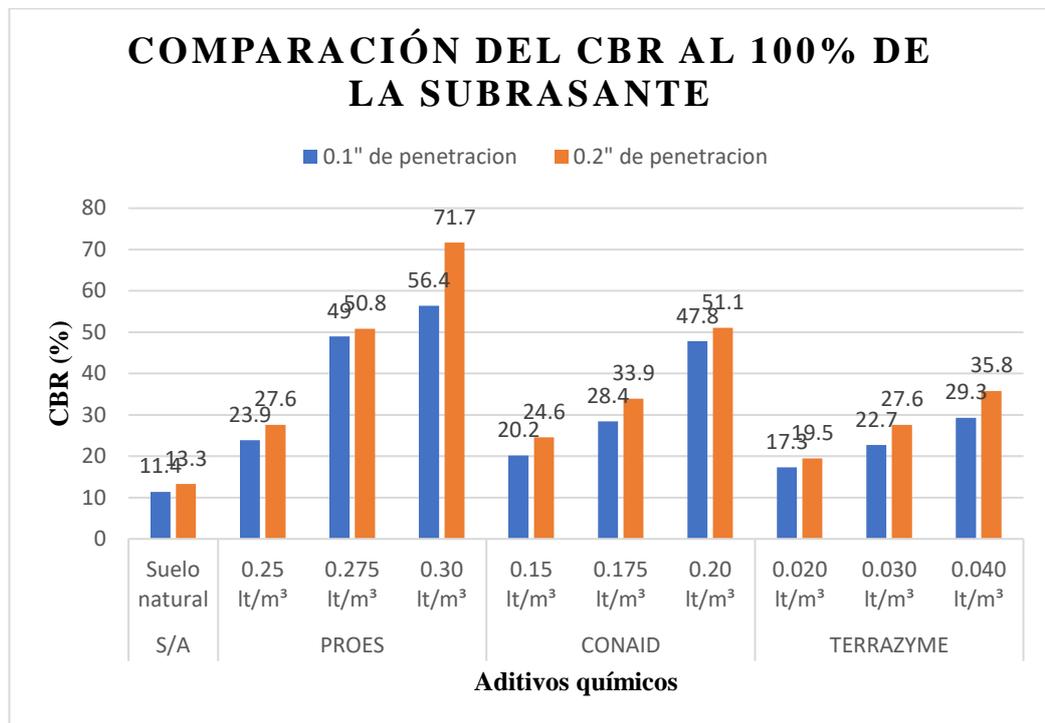
Aditivo	Dosificaciones	CBR al 100% a 0.1" de penetración (%)	CBR al 100% a 0.2" de penetración (%)	Variación del CBR al 100% a 0.1" (%)
S/A	Suelo natural	11.4	13.3	0
	0.25 lt/m ³	23.9	27.6	109.65
PROES	0.275 lt/m ³	49	50.8	329.82
	0.30 lt/m ³	56.4	71.7	394.74
	0.15 lt/m ³	20.2	24.6	77.19
CONAID	0.175 lt/m ³	28.4	33.9	149.12
	0.20 lt/m ³	47.8	51.1	319.30
	0.020 lt/m ³	17.3	19.5	51.75
TERRAZYME	0.030 lt/m ³	22.7	27.6	99.12
	0.040 lt/m ³	29.3	35.8	157.02

Nota: Se muestra los resultados de CBR.

En la tabla 11 se aprecian los hallazgos adquiridos al realizar el ensayo de CBR mediante la normativa ASTM D1883, en el que se aprecia un CBR al 100% a 0.1" de penetración del suelo natural de 11.40%, adicionando aditivo PROES en cantidades de 0.25 lt/m³, 0.275 lt/m³ y 0.30 lt/m³ el CBR tuvo una variación de 109.65%, 329.82% y 394.74% respecto al suelo natural, adicionando aditivo CONAID en cantidades de 0.15 lt/m³, 0.175 lt/m³ y 0.20 lt/m³ la capacidad de soporte tuvo una variación del 77.19%, 149.12% y 319.30% respecto al suelo natural, en conclusión, la incorporación del aditivo TERRAZYME en las cantidades de 0.020 lt/m³, 0.030 lt/m³ y 0.040 lt/m³ resultó en una variación de 51.75 por ciento, 99.12 por ciento y 157.02% con respecto al suelo natural.

Figura 13

Representación gráfica de la comparación de la capacidad de soporte al 100%



Nota: Se muestra los resultados de CBR

En la figura 13 se aprecia mediante una representación gráfica de barras la comparativa de la capacidad de soporte resultante adicionando aditivos químicos en diversas dosis, el suelo natural sin adición de aditivos tuvo un CBR al 100% a 0.1" de penetración de 11.40%, al adicionar el aditivo PROES en cantidades de 0.25 lt/m³, 0.275 lt/m³ y 0.30 lt/m³ el CBR fue de 23.90%, 49.00% y 56.4%, adicionando aditivo CONAID en cantidades de 0.15 lt/m³, 0.175 lt/m³ y 0.20 lt/m³ la capacidad de soporte fue de 20.20%, 28.40% y 47.80%, con la adición del aditivo TERRAZYME en cantidades de 0.020 lt/m³, 0.030 lt/m³ y 0.040 lt/m³ el CBR fue de 17.30%, 22.70% y 29.30% respectivamente.

4.2. COSTO DE ESTABILIZACIÓN DE UNA SUBRASANTE

4.2.1. Costo de estabilización adicionando PROES

Tabla 12

Descripción de presupuesto al adicionar aditivo proes.

Descripción	Unid.	Cant.	Precio	Parcial	Sub Total
Presupuesto					731077.28
Movimiento de tierras					117055.8
Excavación para sub rasante c/maquinaria	m ³	9202.5	7.82	71963.55	
Carguío y eliminación de material excedente (transporte d=3.23 km)	m ³	9202.5	4.9	45092.25	
Mejoramiento de sub rasante					614021.48
Perfilado y compactación subrasantes zonas de corte	m ²	30675	2.15	65951.25	
Extracción y apilamiento de material de préstamo	m ³	9202.5	0.28	2576.7	
Carguío y transporte de material de préstamo	m ³	9202.5	10.11	93037.28	
Conformación de la sub rasante con material de préstamo e = 0.30 m, adicionando proes al 0.275 l/m ³	m ²	30675	14.75	452456.25	

Nota: Se muestra el presupuesto.

En la tabla 12 se representa el costo directo de movimiento de tierra s/. 117.055.80, y el mejoramiento de subrasante s/. 614.021.48 en la subrasante adicionando aditivos estabilizantes de Proes, en la vía no pavimentada con un presupuesto de s/. 731.077.28.

4.2.2. Costo de estabilización adicionando CONAID

Tabla 13

Descripción de presupuesto al adicionar aditivo Conaid.

Descripción	Unid.	Cant.	Precio	Parcial	Sub Total
Presupuesto					703,469.78
Movimiento de tierras					117055.8
Excavación para sub rasante c/maquinaria	m ³	9202.5	7.82	71963.55	



Descripción	Unid.	Cant.	Precio	Parcial	Sub Total
Carguío y eliminación de material excedente (transporte d=3.23 km)	m ³	9202.5	4.9	45092.25	
Mejoramiento de sub rasante					586,413.98
Perfilado y compactación subrasantes zonas de corte	m ²	30675	2.15	65951.25	
extracción y apilamiento de material de préstamo	m ³	9202.5	0.28	2576.7	
Carguío y transporte de material de préstamo	m ³	9202.5	10.11	93037.28	
Conformación de la sub rasante con material de préstamo e = 0.30 m, adicionando Conaid al 0.200 l/m ³	m ²	30675	13.85	424,848.75	

Nota: Se muestra el presupuesto.

En la tabla 13 se representa el costo directo de movimiento de tierra s/. 117,055.80, y el mejoramiento de subrasante s/. 586,413.98 en la subrasante adicionando aditivos estabilizantes de Conaid, en la vía no pavimentada con un presupuesto de s/. 703,469.78.

4.2.3. Costo de estabilización adicionando TERRAZYME

Tabla 14

Descripción de presupuesto al adicionar aditivo Terrazine.

Descripción	Unid.	Cant.	Precio	Parcial	Sub Total
Presupuesto					537824.78
Movimiento de tierras					117055.8
Excavación para sub rasante c/maquinaria	m ³	9202.5	7.82	71963.55	
Carguío y eliminación de material excedente (transporte d=3.23 km)	m ³	9202.5	4.9	45092.25	
Mejoramiento de sub rasante					420768.98
Perfilado y compactación subrasantes zonas de corte	m ²	30675	2.15	65951.25	
Extracción y apilamiento de material de préstamo	m ³	9202.5	0.28	2576.7	
Carguío y transporte de material de préstamo	m ³	9202.5	10.11	93037.28	
Conformación de la sub rasante con material de préstamo e = 0.30 m, adicionando terrazine al 0.040 l/m ³	m ²	30675	8.45	259203.75	

Nota: Se muestra el presupuesto.

En la tabla 14 se representa el costo directo de movimiento de tierra s/. 117.055.80, y el mejoramiento de subrasante s/. 420.768.98 en la subrasante adicionando aditivos estabilizantes de Terrazime, en la vía no pavimentada con un presupuesto de s/. 537.824.78.

4.3. COSTO - BENEFICIO DE LA ESTABILIZACIÓN DE UNA SUBRASANTE ADICIONANDO ADITIVOS ESTABILIZANTES.

Tabla 15

Comparación del costo y el CBR

Aditivo	Dosificaciones	Capacidad de soporte al 95% de la MDS a 1''	Costo de estabilización de la subrasante (Tramo Lara - Lliqui)
Muestra natural	Suelo natural	4.60 %	-
	0.25 lt/m ³	14.60 %	
PROES	0.275 lt/m ³	33.60 %	S/. 731077.28
	0.30 lt/m ³	46.60 %	
CONAID	0.15 lt/m ³	8.40 %	
	0.175 lt/m ³	16.10 %	S/. 703469.78
TERRAZYME	0.20 lt/m ³	35.80 %	
	0.020 lt/m ³	7.50 %	
	0.030 lt/m ³	6.10 %	S/. 537824.78
	0.040 lt/m ³	14.70 %	

Nota: Se muestra el presupuesto.

En la Tabla 15 se aprecian los hallazgos de CBR al adicionar diversos porcentajes de tres diferentes tipos de aditivos químicos, teniendo una mejora considerable con cada aditivo respecto a los hallazgos de CBR de la muestra natural, especialmente con adición del 35.80% de conaid, sin embargo también se puede mencionar con las adiciones al 14.70% del aditivo Terrazyme las cuales fueron menores al 20% el CBR mejoró en gran medida sin la necesidad de adicionar más porcentaje de aditivo, el cual difiere del resto de aditivos, para el aditivo Proes las adiciones fueron establecidos en el rango de 30% a 35% y con el aditivo Conaid el rango fue de 35% al 40% siendo superiores al del

Terrazyme. Para el mejoramiento de la vía mencionada en la tabla se aprecia un costo elevado con el mejoramiento de Proes, seguido del aditivo Conaid y por último el aditivo Terrazyme que tuvo menos costo al ser adicionada en la subrasante, con los hallazgos mostrados se aprecia un mayor costo beneficio al estabilizar la subrasante con el aditivo Conaid siendo el que tuvo menor costo y una mejor capacidad de soporte sin la necesidad de adicionar porcentajes elevados de material al suelo de subrasante.

4.4. CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS

4.4.1. Prueba de ANOVA para la máxima densidad seca

Ho: las medias de los datos de máxima densidad seca son iguales

Ha: las medias de los datos de máxima densidad seca son diferentes

Confiabilidad: 95%

Error o significancia establecida: 5% = 0.05

Tabla 16

Prueba de ANOVA para la máxima densidad seca

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	0.001	3	0.000	3.522	0.069
Dentro de grupos	0.000	8	0.000		
Total	0.001	11			

Nota: Material propio.

Tabla 17

Prueba post hoc de Tukey para la máxima densidad seca

(I) Adición de aditivos químicos	(J) Adición de aditivos químicos	Diferencia de medias (I-J)	Sig.
Suelo natural	PROES	0.00267	0.974
	CONAID	0.00600	0.785



(I) Adición de aditivos químicos	(J) Adición de aditivos químicos	Diferencia de medias (I-J)	Sig.
PROES	TERRAZYME	-0.01333	0.235
	Suelo natural	-0.00267	0.974
	CONAID	0.00333	0.951
	TERRAZYME	-0.01600	0.133
CONAID	Suelo natural	-0.00600	0.785
	PROES	-0.00333	0.951
	TERRAZYME	-0.01933	0.064
	Suelo natural	0.01333	0.235
TERRAZYME	PROES	0.01600	0.133
	CONAID	0.01933	0.064

Nota: Material propio.

En la tabla 16 existe una significancia de 0.069 para la densidad seca máxima, la cual es superior a la significancia establecida de 0.05. Los hallazgos de la prueba ANOVA se aprecian en la densidad seca más alta para la cual existe significancia como resultado, consideramos verificada la hipótesis nula, que establece que los datos son iguales, lo que indica que no existe un efecto sustancial al agregar aditivos químicos a la subrasante. Por otro lado, la diferencia de medias es ínfima, por lo que el programa SPSS no la tiene en cuenta.

En la tabla 17 se aprecia la prueba post hoc de Tukey en donde se detallan las medias que no fueron mencionadas en la tabla anterior, se tiene una media de -0.01333 respecto a la muestra patrón con la adición de aditivo TERRAZYME el cual es la diferencia de medias más grande respecto a las demás, considerándose un aditivo óptimo que incrementa la máxima densidad seca.

4.4.2. Prueba de ANOVA para el contenido de humedad óptimo

Ho: las medias de los datos de contenido de humedad óptimo son iguales

Ha: las medias de los datos de contenido de humedad óptimo son diferentes



Confiabilidad: 95%

Error o significancia establecida: 5% = 0.05

Tabla 18

Prueba de ANOVA para el contenido de humedad óptima

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	0.497	3	0.166	1.258	0.352
Dentro de grupos	1.052	8	0.132		
Total	1.549	11			

Nota: Material propio.

Tabla 19

Prueba post hoc de Tukey para el contenido de humedad óptimo

(I) Adición de aditivos químicos	(J) Adición de aditivos químicos	Diferencia de medias (I-J)	Sig.
Suelo natural	PROES	-,46667	,442
	CONAID	-,36667	,622
	TERRAZYME	-,03333	,999
PROES	Suelo natural	,46667	,442
	CONAID	,10000	,986
	TERRAZYME	,43333	,499
CONAID	Suelo natural	,36667	,622
	PROES	-,10000	,986
	TERRAZYME	,33333	,685
TERRAZYME	Suelo natural	,03333	,999
	PROES	-,43333	,499
	CONAID	-,33333	,685

Nota: Material propio.

En la tabla 18 se aprecian los hallazgos de la prueba de ANOVA para el contenido de humedad óptimo, en el cual se tiene una significancia de 0.352 dado que este valor es superior al nivel de significancia predeterminado de 0.05, podemos decir que la hipótesis nula, que establece que los datos son iguales y que agregar aditivos químicos a la subrasante no tiene influencia significativa, es



cierta. Por otro lado, la diferencia de medias es mínima porque el software SPSS ignora este factor.

En la tabla 19 se aprecia la prueba post hoc de Tukey en donde se detallan las medias que no fueron mencionadas en la tabla anterior, se tiene una media de -0.03333 respecto a la muestra patrón con adición de aditivo TERRAZYME que es la menor diferencia de medias, es decir que con esta adición la humedad reduce mínimamente, considerado el aditivo óptimo.

4.4.3. Prueba de ANOVA para la capacidad de soporte

Ho: las medias de los datos de capacidad de soporte son iguales

Ha: las medias de los datos de capacidad de soporte son diferentes

Confiabilidad: 95%

Error o significancia establecida: 5% = 0.05

Tabla 20

Prueba de ANOVA para la capacidad de soporte

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	1297.500	3	432.500	3.604	0.065
Dentro de grupos	959.967	8	119.996		
Total	2257.467	11			

Nota: Material propio.

Tabla 21

Prueba post hoc de Tukey para la capacidad de soporte

(I) Adición de aditivos químicos	(J) Adición de aditivos químicos	Diferencia de medias (I-J)	Sig.
Suelo natural	PROES	-27.00000	.065
	CONAID	-15.50000	.368

(I) Adición de aditivos químicos	(J) Adición de aditivos químicos	Diferencia de medias (I-J)	Sig.
	TERRAZYME	-4.83333	.947
	Suelo natural	27.00000	.065
PROES	CONAID	11.50000	.596
	TERRAZYME	22.16667	.139
	Suelo natural	15.50000	.368
CONAID	PROES	-11.50000	.596
	TERRAZYME	10.66667	.648
	Suelo natural	4.83333	.947
TERRAZYME	PROES	-22.16667	.139
	CONAID	-10.66667	.648

Nota: Material propio.

En la tabla 20 se aprecian los hallazgos de la prueba de ANOVA para la capacidad de soporte, en el cual se tiene una significancia de 0.065 que es mayor a la significancia establecida de 0.05 por la hipótesis nula es aceptada la cual indica que los datos son iguales por lo que no existe influencia significativa al adicionar aditivos químicos en la subrasante, sin embargo, la diferencia de medias es mínima por lo que el software SPSS no considera.

En la tabla 21 se aprecia la prueba post hoc de Tukey en donde se detallan las medias que no fueron mencionadas en la tabla anterior, se tiene una media de -27.000 respecto a la muestra patrón con la adición de aditivo PROES el cual es la diferencia de medias más grande respecto a las demás, considerándose un aditivo óptimo que incrementa la capacidad de soporte al 95%.

4.5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Se llevó a cabo la discusión de los hallazgos obtenidos de dicha investigación, en la cual se inicia con la comparación de los datos obtenidos en laboratorio con los antecedentes del capítulo II conforme a cada objetivo planteado en dicho estudio.

OE1: Determinar la influencia de los estabilizantes Proes, Conaid y Terrazyme en la máxima densidad seca y óptimo contenido de humedad de la subrasante de la vía no pavimentada, tramo Lara – LLIQUI, Región Cusco, 2022.

Según los investigadores como Villalobos & Guevara (2020) en su proyecto denominada análisis comparativo de los estabilizadores químicos Consolid, Proes y Con-Aid en términos de su impacto en la resistencia y economía de suelos arcillosos, por ende se obtuvo la clasificación de AASHTO a A-5(9) y como también para SUCS un suelo con nomenclatura CL que se denomina arcilla de mínima plasticidad, con un índice de plasticidad a 8.90%, al adicionar el aditivo proes con 0.35 lt/m³ existe una disminución de IP con dato 8.90% a 4.50% en este punto es muy favorable, se evaluó el efecto del aditivo Conaid en suelos arcillosos de baja plasticidad (CL), al comparar los datos obtenidos de investigación de Villalobos & Guevara, existe resultados diferentes para cada propiedad física para una subrasante, al aplicar aditivos de proes afirmado así resultados de IP a 4.50%, al agregar el aditivo de Conaid mejoró los hallazgos para un suelo de arcilla de baja plasticidad. En contraste, en nuestro proyecto se obtuvo resultados significativos en base a las propiedades físicas, obteniendo resultados en base IP a 10%, contenido de humedad (%) a 8.34%.

OE2: Determinar la influencia de los estabilizantes Proes, Conaid y Terrazyme en el valor de CBR de la vía no pavimentada, tramo Lara – Lliqui, Región Cusco, 2022.

Según los investigadores como Villalobos & Guevara (2020) en su proyecto denominada análisis comparativo de los estabilizadores químicos Consolid, Proes y Con-Aid en términos de su impacto en la resistencia y economía de suelos arcillosos. El objetivo fue evaluar su capacidad para mejorar la subrasante de los caminos de acceso de la Asociación María Magdalena, que se ubican entre Lurigancho y Chosica. Para una



capacidad de soporte a los 28 días se halló resultados favorables, las propiedades mecánicas se obtuvo 1.91 gr/cm³ de MDS, para un CBR al 95% resulto a 3%. Al adicionar el aditivo proes con 0.35 lt/m³ la MDS con dato de 1.91gr/cm³ incremento a 2.06 y el CBR aumento de 3% a 12%. Se evaluó el efecto del aditivo Conaid en suelos arcillosos de baja plasticidad (CL). Se encontró que la dosis ideal era 0,06 lt/m³, lo que resultó en una mejora del 91,82% al 19,92% en el índice de carga de California y un aumento del 2,00% en la densidad seca máxima (MDS). Estos resultados indican que el Conaid mejora la capacidad de soporte del suelo, lo que lo transforma en una opción viable para mejorar las subrasantes de regular a buena. Se afirma, al comparar los datos obtenidos de investigación de Villalobos & Guevara, existe resultados diferentes para cada propiedad mecánica del suelo en dicho análisis para una subrasante, al aplicar aditivos de proes afirmado así resultados de MDS a 2.06gr/cm³, el CBR mejoro a 12%. Al agregar el aditivo de Conaid mejoro los hallazgos para un suelo de arcilla de baja plasticidad con resultados de ensayos de laboratorio de MDS a 2.00gr/cm³, para el CBR al 95% a 19.92%. El contraste con nuestro proyecto se obtuvo resultados significativos en base a las propiedades mecánicas, obteniendo resultados de gravedad especifica resultado 2.774, el peso específico del suelo natural 2.30 gr/cm³ y finalmente el CBR a 95% de suelo natural a 4.6%, la dosificación de proes al 28% es 33.6%, Conaid al 20% con un dato 35.8% y finalmente el Terrazyme al 4% a 14.7% conforme a los ensayos en la dosificación es favorable a la subrasante de dicho proyecto en mención.

OE3: Analizar el costo – beneficio de la aplicación de los estabilizantes Proes, Conaid y Terrazyme en la subrasante de la vía no pavimentada, tramo Lara – Lliqui, Región Cusco, 2022.

Según Ortega (2016), en su investigación que tuvo como objetivo mejorar la reducción de costos y operación en la estabilización de carreteras no pavimentadas



aplicando estabilizante de suelo, enzimas Terrazyme. Al comparar costos de estabilización por m³ se obtuvo un ahorro de S/. 164.11 entre emulsión asfáltica y el aditivo Terrazyme, de igual forma se obtuvo un ahorro de S/. 60.67 entre el aditivo PolyCom y el aditivo TerraZyme. En conclusión, la utilización del aditivo TerraZyme reduce el costo. En nuestros resultados el costo al utilizar aditivo Proes para una estabilización de una vía ya establecida se tuvo un costo de S/. 731077.28, con el aditivo Conaid el presupuesto de estabilización de la misma vía fue de S/. 703,469.78 y con el aditivo Terrazyme el costo fue de S/. 537824.78, teniendo un costo menor y un CBR mayor al utilizar el aditivo Conaid, siendo un aditivo óptimo para el mejoramiento de una vía, tal cual que los hallazgos del autor mencionado.



V. CONCLUSIONES

- Se logró determinar las características de un suelo de subrasante extraído de la vía no pavimentada, tramo Lara - Lliqui adicionando diversos aditivos químicos como Proes, Conaid y Terrazyme para mejorar sus propiedades naturales comparando los hallazgos obtenidos en ensayos de laboratorio.
- Con los hallazgos adquiridos a través del ensayo de Proctor modificado realizado en laboratorio, se concluye que el suelo natural sin ningún tipo de adición presenta una MDS de 2.081 representando al 100%, por lo que adicionando PROES en dosificaciones de 0.25 lt/m³, 0.275 lt/m³ y 0.30 lt/m³ la densidad disminuyó en 0%, -0.05% y -0.34% respecto al suelo natural, adicionando CONAID en 0.15 lt/m³, 0.175 lt/m³ y 0.20 lt/m³ la densidad disminuyó en -0.34%, -0.48% y -0.05% respecto al suelo natural, adicionando aditivo TERRAZYME en 0.020 lt/m³, 0.030 lt/m³ y 0.040 lt/m³ la densidad incrementó en 0.29%, 0.19% y 1.44% respecto al suelo natural, el CHO del suelo natural es de 9.35%, adicionando PROES en dosificaciones de 0.25 lt/m³, 0.275 lt/m³ y 0.30 lt/m³ la humedad incrementó en 8.77%, 5.24% y 0.94% respecto al suelo natural, adicionando CONAID en 0.15 lt/m³, 0.175 lt/m³ y 0.20 lt/m³ la humedad incremento en 4.28%, disminuyó en -1.07% e incrementó en 8.50% respecto al suelo natural, adicionando aditivo TERRAZYME en 0.020 lt/m³, 0.030 lt/m³ y 0.040 lt/m³ la humedad disminuyó en -1.60%, -2.99% e incrementó en 5.67% respecto al suelo natural.
- Con los hallazgos adquiridos a través del ensayo de CBR realizado en laboratorio, se concluye que el suelo natural sin ningún tipo de adición presenta un CBR al 95% de 4.60% representando al 100%, por lo que adicionando PROES en dosificaciones de 0.25 lt/m³, 0.275 lt/m³ y 0.30 lt/m³ la capacidad de soporte se incrementó en 217.39%,



630.43% y 913.04% respecto al suelo natural, adicionando CONAID en 0.15 lt/m³, 0.175 lt/m³ y 0.20 lt/m³ la capacidad de soporte incrementó en 82.61%, 250.00% y 678.26% respecto al suelo natural, adicionando aditivo TERRAZYME en 0.020 lt/m³, 0.030 lt/m³ y 0.040 lt/m³ la capacidad de soporte incrementó en 63.04%, 32.61% y 219.57% respecto al suelo natural.

- Con el costo de estabilización de una subrasante en el tramo Lara – Lliqui se concluye que adicionando el aditivo químico PROES el costo total fue de S/. 731077.28, adicionando aditivo químico CONAID el costo total fue de S/. 703469.78 y adicionando aditivo químico de TERRAZYME el costo total fue de S/. 537824.78, teniendo un menor costo con el aditivo estabilizante de TERRAZYME que se considera como el más adecuado en cuanto a costo beneficio.



VI. RECOMENDACIONES

- Realizar un análisis costo-beneficio detallado: Antes de implementar el uso de aditivos estabilizantes, es fundamental realizar un estudio costo-beneficio exhaustivo que considere los costos iniciales de adquisición y aplicación, así como los beneficios potenciales a largo plazo en términos de reducción de costos de mantenimiento, mejora de la vida útil y eficiencia del transporte.
- Evaluar las condiciones específicas del proyecto: El impacto económico puede variar dependiendo de factores como el tipo de suelo, las condiciones climáticas, el tráfico esperado y la disponibilidad local de materiales. Se recomienda realizar ensayos y pruebas piloto para evaluar la efectividad y los beneficios de los aditivos en el contexto específico del proyecto.
- Seleccionar el aditivo adecuado: Existen diferentes tipos de aditivos estabilizantes en el mercado, como cemento, cal, polímeros, enzimas, entre otros. Es importante seleccionar el aditivo más adecuado y eficiente para las condiciones del proyecto, considerando factores como costo, facilidad de aplicación y desempeño a largo plazo.
- Optimizar las dosificaciones y técnicas de aplicación: La correcta dosificación y aplicación de los aditivos estabilizantes es crucial para maximizar su efectividad y obtener los beneficios esperados. Se recomienda seguir estrictamente las especificaciones técnicas y las recomendaciones del fabricante.
- Considerar los beneficios sociales y ambientales: Hay ganancias monetarias, sociales y ambientales que pueden resultar de la estabilización de subrasantes, como la reducción de emisiones de polvo, la afianza de la accesibilidad y la facilitación del transporte de bienes y servicios en áreas remotas.



VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agencia Internacional de Energia. (2021). *Global Energy Review 2021*. IEA. Obtenido de <https://iea.blob.core.windows.net/assets/d0031107-401d-4a2f-a48b-9eed19457335/GlobalEnergyReview2021.pdf>
- Ahirwar, S., & Sir, P. (2021). Análisis de desempeño sobre el efecto de terrazyme sobre suelo arcillo limoso. 6(12). Obtenido de <https://www.ijedr.org/papers/IJEDR2112004.pdf>
- ALGHAMDI, H., SHOUKRY, H., ABADEL, A., & KHAWAJI, M. (2023). *Performance assessment of limestone calcined clay cement (LC3)-Based lightweight green mortars incorporating recycled waste aggregate*. Journal of Materials Research and Technology.
- American Society for Testing and Materials. (2018). *Standard Test Method for Flash and Fire Points by Cleveland Open Cup Tester*. ASTM.
- American Society for Testing and Materials. (2020). *Standard Test Method for Penetration of Bituminous Materials*. ASTM.
- American Society for Testing and Materials. (2020). *Standard Test Method for Softening Point of Bitumen (Ring-and-Ball Apparatus)*. ASTM.
- Angeles, P. (2019). *Las ventajas y desventajas de los plásticos: alternativas respetuosas con el medio ambiente*.
- ASTM D-1883, & AAASHTO. (2006). *California bearing ratio (CBR).s.l*. MTC E 132-2000.
- Bada, D. (2016). *Aplicacion del Aditivo Quimico Conaid para Atenuar la Plasticidad del Material Granular del Tramo de la Carretera Tauca – Bambas (km73 + 514 – km132 + 537) de la Ruta Nacional pe – 3na*. TRUJILLO: UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR ORREGO.



- Braja, D. (2014). *FUNDAMENTOS DE INGENIERIA GEOTECNIA* (4a.ed ed.). GENGAGE.
- Cabrejos, L., & Vigo, M. (2022). *Influencia del tereftalato de polietileno en las propiedades físicas mecánicas de una mezcla asfáltica, Trujillo 2021*. Trujillo: UTP.
- Callo Cheje, I. R., & Canta Honores, J. L. (2022). *Influencia de la Resina de Pino con Oxido de Cal en las propiedades de la subrasante, Vía Vilcapaza - Ayrapuni, Puno, 2022*. Universidad César Vallejo. Lima: UCV. Recuperado el 14 de 03 de 2024
- Camargo, H., & Suárez, A. (2010). *Diagnóstico de las nuevas tecnologías empleadas para el diseño de mezclas asfálticas densas en caliente MDC-2*. Bogotá D.C. : UMNG.
- Cárdenas, D. A. (2018). “*Mejoramiento de la base granular adicionando estabilizador Químico CON—AID CBR Plus en carretera Juliaca - limite Bolivia. Km 210+750 - 263+000. departamento de Puno*”. Universidad César Vallejo. Lima: UCV.
- Carrasco, S. (2019). *Metodología de la investigación científica. Pautas metodológicas para diseñar y elaborar el proyecto de investigación metodología de la investigación científica. Pautas metodológicas para diseñar y elaborar el proyecto de investigación*. Editorial San Marcos E. I. R.
- Castillo, P. (2018). *INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DE ADITIVOS QUÍMICOS EN LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS COHESIVOS PARA USO COMO SUBRASANTE MEJORADA DE PAVIMENTOS ENTRE LOS SECTORES CALAMARCA – HUASO, LA LIBERTAD, 2018*. Trujillo : Universidad Privada del Norte.



- Castro, J. (2021). *Incidencia de la adición de polímeros en los hormigones asfálticos convencionales mezclados en planta para vías en el Cantón Ambato, Provincia de Tungurahua*. Ambato - Ecuador: UTA.
- CE 020. (2018). *Estabilizaciones de suelos y taludes*. Lima - Perú: El peruano.
- Chaurasia, V. S., Pandey, P. P., Mishra, A. V., Gupta, S. S., & Pawar, A. U. (2021). *Estabilización de suelos utilizando Terrazyme para la construcción de carreteras*. 136.
- Chavez, H., & Pezo, A. (2020). *Propuesta Teórica de Diseño de Mezcla Asfáltica en Caliente producida a Temperatura Ambiente Menor a Seis Grados Centígrados en Perú*. Lima: UPC.
- Chuman Aguirre, J. M. (2017). *Reutilización de pavimento flexible envejecido mediante el empleo de una planta procesadora de mezcla asfáltica en caliente para pavimentos en Huancayo 2016*. Huancayo - Peru: Universidad Peruana los Andes.
- Conferencia de las Naciones Unidas sobre Comercio . (03 de Marzo de 2021). *El comercio mundial de plásticos es un 40% mayor de lo que se pensaba, según un estudio*. Obtenido de UNCTAD: <https://unctad.org/es/news/el-comercio-mundial-de-plasticos-es-un-40-mayor-de-lo-que-se-pensaba-segun-un-estudio>
- Cruz, A. (2023). *Análisis de la efectividad de un aditivo enzimático para estabilizar el suelo de la carretera Chirinos -El limon, Cajamarca, 2021*. Chiclayo: Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo.
- Densidad, h. y. (2012). *Densidad, humedad y parámetros de estado*. Peru.
- Diaz, W. A. (2022). *Efectos de la incorporación de pet reciclado en mezclas asfálticas en caliente para cargas de bajo tránsito en la ciudad de Iquitos – Perú, 2021*. Tesis, Universidad Científica del Perú, Iquitos - Perú.



- Esfandabad, A., Motevalizadeh, S., Sedghi, R., Ayar, P., & Asgharzadeh, S. (2020). Fracture and mechanical properties of asphalt mixtures containing granular polyethylene terephthalate (PET). *Construction and Building Materials*.
- Esteban, N. T. (2018). Tipos de investigación. *Dialnet*, 1-4.
- Fariña, Á., Kutay, M., & Anctil, A. (2023). Environmental assessment of asphalt mixtures modified with polymer coated rubber from scrap tires. *Journal of Cleaner Production*.
- Farooq, T., & Singh, E. S. (2020). Estabilización del suelo de algodón negro mediante el uso bioenzimas para la construcción de pavimentos. 5(7).
- Ferreira, J. W., Marroquin, J. F., Felix, J. F., Farias, M. M., & Casagrande, M. D. (2022). The feasibility of recycled micro polyethylene terephthalate (PET) replacing natural sand in hot-mix asphalt. *Construction and Building Materials*, 330, 1-13. doi:10.1016/J.CONBUILDMAT.2022.127276
- Forsythe, W. (1985). *Manual de laboratorio física de suelos*. San José - Costa Rica: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura.
- Gargate, F. M., & Huamaní, J. (2018). *Análisis comparativo de mezclas asfálticas con polímeros y tradicional para optimizar propiedades mecánicas en pavimento flexible - Lima, 2018*. Tesis de pregrado, Universidad Cesar Vallejo.
- Gobierno Regional Puno. (2008). *Plan de desarrollo regional concertado al 2021*. Puno: Gobierno Regional Puno.
- Griñán, J. (2021). *Infraestructuras sostenibles: desarrollo de mezclas asfálticas con residuos de la plasticultura*. Cratagena: UPCT.
- Guerra, D. J., & Quispe, D. (2021). *Estudio comparativo entre los aditivos Proes y Polycom en ensayos de resistencia y durabilidad para afirmados estabilizados, Ayacucho - 2021*. Lima. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12692/84584>



- GUzmán, P. I. (2018). *“Influencia de aditivos Químicos en las características Físico – mecánicas y relación Costo – beneficio de suelos a emplearse en la superficie de rodadura de la vía Puno – Aeropuerto de ventilla, Región Puno”*. Universidad Andina Néstor Cáceres Velasquez. UANCV.
- Guzman, S., & Iñiguez, M. (2016). Metodología para elección de estabilizantes químicos para bloques de tierra. *SCIELO*.
- Hernandez, R. (2018). *Metodología de investigación*. Ciudad de México: McGRAW-HILL.
- IEES-SNI. (2019). *Fabricación de productos de plástico*. Institutos de Estudios Económicos y Sociales.
- Iguaran, A. M., Guerrero, A. P., & Marulanda, J. E. (2021). *Estimación de los costos de mantenimiento del pavimento rígido en las vías del centro histórico del distrito especial, turístico y cultural de Riohacha*. Universidad de la Guajira, Riohacha.
- KIJANON, A., SUMRANWANICH, T., SAENGSOY, W., & TANGTERMSIRIKUL, S. (2023). *Chloride Penetration Resistance, Electrical Resistivity, and Compressive Strength of Concrete with Calcined Kaolinite Clay, Fly Ash, and Limestone Powder*. ASCE.
- Laura, K. (2021). *Estabilización de subrasante del suelo natural con Estabilización de subrasante del suelo natural con Moray, Cusco*. Huancayo: Universidad Continental.
- Luque, A. M. (2019). *Influencia de la incorporación del tereftalato de polietileno en el comportamiento de los parámetros del diseño Marshall del concreto asfáltico – Juliaca, 2018*. Universidad Nacional del Altiplano. Juliaca: UNAP. Obtenido de <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/13230>



- Ma, J., & Hesp, S. (2022). Effect of recycled polyethylene terephthalate (PET) fiber on the fracture resistance of asphalt mixtures. *Construction and Building Materials*.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2022). Obtenido de Ministerio de Transportes y Comunicaciones: <https://www.datosabiertos.gob.pe/dataset/red-vial-nacional-del-sistema-nacional-de-carreteras-2022-ministerio-de-transportes-y>
- Montejo , F., & Alfonso . (2002). *INGENIERÍA DE PAVIMENTOS PARA CARRETERAS* (2 A ed. ed.). Colombia: UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA.
- Monturiol, M. (2019). *Evaluación del desempeño de mezclas asfálticas modificadas con PET*. Costa Rica.
- Moreno, J. (2010). *Catalizador natural liquido para la construccion, mantenimiento, rehabilitacion de carreteras y caminos en general*. Guayaquil- Ecuador: Terragestion S.A. Obtenido de www.terragestion.tk
- MTC. (2018). *Glosario de términos*. Lima.
- Noriega Armas, Y. V., Vives Arroyo, J. A., & Muñoz Pérez , S. P. (2022). Uso de estabilizadores de suelo: una revisión Uso de estabilizadores de suelo: una revisión. *18(2)*. doi:<https://doi.org/10.18041/1794-4953/avances.1.6856>
- NUAKLONG, P., HAMCUMPAI, K., KEAWSAWASVONG, S., PETHRUNG, S., JONGVIVATSAKUL, P., TANGARAMVONG, S., . . . LIKITLERSUANG, S. (2023). *Strength and post-fire performance of fiber-reinforced alkali-activated fly ash concrete containing granite industry waste*. *Construction and Building Materials*.
- Ortega, H. M. (2016). *Reducción de costos y operación en la estabilizacion de carreteras no pavimentadas con enzimas terrazyme en el distrito de Amarilis - 2016*. Obtenido de <http://repositorio.udh.edu.pe/123456789/852>



- Otzen, T., & Manterola, C. (2017). Técnicas de Muestreo sobre una Población a Estudio. *Int. Journal Morphol*, 35, 227-232.
- Puente, J. (2020). *Análisis técnico – económico de mezclas asfálticas con tereftalato de polietileno reciclado para la construcción de carreteras asfaltadas*. Huancayo: UPLA.
- Pumaricra, R. (2022). *Desarrollo urbano - rural, catastro, prevencion de riesgos, hidraulca y geotecnia*. Lima: Universidad Nacional Federico Villarreal.
- QuimiNet. (2010). *Usos y aplicaciones del Polietileno Tereftalato (PET)*. Obtenido de <https://www.quiminet.com/>
- Ramos, M. M., Gómez Díaz, J. D., Monterroso, A. I., Uribe Gómez, M., Villar Hernández, B. J., Ruiz García, P., & Asencio, C. (2020). Factores que influyen en la erosión hídrica del suelo en un bosque templado. *11*(59).
- Rondón, H., & Reyes, F. (2015). *Pavimentos: Materiales, construcción y diseño*. Ecoe Ediciones. .
- Rondón, H., & Reyes, F. (2022). *Pavimentos materiales, construcción y diseño*. Colombia: ECOE.
- Sierra, C., & Mejía, C. (2017). *Estado del arte de mezclas asfálticas modificadas en los ultimos 10 años: caso de estudio Universidad de Bogotá D.C*. Bogotá: UB.
- Singh, S. (2021). Experimental investigation on black cotton soil altered thru cement kiln dust and terrazyme. *Materialstoday: proceedings*, 3661 - 3664. doi:<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.10.147>
- Spadoni, S., Paolo, L., Mocelin, D., Kim, R. Y., & Canestrari, F. (2022). Comparison of asphalt mixtures containing polymeric compounds and polymer-modified bitumen based on the VECD theory. *Construction and Building Materials*, 349, 1-13. doi:10.1016/J.CONBUILDMAT.2022.128725



- Staver, M., Arabzadeh, A., Williams, R. C., & Cochran, E. (Diciembre de 2021).
Statistical analysis factor screening of soybean oil and polymer modified asphalt
blending using master batching technique. *Construction and Building Materials*,
313, 1-9. doi:<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.125435>
- Tamayo y Tamayo, M. (2018). *"El proceso de la investigación científica"* (4ta ed.).
México: Editorial limusa.
- VILLALOBOS, J., & GUEVARA , J. (2020). *Análisis de los estabilizadores químicos
consolid, proes y conaid en resistencia y economía empleados en suelos
arcillosos*. LIMA : UNIVERSIDAD PERUANA UNION .
- Villalobos, J., & Guevara, J. J. (2020). *Análisis de los estabilizadores químicos consolid,
proes y con-aid en resistencia y economía empleados en suelos arcillosos como
propuesta para la mejora de la subrasante en las vías de acceso Asoc. María
Magdalena, Lurigancho- Chosica*. Universidad Peruana Unión. Lima: UPEU.
Obtenido de https://repositorio.upeu.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12840/3407/Jaime_Trabajo_Bachiller_2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y



ANEXOS

ANEXO A: Matriz de consistencia.

ANEXO B: Matriz de operacionalización.

ANEXO 1: Análisis granulométrico (suelo natural).

ANEXO 2: Contenido de humedad natural de un suelo.

ANEXO 3: Límites de consistencia.

ANEXO 4: Gravedad específica del suelo.

ANEXO 5: Peso específico del suelo.

ANEXO 6: Proctor modificado y CBR de suelos (laboratorio).

ANEXO 7: Sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS).

ANEXO 8: Sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS).

ANEXO 9: Certificados de calibración.

ANEXO 10: Fichas Técnicas de los aditivos.

ANEXO 11: Normas y Criterios técnicos para establecer la estabilización de Subrasante con aditivos químicos.

ANEXO 12: Panel fotográfico.



DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo EDWIN ROMERO SARD
identificado con DNI 45903878 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado
INGENIERIA CIVIL

informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:
" ESTUDIO COMPARATIVO DE LOS ESTABILIZANTES PADES, CONAD Y
TERRAZyme APLICADO EN SUBRASANTES DE VÍAS NO PAVIMENTADAS,
TRAMO LARD - LLIQUI, REGIÓN CUSCO, 2022 "

Es un tema original.

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

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

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

En caso de incumplimiento de esta declaración, me someto a las disposiciones legales vigentes y a las sanciones correspondientes de igual forma me someto a las sanciones establecidas en las Directivas y otras normas internas, así como las que me alcancen del Código Civil y Normas Legales conexas por el incumplimiento del presente compromiso

Puno 09 de OCTUBRE del 2024



FIRMA (obligatoria)



Huella



AUTORIZACIÓN PARA EL DEPÓSITO DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Por el presente documento, Yo EDWIN ROJERO SARD identificado con DNI 45903878 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado

INGENIERIA CIVIL

informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:

" ESTUDIO COMPARATIVO DE LOS ESTABILIZANTES PROES, CONRID Y TERRAZyme APLICADO EN SUBRASANTES DE UDS NO PAVIMENTADOS, TRAMO LORA - LLIQNI, REGIÓN CUSCO, 2022 "

para la obtención de Grado, Título Profesional o Segunda Especialidad.

Por medio del presente documento, afirmo y garantizo ser el legítimo, único y exclusivo titular de todos los derechos de propiedad intelectual sobre los documentos arriba mencionados, las obras, los contenidos, los productos y/o las creaciones en general (en adelante, los "Contenidos") que serán incluidos en el repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

También, doy seguridad de que los contenidos entregados se encuentran libres de toda contraseña, restricción o medida tecnológica de protección, con la finalidad de permitir que se puedan leer, descargar, reproducir, distribuir, imprimir, buscar y enlazar los textos completos, sin limitación alguna.

Autorizo a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno a publicar los Contenidos en el Repositorio Institucional y, en consecuencia, en el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, sobre la base de lo establecido en la Ley N° 30035, sus normas reglamentarias, modificatorias, sustitutorias y conexas, y de acuerdo con las políticas de acceso abierto que la Universidad aplique en relación con sus Repositorios Institucionales. Autorizo expresamente toda consulta y uso de los Contenidos, por parte de cualquier persona, por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales de autor y derechos conexos, a título gratuito y a nivel mundial.

En consecuencia, la Universidad tendrá la posibilidad de divulgar y difundir los Contenidos, de manera total o parcial, sin limitación alguna y sin derecho a pago de contraprestación, remuneración ni regalía alguna a favor mío; en los medios, canales y plataformas que la Universidad y/o el Estado de la República del Perú determinen, a nivel mundial, sin restricción geográfica alguna y de manera indefinida, pudiendo crear y/o extraer los metadatos sobre los Contenidos, e incluir los Contenidos en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

Autorizo que los Contenidos sean puestos a disposición del público a través de la siguiente licencia:

Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visita: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno 09 de OCTUBRE del 20 24

FIRMA (obligatoria)



Huella