

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**TESIS**

**“INFLUENCIA DEL ADITIVO PROES PARA EL MEJORAMIENTO DE LA  
SUBRASANTE DEL TRAMO EL TUMI – CHUNCHUNQUILLO, JAÉN 2022”**

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

**AUTOR:**

Bach. VÁSQUEZ ESTELA CRISTIAN JUNIOR

**ASESOR:**

Ing. SIFUENTES INOSTROZA LUCIO MARCIAL

CAJAMARCA – PERÚ

2024

## CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

### FACULTAD DE INGENIERÍA

1. Investigador: CRISTIAN JUNIOR VÁSQUEZ ESTELA  
DNI: 74163613  
Escuela Profesional: INGENIERÍA CIVIL
2. Asesor: LUCIO MARCIAL SIFUENTES INOSTROZA  
Facultad: INGENIERÍA
3. Grado académico o título profesional  
 Bachiller       Título profesional       Segunda especialidad  
 Maestro       Doctor
4. Tipo de Investigación:  
 Tesis       Trabajo de investigación       Trabajo de suficiencia profesional  
 Trabajo académico
5. Título de Trabajo de Investigación: "INFLUENCIA DEL ADITIVO PROES PARA EL MEJORAMIENTO DE LA SUBRASANTE DEL TRAMO EL TUMI – CHUNCHUNQUILLO, JAÉN 2022"
6. Fecha de evaluación: 20 de junio del 2024
7. Software antiplagio:       TURNITIN       URKUND (OURIGINAL) (\*)
8. Porcentaje de Informe de Similitud: 15% de similitud general
9. Código Documento: oid:3117:362136937
10. Resultado de la Evaluación de Similitud: 15%  
 APROBADO     PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO

Fecha Emisión: 21 de junio del 2024

 <p>FIRMA DEL ASESOR</p> <p>Nombres y Apellidos: Lucio Marcial Sifuentes Inostroza</p> <p>DNI:26617505</p>	<p>UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA UNIDAD DE INVESTIGACIÓN</p>  <p>Dra. Yvonne Katherine Fernández León DIRECTORA</p> <p>UNIDAD DE INVESTIGACIÓN FI</p>
---	--

COPYRIGHT © 2024 by  
**CRISTIAN JUNIOR VÁSQUEZ ESTELA**  
Todos los derechos reservados

## **AGRADECIMIENTO**

Esta tesis se ha materializado gracias al invaluable respaldo brindado por mis padres y mi hermanita. Les estoy profundamente agradecido por haber sido una fuente constante de inspiración que impulsó mis sueños a lo largo de este camino.

Expreso un agradecimiento especial a Dios por su constante guía y protección a lo largo de mi trayectoria académica y profesional, una influencia que perdura hasta el día de hoy.

Reconozco la compañía y competencia que mis amigos, compañeros y colegas proporcionaron durante este proceso.

Asimismo, deseo expresar mi gratitud hacia mi asesor, el Ingeniero Lucio Marcial Cifuentes Inostroza, cuyo apoyo académico fue fundamental en la formulación y análisis de mi investigación.

## **DEDICATORIA**

"Es con profundo cariño y sincera gratitud que dedico esta tesis a mis queridos padres y a mi querida hermana. Son ellos quienes insuflan vida a mis sueños, quienes brindan un apoyo constante en mis logros personales y quienes luchan incansablemente a mi lado en cada instante. Su ejemplo y guía me han iluminado en el recorrido por el sendero correcto de la vida."

**Vásquez Estela, Cristian Junior**

## ÍNDICE

AGRADECIMIENTO.....	iii
DEDICATORIA.....	iv
ÍNDICE .....	v
ÍNDICE DE TABLAS .....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	viii
RESUMEN .....	xi
ABSTRACT .....	xii
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....	13
1.1. Planteamiento del problema .....	13
Contextualización .....	13
Descripción del problema .....	15
1.2. Formulación del problema .....	16
1.3. Hipótesis.....	16
1.4. Variables de investigación .....	16
1.5. Justificación de la investigación.....	16
1.6. Alcances o delimitaciones de la investigación .....	16
1.7. Limitaciones.....	17
1.8. Objetivos.....	17
1.8.1. Objetivo General .....	17
1.8.2. Objetivos específicos .....	17
1.9. Descripción del contenido de los capítulos.....	17
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	19
2.1. Antecedentes Teóricos .....	19
2.1.1. Antecedentes Internacionales .....	19
2.1.2. Antecedentes Nacionales .....	20
2.1.3. Antecedentes Locales.....	22
2.2. Bases Teóricas.....	23
2.2.1. Suelos.....	23
2.2.2. Subrasante.....	26
2.2.3. Red vial.....	28
2.2.4. Estabilización química de suelos .....	29
2.2.5. Aditivo PROES.....	30
2.2.6. Carreteras en función de demanda vehicular .....	31

2.2.7. Carreteras no pavimentadas.....	32
2.2.8. Carreteras pavimentadas.....	33
2.2.9. Registros de excavación .....	34
2.2.10. Definición de términos básicos .....	35
CAPÍTULO III: MATERIALES Y MÉTODOS .....	37
3.1. Ubicación geográfica de la zona de estudio .....	37
3.2. Tipo, nivel, diseño y método de investigación .....	39
3.3. Población de estudio .....	40
3.4. Muestra.....	41
3.5. Unidad de análisis.....	41
3.6. Unidad de observación.....	41
3.7. Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	41
3.8. Materiales .....	41
3.9. Equipos.....	42
3.10. Procedimiento.....	42
3.10.1. Clasificación de la carretera.....	43
3.11. Número de calicatas para exploración.....	43
3.12. Ensayos de suelos.....	43
3.12.1. Contenido de humedad(W%).....	43
3.12.2. Análisis granulométrico .....	44
3.12.3. Límite líquido.....	45
3.12.4. Límite plástico .....	46
3.12.5. Compactación Próctor modificado .....	47
3.12.6. CBR en laboratorio .....	48
CAPÍTULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	50
4.1. Contrastación de hipótesis .....	57
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	58
5.1. Conclusiones .....	58
5.2. Recomendaciones .....	58
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	59
ANEXOS .....	62

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Signos convencionales para perfil de calicatas – AASHTO .....	25
Tabla 2	Clasificación de categoría de subrasante.....	25
Tabla 3	Número de calicatas en exploración .....	27
Tabla 4	Clasificación de aditivos estabilizadores para suelos.....	30
Tabla 5	Número de ensayos a realizarse.....	35
Tabla 6	Coordenadas del tramo de estudio .....	37
Tabla 7	Calicatas realizadas en la investigación.....	43
Tabla 8	Clasificación de suelos de las calicatas.....	50
Tabla 9	Densidad máxima y humedad óptima de muestras.....	51
Tabla 10	Próctor modificado con aditivo PROES 10ml/m <sup>3</sup> .....	52
Tabla 11	Próctor modificado con aditivo PROES 20 ml/m <sup>3</sup> .....	53
Tabla 12	Próctor modificado con aditivo PROES 30 ml/m <sup>3</sup> .....	53
Tabla 13	Diseño patrón del CBR.....	54
Tabla 14	CBR con aditivo PROES en 10 ml/m <sup>3</sup> .....	54
Tabla 15	CBR con aditivo PROES en 20 ml/m <sup>3</sup> .....	54
Tabla 16	CBR con aditivo PROES en 30 ml/m <sup>3</sup> .....	55
Tabla 17	Comparación CBR patrón con CBR que contiene aditivo PROES.....	56

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Localización de la Provincia de Jaén .....	37
Figura 2 Ubicación en la ciudad de Jaén .....	38
Figura 3 Ubicación del tramo de estudio .....	38
Figura 4 Ubicación de las calicatas .....	39
Figura 5 Comparación CBR patrón con CBR que contiene aditivo PROES .....	57
Figura 6 Inicio del segmento de análisis en el tramo Tumi – Chunchunquillo en la progresiva 00+000.....	62
Figura 7 Ubicación de C-1 para la extracción de la muestra, así como el material de préstamo para mejoramiento de subrasante. ....	62
Figura 8 Ubicación de C-2 para la extracción de la muestra .....	63
Figura 9 La ubicación seleccionada para la obtención de la muestra C-3 .....	63
Figura 10 Recolección de información sobre la ubicación y las coordenadas en la zona de análisis.....	64
Figura 11 Determinación de las progresivas en el segmento de investigación .....	64
Figura 12 Forma gráfica una sección particular de la carretera o vía que corresponde a la localización de la estación 01+00. ....	65
Figura 13 Ensayo de Contenido de Humedad. ....	65
Figura 14 Ensayo de Límites de Consistencia. ....	66
Figura 15 Ensayo de Granulometría. ....	66
Figura 16 Ensayo de proctor modificado.....	67
Figura 17 Ensayo de CBR.....	67
Figura 18 Estado original o natural.....	68
Figura 19 Perfilado o limpieza inicial .....	68
Figura 20 Drenaje y corte .....	69
Figura 21 Proceso de escarificado .....	69
Figura 22 Adición de suelo de ser necesario .....	70
Figura 23 Aplicación del estabilizador de suelos.....	70
Figura 24 Mezclado y homogenizado.....	71
Figura 25 Compactación del material.....	71
Figura 26 Perfilado y sellado final.....	72

Figura 27 Ensayo de contenido de humedad (C-1).....	73
Figura 28 Ensayo de Límites de Atterberg (C-1).....	74
Figura 29 Ensayo de Análisis Granulométrico (C-1).....	75
Figura 30 Ensayo de Proctor Modificado (C-1).....	76
Figura 31 Ensayo de CBR de la muestra en estado natural (C-1).....	77
Figura 32 Gráficas de CBR (C-1).....	78
Figura 33 Ensayo de Proctor Modificado adición 10ml (C-1).....	79
Figura 34 Ensayo de CBR adición 10 ml (C-1).....	80
Figura 35 Gráficas de CBR 10ml (C-1).....	81
Figura 36 Ensayo de Proctor Modificado adición 20 ml (C-1).....	82
Figura 37 Ensayo de CBR adición 20 ml (C-1).....	83
Figura 38 Gráficas de CBR 20ml (C-1).....	84
Figura 39 Ensayo de Proctor Modificado adición 30 ml (C-1).....	85
Figura 40 Ensayo de CBR adición 30 ml (C-1).....	86
Figura 41 Gráficas de CBR 30ml (C-1).....	87
Figura 42 Ensayo de contenido de humedad (C-2).....	88
Figura 43 Ensayo de Límites de Atterberg (C-2).....	89
Figura 44 Ensayo de Análisis Granulométrico (C-2).....	90
Figura 45 Ensayo de Proctor Modificado (C-2).....	91
Figura 46 Ensayo de CBR de la muestra en estado natural (C-2).....	92
Figura 47 Gráficas de CBR (C-2).....	93
Figura 48 Ensayo de Proctor Modificado adición 10 ml (C-2).....	94
Figura 49 Ensayo de CBR adición 10 ml (C-2).....	95
Figura 50 Gráficas de CBR 10ml (C-2).....	96
Figura 51 Ensayo de Proctor Modificado adición 20 ml (C-2).....	97

Figura 52 Ensayo de CBR adición 20 ml (C-2).....	98
Figura 53 Gráficas de CBR 20ml (C-2).....	99
Figura 54 Ensayo de Proctor Modificado adición 30 ml (C-2).....	100
Figura 55 Ensayo de CBR adición 30 ml (C-2).....	101
Figura 56 Gráficas de CBR 30ml (C-2).....	102
Figura 57 Ensayo de contenido de humedad (C-3).....	103
Figura 58 Ensayo de Límites de Atterberg (C-3).....	104
Figura 59 Ensayo de Análisis Granulométrico (C-3).....	105
Figura 60 Ensayo de Proctor Modificado (C-3).....	106
Figura 61 Ensayo de CBR de la muestra en estado natural (C-3).....	107
Figura 62 Gráficas de CBR (C-3).....	108
Figura 63 Ensayo de Proctor Modificado adición 10 ml (C-3).....	109
Figura 64 Ensayo de CBR adición 10 ml (C-3).....	110
Figura 65 Gráficas de CBR 10ml (C-3).....	111
Figura 66 Ensayo de Proctor Modificado adición 20 ml (C-3).....	112
Figura 67 Ensayo de CBR adición 20 ml (C-3).....	113
Figura 68 Gráficas de CBR 20ml (C-3).....	114
Figura 69 Ensayo de Proctor Modificado adición 30 ml (C-3).....	115
Figura 70 Ensayo de CBR adición 30 ml (C-3).....	116
Figura 71 Gráficas de CBR 30ml (C-3).....	117

## RESUMEN

La investigación tiene el objetivo de determinar la influencia del aditivo PROES en el mejoramiento de subrasante del tramo El Tumi – Chunchunquillo, Jaén 2022, de la cual se extrajeron muestras de suelo para realizar la evaluación del contenido de humedad, los límites de consistencia, análisis granulométricos, compactación Próctor modificado y el CBR de la muestra patrón, y de muestras tratadas con el aditivo Proes. Los resultados obtenidos de las calicatas C-1, C-2 y C-3 registraron densidades secas de 1.54, 1.77 y 1.92 g/cm<sup>3</sup>, respectivamente, con humedades óptimas de 21%, 15.1% y 11.6%, así como valores de CBR sin aditivo de 4.4%, 4.8% y 6.10%, respectivamente. La aplicación de la dosificación óptima de 30 ml/m<sup>3</sup> de aditivo en la calicata C-1 mostró una densidad máxima de 1.57 g/cm<sup>3</sup>, humedad óptima de 19.20% y CBR de 11.00 %, aumentando este último en un 150.00 % en comparación con el CBR sin aditivo. En la calicata C-2, se obtuvo una densidad máxima de 1.81 g/cm<sup>3</sup>, humedad óptima de 13.50% y CBR de 11.40 %, representando un aumento del 137.50 % en el CBR con respecto al sin aditivo. Para la calicata C-3, se registraron valores de densidad máxima seca de 1.98 g/cm<sup>3</sup>, humedad óptima de 9.90% y CBR de 11.80 %, evidenciando un incremento del 93.44 % en el CBR con respecto al suelo sin aditivo. El aditivo PROES mejoró significativamente el CBR del tramo de estudio, incrementando 150% en C-1, 137.50% en C-2 y 93.44% en C-3 comparado con el CBR de terreno natural.

Palabras clave: CBR, incremento, subrasante, muestra patrón.

## ABSTRACT

The objective of the research is to determine the influence of the PROES additive on the subgrade improvement of the El Tumi – Chunchunquillo, Jaén 2022 section, from which soil samples were extracted to carry out the content evaluation. of. humidity, the limits. consistency, granulometric analysis, modified Proctor compaction and the CBR of the standard sample, and of samples treated with the Proes additive. The results obtained from pits C-1, C-2 and C-3 recorded dry densities of 1.54, 1.77 and 1.92 g/cm<sup>3</sup>, respectively, with optimal humidity of 21%, 15.1% and 11.6%, as well as CBR values. without additive of 4.4%, 4.8% and 6.10%, respectively. The application of the optimal dosage of 30 ml/m<sup>3</sup> of additive in the C-1 pit showed a maximum density of 1.57 g/cm<sup>3</sup>, optimal humidity of 19.20% and CBR of 11.00%, increasing the latter by 150.00% compared to CBR without additive. In the C-2 pit, a maximum density of 1.81 g/cm<sup>3</sup>, optimal humidity of 13.50% and CBR of 11.40% was obtained, representing an increase of 137.50% in the CBR with respect to that without additive. For the C-3 pit, dry density values of 1.98 g/cm<sup>3</sup>, optimal humidity of 9.90% and CBR of 11.80% were recorded, evidencing an increase of 93.44% in the CBR with respect to that without additive. The PROES additive significantly improved the CBR of the study section, increasing 150% in C-1, 137.50% in C-2 and 93.44% in C-3 compared to the CBR of natural terrain.

Keywords: CBR, increment, subgrade, pattern sample.

## **CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN**

### **1.1. Planteamiento del problema**

#### **Contextualización**

Actualmente, las vías de acceso o carreteras representan el principal pilar de competitividad y desarrollo en los diferentes aspectos como social y económico del país, ya que permite tener acceso y suministro a las necesidades primordiales como la educación, la alimentación, la atención médica y trabajo. Cuando este sistema de vías es deficiente, trae problemas como el cierre parcial o temporal de las carreteras, debido a factores como el uso de materiales que no tienen especificaciones técnicas requeridas; que generan costos extras en tiempo y transitabilidad de los vehículos, siendo un desafío para la utilización de nuevos materiales en este tipo de infraestructura (Cubas & Fuentes, 2019).

La subrasante puede estar compuesta de diferentes tipos de suelos, como arcillas, limos, arena o gravas, y su calidad varía de acuerdo a las características geotécnicas y geológicas de la zona donde se encuentra. En muchas ocasiones, las propiedades de la subrasante no son adecuadas para soportar las cargas de las estructuras que se construirán sobre ella. Esto puede dar lugar a asentamientos diferenciales, deformaciones, fisuras y hasta fallos en la estructura de la carretera, lo que a su vez conduce a problemas de seguridad y costos de mantenimiento significativos (Yaun, 2023).

A nivel internacional, según una encuesta realizada por CNT - Confederación

Nacional de Transporte, sobre las condiciones actuales de la red vial nacional, más del 50% de las carreteras ecuatorianas tienen algún tipo de deficiencia (Vishnu & Singh, 2020). Entre ellas, las principales incluyen la compactación inadecuada, la inestabilidad del suelo, la capacidad de carga insuficiente, el deficiente drenaje, el espesor insuficiente, la falta de refuerzo, la compactación irregular, los deslizamientos y erosión en áreas montañosas, la mala planimetría y la falta de mantenimiento. Estos problemas impactan negativamente la calidad y seguridad de la trocha carrosable, requiriendo una atención adecuada durante construcción y mantenimiento de la vía. (Vishnu & Singh, 2020).

Según INDECI (2020), los fenómenos como el cambio climático tienen un impacto significativo en diversas áreas. En particular, la infraestructura vial que en los años 2017 a 2018 se vio gravemente afectada debido a la gran vulnerabilidad de erosión de suelos, con 2,638 km de la red vial nacional dañada, lo que representó aproximadamente el 10% de dicha red. Estos daños no se limitaron solo a la superficie de la carretera, sino que también involucraron problemas en la subrasante y estructuras como puentes, con un total de 7,095 km de caminos subnacionales y 192 puentes afectados. Se estimó que se requeriría una inversión de S/ 8,728 millones para la reconstrucción y rehabilitación de estas vías, incluyendo el mejoramiento de la subrasante.

En términos de concesiones viales, se identificaron 809 km de vías concesionadas afectadas por los diferentes acontecimientos climáticos que agrabaron la vulnerabilidad de los suelos, ello fue equivalente al 12% de la

longitud de la red vial concesionada. Estos daños se concentraron principalmente en las redes viales del Centro y Norte del país, siendo las concesiones de la Red Vial Norte las más afectadas, con el 60% de los daños distribuidos. Las concesiones de la Red Vial Centro representaron alrededor del 33%, incluyendo la Red Vial N°4 e IIRSA Centro - Tramo 2 (OSITRAN, 2021).

La infraestructura vial es un pilar esencial para el desarrollo socioeconómico de una región. Un adecuado sistema de carreteras y caminos asegura la conectividad entre distintas localidades, facilita el transporte de bienes y personas, y promueve el crecimiento económico. Sin embargo, muchas vías rurales y carreteras presentan deficiencias en sus condiciones estructurales y funcionales, lo que afecta su calidad, durabilidad y seguridad. Una de las problemáticas más comunes en las carreteras es el comportamiento deficiente de la subrasante, que puede resultar en asentamientos, fisuras y deformaciones, afectando negativamente la duración del pavimento y el confort de los usuarios, (Lozano, 2020).

### **Descripción del problema**

El tramo vial El Tumi - Chunchunquillo, ubicado en el distrito de Jaén, ha sido identificado como una vía con problemas en su subrasante que compromete su estabilidad y funcionalidad. Las condiciones geológicas y geotécnicas del suelo en esta zona presentan características problemáticas como asentamientos, deformaciones, inclinación o desnivel y deterioro del drenaje que afectan negativamente el comportamiento de la carretera. Los esfuerzos de carga aplicados por el tráfico vehicular generan tensiones sobre el

sustrato, el cual no posee la resistencia y capacidad de soporte adecuada, esto produce daños en el pavimento.

## **1.2. Formulación del problema**

¿Cómo influye el aditivo PROES en el mejoramiento de la subrasante del tramo El Tumi – Chunchunquillo, Jaén 2022?

## **1.3. Hipótesis**

El aditivo PROES incrementa el valor de la densidad seca, índice CBR y disminuye el índice de plasticidad y contenido óptimo de la subrasante del tramo El Tumi – Chunchunquillo, Jaén 2022.

## **1.4. Variables de investigación**

**Variable independiente:** Aditivo proes

**Variable dependiente:** densidad seca, CBR, índice de plasticidad, contenido óptimo.

## **1.5. Justificación de la investigación**

La presente investigación se justifica por que el aditivo PROES mejora las características de la subrasante del tramo El Tumi – Chunchunquillo tales como la densidad seca y su resistencia a la compresión.

## **1.6. Alcances o delimitaciones de la investigación**

La presente investigación se enfocó en determinar la influencia del aditivo PROES en el mejoramiento de la subrasante del tramo vial El Tumi -

Chunchunquillo, ubicado en la provincia de Jaén, durante el año 2022. Se centro específicamente en evaluar las propiedades físicas y mecánicas del suelo, utilizando una dosificación de aditivo PROES de 10, 20 y 30 ml/m<sup>3</sup>.

## **1.7. Limitaciones**

Los resultados servirán para suelos con similares características al suelo estudiado del tramo que conecta el Tumi – Chunchunquillo situado en la provincia de Jaén, Perú.

## **1.8. Objetivos**

### **1.8.1. Objetivo General**

Determinar la influencia del aditivo PROES para el mejoramiento de la subrasante del tramo El Tumi – Chunchunquillo, Jaén 2022.

### **1.8.2. Objetivos específicos**

- ✓ Determinar las propiedades físicas del suelo (Contenido de Humedad, análisis granulométrico, Limite Líquido, Limite Plástico).
- ✓ Determinar contenido óptimo y la densidad seca máxima del suelo sin adición y con adición de aditivo PROES.
- ✓ Determinar el índice de CBR del suelo patrón y del suelo con aditivo.

## **1.9. Descripción del contenido de los capítulos**

Capítulo I. Introducción: en esta sección se encuentra la realidad problemática, planteamiento del problema de investigación, la hipótesis, justificación, alcances y/o delimitación de la investigación, limitaciones.

Capítulo II: Se expone una descripción de los antecedentes a nivel global, nacional y local que brindan perspectiva sobre investigaciones previas relacionadas con el tema de estudio, además, se incluyen las bases teóricas consideradas en el desarrollo de tesis.

Capítulo III: En este capítulo se detalla el sitio de realización de la investigación actual, la metodología de investigación, los procedimientos y herramientas utilizadas para procesar la información y la explicación detallada de la metodología empleada para la recopilación de datos.

Capítulo IV: Se muestra el análisis de la influencia del aditivo PROES.

Capítulo V: En esta parte se describen las conclusiones y recomendaciones.

Anexos. Panel fotográfico y ensayos de suelos.

## CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

### 2.1. Antecedentes Teóricos

#### 2.1.1. Antecedentes Internacionales

**Diaz y Paez (2019), en su análisis de cómo el aceite sulfonado Proes afecta la manera en que un material granular arcilloso responde a cambios dinámicos en su forma - Universidad Santo Tomás. Bogotá.**

Se produjeron un total de 19 muestras con un diámetro de 50 mm y una altura de 100 mm. Estas fueron creadas mediante la incorporación de un 2% de aceite sulfonado al agua de mezcla, compactadas mediante el método estático de volumen constante presión variable. señalan que la inclusión del estabilizador condujo a un incremento del 60% en la rigidez del material sin curar, en comparación con las muestras que carecían de aditivos. Además, las curvas de normalización  $G/G_0$  demostraron que la disminución del módulo fue más pronunciada en las muestras no tratadas. En cuanto a las muestras sometidas al proceso de curado, se observó un aumento en la rigidez a los 30 días, seguido de una disminución a las edades de 60 y 90 días.

**Mayans (2019), Estabilización de arcillas usando aceites sulfonados (Aditivo Proes). Análisis de factibilidad de la aplicación del producto.**

En este estudio, se propuso la combinación de cemento con el aditivo proes, y se llevaron a cabo caracterizaciones de tres tipos distintos de materiales arcillosos. Se seleccionó una arcilla de tonalidad habano debido a su índice de plasticidad superior a 30 y un límite líquido superior a 50, clasificándose como arcilla de alta plasticidad según el sistema de clasificación (OH). El GEO-STAB fue elegido por su destacada capacidad de intercambio iónico. Este se mezcló con diferentes

proporciones de cemento (0.5%, 1.0% y 1.5%), y se examinó el comportamiento al estabilizar con esta nueva combinación. Se llevaron a cabo pruebas de CBR y compresión inconfiada remodelada, lo que permitió concluir que el aditivo proes estabiliza la arcilla al reducir los límites de Atterberg, mientras que el cemento proporciona una mayor resistencia y capacidad de soporte al suelo.

### **2.1.2. Antecedentes Nacionales**

**Hidalgo y Cadenillas (2021) Utilización de aditivos PROES y conaid y su impacto en la mejora del índice CBR en la subrasante de la carretera Pilluana- Paraíso, provincia de picota, departamento de san martín.**

Los resultados indican que el suelo presenta una composición limo-arcillosa, según las clasificaciones SUCS y AASHTO. En cuanto al porcentaje de CBR máximo para el suelo sin alterar, se registró un valor del 3%, considerado inadecuado según las normativas del MTC. En contraste, al modificar el suelo con los aditivos PROES y CONAID, se observaron porcentajes de CBR máximo de 13% y 10%, clasificando la subrasante como buena. Al utilizar los aditivos sólidos PROES y CONAID, se obtuvieron porcentajes de CBR máximo de 70% y 58%, lo que se traduce en subrasante excelente. En conclusión, los aditivos sólidos PROES y CONAID contribuyen a mejorar las propiedades mecánicas del suelo.

**Carranza & Fernández, (2018) Aplicación de aditivo proes y conaid para mejorar el (CBR) de subrasante de la vía en el C.P Barraza Laredo, La Libertad, de la Universidad Privada del Norte.**

Utilizando estabilizadores químicos, que son los más comúnmente

empleados por las empresas dedicadas a la construcción de carreteras en nuestro país, y como aditivos en esta investigación se tomaron al PROES y CONAID, luego de relizar los ensayos correspondientes y empleando las docificaciones en diferentes porcentajes, se pudo establecer que el valor máximo de CBR (capacidad) para el suelo fue del 3%. De acuerdo con las regulaciones del MTC. de Perú, esto clasifica al suelo como una subrasante inapropiada, y mediante local utilizando el aditivo el porcentaje del CBR máximo que se pudo obtener es del 13% y también del 10%, y según el reglamento esto es considerado como una sub rasante buena, luego de ello al adicionar por segunda vez una dosificación se pudo determinar que la resistencia aumenta en un 70% y también en un 58% obteniendo la catalogación de una subrasante excelente.

**Enciso & Flores, (2021) Estabilización de suelo aplicando aditivo proes, en el C.P. Aurora Alta en 2021, de la Universidad César Vallejo.**

Después de llevar a cabo los ensayos en el laboratorio, se llegó a las siguientes conclusiones: se obtuvo una dosificación a partir de las muestras analizadas en el laboratorio, la cual es la siguiente: se utilizó un material granular de 30%, material que contiene arcilla en un 70%, se utilizó el aditivo PROES en 0.3 litros por metro cúbico, en las muestras del suelo de calicata 01, también se utilizó cemento portland en cantidad de 50 kg por metro cúbico en la calicata 02, entonces en el laboratorio se obtuvo como resultados para el índice plasticidad del suelo de 4.91% y 5.10%, entonces con el ensayo de CBR, en la calicata 01 fue de 68% y por ende en la calicata 02 fue de 66%.

### **2.1.3. Antecedentes Locales**

**Tasilla (2023), Influencia de Aceite sulfonado (proes) y cemento, como agentes estabilizantes del afirmado de camino vecinal Emp. CA. 1459, (la colpa) - Agopampa Huacariz, Cajamarca.**

Se empleó una proporción de una bolsa de cemento Portland tipo I por metro cúbico, junto con 0.25, 0.30, 0.35 y 0.40 lt/m<sup>3</sup> de aditivo (PROES), para mejorar el Índice de Resistencia (CBR). Los valores iniciales de CBR sin aditivo fueron: C1: 42.06%, C2: 41.25%, C3: 36.07%, C4: 41.25%. Al añadir 1 bolsa de cemento y 0.40 lt/m<sup>3</sup> de PROES, se alcanzaron los máximos de CBR: C-1: 149.77%, C-2: 145.15%, C-3: 138.65%, C-4: 147.65%. Se evidencia un aumento directamente proporcional entre el CBR y la cantidad de aditivos. La variación en las proporciones genera cambios en el CBR entre el 19.73% y el 36.39%. Como conclusión que los aditivos tienen un impacto positivo, aumentando el CBR en más del 20%.

**Yaun (2023) Influencia del aditivo PROES en el CBR para el mejoramiento de subrasante del tramo chiriaco – mesones muro.**

En este estudio, se realizaron cuatro combinaciones de dosificación utilizando diferentes cantidades del aditivo Proes, junto con 50 kg/m<sup>3</sup> de cemento. Estas proporciones se basaron en los resultados de ensayos preliminares y en las especificaciones técnicas del aditivo Proes. Como conclusión, el aditivo mejora el Índice de Resistencia California (CBR) de la subrasante en todas las dosificaciones examinadas en las muestras estudiadas. Se destacó una eficacia particular en las calicatas C-2 y C-7 con una dosificación de 0.26 lt/m<sup>3</sup>, y en C4 y C-9 con una dosificación de 0.30 lt/m<sup>3</sup>.

## **2.2. Bases Teóricas**

### **2.2.1. Suelos**

El suelo se refiere a la subrasante ubicada directamente debajo de la subbase y la base de la carretera. Su función principal es proporcionar soporte y estabilidad a la carretera, distribuyendo las cargas del tráfico de manera efectiva. La calidad y las propiedades de estos suelos son cruciales para asegurar la durabilidad y el rendimiento de la vía. (Lozano, 2020).

La investigación del suelo es de gran relevancia, tanto para comprender las propiedades del suelo y para lograr un diseño adecuado del pavimento. Si los datos registrados y las muestras llevadas a laboratorio no son representativos, incluso si las pruebas se realizan con alta precisión, los resultados carecerán de significado para los objetivos previstos, (Lozano, 2020).

Según Lozano (2020), para llevar a cabo la exploración de suelos, es esencial realizar un reconocimiento inicial del terreno. A partir de este reconocimiento, se elabora un programa de exploración y estudio de campo que abarca toda la extensión de la ruta y también las áreas de donde se obtendrán materiales para la construcción (conocidas como zonas de préstamo). Este proceso posibilita la identificación de los variados tipos de suelos que podrían encontrarse en la región. Al llevar a cabo el reconocimiento de la carretera, es posible identificar tanto los cortes naturales como los creados por actividades humanas.

Esto ayuda a determinar los estratos primordiales de los suelos en la superficie, a delimitar áreas donde los suelos comparten rasgos semejantes y, además, a señalar las zonas que pueden ser riesgosas o inadecuadas para establecer la ruta de la vía (Palomino, 2016).

#### **2.2.1.1. Descripción de suelos**

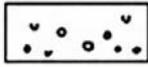
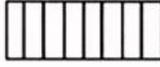
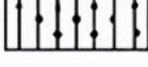
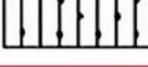
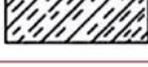
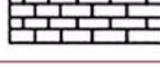
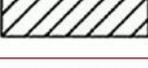
Los suelos identificados se describirán y clasificarán conforme a los métodos específicos utilizados en la construcción de carreteras. Esta clasificación deberá ser realizada obligatoriamente según los criterios establecidos en los procedimientos pertinentes a AASHTO y SUCS, (Aguirre & Prado, 2019)

Las propiedades esenciales a considerar son:

- ✓ Granulometría
- ✓ Plasticidad
- ✓ Equivalente de arena
- ✓ Clasificación de los suelos
- ✓ Compactación
- ✓ Ensayos CBR

**Tabla 1**

Signos convencionales para perfil de calicatas – clasificación AASHTO

Simbología	Clasificación	Simbología	Clasificación
	A-1-a		A-5
	A-1-b		A-6
	A-3		A-7-5
	A-2-4		A-7-6
	A-2-5		Materia orgánica
	A-2-6		Roca sana
	A-2-7		Roca desintegrada
	A-4		

Fuente: Manual de carreteras (MTC, 2015)

**Tabla 2***Categoría de subrasante*

Categorías de subrasante	CBR
S0: Subrasante inadecuada	CBR < 3%
S1: Subrasante insuficiente	De CBR ≥ 3% A CBR < 6%
S2: Subrasante regular	De CBR ≥ 6% A CBR < 10%
S3: Subrasante buena	De CBR ≥ 10% A CBR < 20%
S4: Subrasante muy buena	De CBR ≥ 20% A CBR < 30%
S5: Subrasante excelente	CBR ≥ 30%

Fuente: Manual de carreteras (MTC, 2015)

### **2.2.2. Subrasante**

La subrasante se refiere a la capa de suelo natural nivelada tras la excavación, con el propósito de recibir las capas superiores de suelo mejorado y la solución de pavimento. Para establecer una base adecuada para varios tipos de pavimentos planificados en el proyecto, es crucial que la subrasante carezca de materia orgánica, desechos, basura o materiales inestables. Si estos elementos están presentes, deben ser removidos y sustituidos por material con un índice CBR no menor al 10%. Además, se debe eliminar cualquier vegetación, suelo vegetal y cualquier tipo de suelo que pueda perjudicar la estructura. (Lozano, 2020; Supriya et al., 2022).

#### **2.2.2.1. Caracterización de subrasante**

Con el fin de adquirir información acerca de las características mecánicas y físicas de los materiales en la subrasante, se realizarán excavación de pozos exploratorios (calicatas), alcanzando la profundidad de 1.5 metros. El mínimo número de calicatas por cada kilómetro será establecido de acuerdo al cuadro de referencia presente en la tabla 3. Las calicatas se dispondrán a lo largo de la vía en forma alterna, dentro del área correspondiente al ancho de la calzada, con intervalos aproximadamente uniformes. Posteriormente, si se juzga necesario, se intensificará la investigación en lugares específicos a lo largo del trazado de la carretera, (Lozano, 2020).

**Tabla 3**  
*Número mínimo de calicatas en exploración*

Tipo de carretera	Profundidad (m)	Número mínimo de calicatas	Observación
Autopistas: carreteras de IMDA mayor de 600 veh/día, de calzadas separadas, cada una con dos o más carriles.	1.50 m. respecto al nivel de subrasante del proyecto.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Calzada 2 carriles por sentido: 4 calicatas x km. x sentido</li> <li>• Calzada 3 carriles por sentido: 4 calicatas x km. x sentido</li> <li>• Calzada 4 carriles por sentido: 6 calicatas x km. x sentido</li> </ul>	Las calicatas se ubicarán longitudinalmente y en forma alternada
Carreteras duales o multicarril: carreteras de IMDA entre 6000 y 4001 veh/día, de calzadas separadas, cada una con dos o más carriles.	1.50 m. respecto al nivel de subrasante del proyecto.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Calzada 2 carriles por sentido: 4 calicatas x km. x sentido</li> <li>• Calzada 3 carriles por sentido: 4 calicatas x km. x sentido</li> <li>• Calzada 4 carriles por sentido: 6 calicatas x km. x sentido</li> </ul>	
Carreteras de primera clase: carreteras con un IMDA entre 4000 - 2001 veh/día, de una calzada de dos carriles.	1.50 m. respecto al nivel de subrasante del proyecto.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 4 calicatas x km.</li> </ul>	
Carreteras de segunda clase: carreteras con un IMDA entre 2000 - 401 veh/día, de una calzada de dos carriles.	1.50 m. respecto al nivel de subrasante del proyecto.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 3 calicatas x km.</li> </ul>	
Carreteras de tercera clase: carreteras con un IMDA entre 400 - 201 veh/día, de una calzada de dos carriles.	1.50 m. respecto al nivel de subrasante del proyecto.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2 calicatas x km.</li> </ul>	
Carreteras de bajo volumen de tránsito: carreteras con un IMDA $\leq$ 200 veh/día, de una calzada.	1.50 m. respecto al nivel de subrasante del proyecto.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1 calicata x km.</li> </ul>	

Fuente: Manual de carreteras (MTC, 2015)

Si la longitud del tramo se encuentra entre 500 metros y 1,000 metros, Se llevará a cabo la cantidad específica de calicatas según corresponda a un kilómetro según el cuadro de referencia. Si el tramo es menor a 500 metros, se llevará a cabo la mitad de las calicatas indicadas en dicho cuadro.

### **2.2.3. Red vial**

Se define como red vial a cualquier área, ya sea de propiedad pública o privada, por la cual transitan tanto peatones como vehículos. Esta área está marcada con señales y está sujeta a la autoridad de las instancias nacionales o provinciales encargados de hacer cumplir las regulaciones de tránsito. Mediante esta red de carreteras, se logra agilizar el comercio entre productores y consumidores, vendedores y compradores, además de fomentar la conexión entre diversas comunidades (MTC, Pautas metodológicas para pavimentos, 2018).

Red vial nacional: Incluye las carreteras de importancia a nivel nacional, compuestas por las vías principales que se extienden tanto longitudinal como transversalmente, formando el núcleo fundamental del Sistema Nacional de Carreteras (SINAC). Esta red actúa como receptor esencial para las carreteras que están dentro del ámbito departamental o regional.

Red vial departamental o regional: Carreteras que forman parte de esta red vial en el área administrativa de una región específica. Su principal propósito es establecer la conexión entre las redes viales nacional y local, que engloba toda carretera vecinal y rurales.

Red vial vecinal o rural: Compuesto por carreteras que forman parte de la red vial dentro de una región geográfica específica. Su función principal radica en establecer la conexión entre las ciudades capitales de provincias y de distritos, así como también entre estas últimas.

Además, desempeña el papel de conectar estos puntos con C.P o caseríos, y de enlazar con las redes nacionales y departamentales o regionales (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, Pautas metodológicas para pavimentos, 2015).

#### **2.2.4. Estabilización química de suelos**

La técnica de estabilización química de suelos es un procedimiento de gran experiencia que implica la utilización de productos químicos. Estos productos se mezclan de manera minuciosa y uniforme con el suelo que se busca tratar, siguiendo las instrucciones técnicas específicas del producto en cuestión. La expresión "estabilización de suelos" hace alusión al procedimiento de mejorar las cualidades físicas de un suelo mediante técnicas mecánicas y la inclusión de productos químicos, los cuales pueden provenir tanto de fuentes naturales como sintéticas. En la mayor parte de los casos, estas mejoras se destinan a suelos de subrasante que presentan deficiencias o resultan poco idóneos para su uso inicial. En estas situaciones, se recurre a métodos como la estabilización mediante cemento, cal, asfalto y una variedad de variedad de productos. La estabilización de un suelo natural tiene como objetivo mejorar sus propiedades mecánicas y/o físicas (Ramos y Lozano, 2019). Esto implica aumentar la resistencia al esfuerzo cortante, reducir la deformabilidad, y lograr una mayor estabilidad volumétrica frente a la presencia de agua, entre otros aspectos. Se busca garantizar un comportamiento satisfactorio frente a las tensiones y deformaciones

tanto en los suelos como en las estructuras que se construyan sobre ellos, a lo largo de su vida útil. Las metodologías disponibles son variadas e involucran desde la adición de diferentes tipos de suelo hasta el uso de uno o más estabilizadores. Cualquiera sea el método utilizado para la estabilización, se sigue con un procedimiento de compactado. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, Pautas metodológicas para pavimentos, 2018).

**Tabla 4**  
*Clasificación de aditivos estabilizadores para suelos*

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

Fuente: Manual de carreteras (MTC, 2015)

### 2.2.5. Aditivo PROES

El estabilizador químico PROES, es un estabilizador líquido, compuesto por derivados de aceites sulfonados y sales minerales,

utilizando el término genérico "Aceite Sulfonado". PROES es usado como una innovadora tecnología que opera mediante ionización y reorganiza las partículas del suelo, aportando toda la capacidad estructural necesaria para mejoramiento de subrasantes. Brindando mejor estabilidad y mayor vida útil a una carretera. (PROESTECH, 2022; Ipanaque 2022).

#### **2.2.6. Carreteras en función de demanda vehicular**

Una carretera es una vía de comunicación terrestre diseñada y construida para el tránsito de vehículos motorizados, que facilita el transporte de personas y mercancías entre diferentes localidades. Las carreteras están compuestas por varias capas estructurales, como la subbase, base y capa de rodadura (Yaun, 2023)

Según MTC (2018), indica la siguiente clasificación de carreteras:

**Carretera de primera clase:** Carreteras que presentan un (IMDA) que oscila entre 4,000 y 2,001 veh/día, es una carretera de dos carriles de ancho mínimo 3.60 metros. Es posible que incluya intersecciones viales al mismo nivel, y en áreas urbanas es aconsejable contar con pasarelas peatonales. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, Pautas metodológicas para pavimentos, 2021).

**Carretera de segunda clase:** carreteras que registran un (IMDA) de 2,000 hasta 400 veh/día, es una calzada de dos carriles con ancho mínimo de 3.30 metros. Es factible que presente intersecciones viales

al mismo nivel y, en áreas urbanas, es aconsejable contar con pasarelas para peatones (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, Pautas metodológicas para pavimentos, 2018).

**Carreteras de tercera clase:** Son carreteras cuyo (IMDA) es inferior a 400 veh.día, es una carretera de dos carriles con ancho mínimo de 3.00 metros. En situaciones especiales, estas carreteras podrían incluir carriles con un ancho de hasta 2,50 metros, siempre que se respalde con la justificación técnica adecuada. Estas vías pueden operar con enfoques considerados básicos o económicos, que incluyen la implementación de métodos como la utilización de estabilizadores, emulsiones asfálticas y/o micro pavimentos; o pueden fundamentarse en superficies de afirmado en la capa de rodadura (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, Pautas metodológicas para pavimentos, 2018).

#### **2.2.7. Carreteras no pavimentadas**

El manual considera como vías no pavimentadas a aquellas que poseen una capa superior de revestimiento granular, que abarca incluso la superficie de rodadura, comúnmente conocida como afirmado. La cantidad de polvo producido en una carretera afirmada varía significativamente, dependiendo de la región (si es húmeda o árida), del nivel de tráfico que experimenta y de la calidad del afirmado utilizado. El encargado del diseño debe examinar evaluar el control de polvo, en casos donde el polvo producido por el tráfico tenga efectos perjudiciales para la salud, la agricultura y el deterioro gradual

de los bienes. Este análisis debe abarcar el periodo de tiempo durante el cual la carretera estará en funcionamiento. Para mitigar el polvo, se emplean técnicas como el riego con agua, la aplicación de cloruros o aditivos, y el uso de productos asfálticos como selladores e imprimación reforzada, además, también se pueden emplear sustancias como cal, cemento y otros estabilizadores químicos para este propósito. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, Pautas metodológicas para pavimentos, 2018).

#### **2.2.8. Carreteras pavimentadas**

Dentro del manual, se incluyen como carreteras pavimentadas aquellas que comprenden pavimentos flexibles, semirrígidos y rígidos. Las carreteras o caminos pavimentados con pavimentos flexibles, semirrígidos y rígidos se subdividen en quince (15) categorías, determinadas por el número de repeticiones de (EE) en un carril específico; Para tráficos que excedan los valores mencionados y debido al considerable costo que probablemente conllevará la construcción del pavimento, el ingeniero a cargo llevará a cabo un estudio detallado para el diseño del pavimento. Este estudio incluirá un análisis exhaustivo de las opciones de pavimento disponibles (flexible, semirrígido y rígido), Igualmente, se realiza una evaluación para observar cómo se comportan las diversas estructuras de pavimento durante el período bajo análisis. La selección final se basará en la alternativa que resulte óptima tanto desde una perspectiva técnica como económica (Olazo, 2022).

### **2.2.9. Registros de excavación**

Se tomarán muestras representativas de los diversos estratos identificados en las calicatas. Las muestras deben ser detalladamente descritas y marcadas con una tarjeta que contenga las coordenadas UTM - WGS84 de cada calicata respectiva, junto con un número de identificación y la profundidad de extracción. Posteriormente, se empaquetarán en bolsas de polietileno para su transporte al laboratorio. Además, mientras se realizan las investigaciones en el terreno, Se llevará un registro en el que se registrarán los espesores de cada estrato subterráneo, las características de gradación de los materiales y el nivel de compactación de los mismos. Adicionalmente, se tomarán muestras representativas de los materiales de la subrasante con el propósito de llevar a cabo ensayos de Módulos de Resiliencia ( $M_r$ ) o ensayos de Índice de Soporte California (CBR) (Aguirre & Prado, 2019).

**Tabla 5**  
Número de ensayos a realizarse

Tipo de carretera	Nº M <sub>R</sub> y CBR
Autopistas: carreteras de IMDA mayor de 6000 veh/día, de calzadas separadas, cada una con dos o más carriles.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Calzada 2 carriles por sentido: 1 M<sub>R</sub> cada 3 km. x sentido y 1 CBR cada 1 km. x sentido</li> <li>• Calzada 3 carriles por sentido: 1 M<sub>R</sub> cada 2 km. x sentido y 1 CBR cada 1 km. x sentido</li> <li>• Calzada 4 carriles por sentido: 1 M<sub>R</sub> cada 1 km. y 1 CBR cada 1 km. x sentido</li> </ul>
Carreteras duales o multicarril: carreteras de IMDA entre 6000 y 4001 veh/día, de calzadas separadas, cada una con dos o más carriles.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Calzada 2 carriles por sentido: 1 M<sub>R</sub> cada 3 km. x sentido y 1 CBR cada 1 km. x sentido</li> <li>• Calzada 3 carriles por sentido: 1 M<sub>R</sub> cada 2 km. x sentido y 1 CBR cada 1 km. x sentido</li> <li>• Calzada 4 carriles por sentido: 1 M<sub>R</sub> cada 1 km. y 1 CBR cada 1 km x sentido</li> </ul>
Carreteras de primera clase: carreteras con un IMDA entre 4000 - 2001 veh/día, de una calzada de dos carriles.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1 M<sub>R</sub> cada 3 km. y 1 CBR cada 1 km.</li> </ul>
Carreteras de segunda clase: carreteras con un IMDA entre 2000 - 401 veh/día, de una calzada de dos carriles.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cada 1.5 km. se realizará un CBR</li> <li>• (*)</li> </ul>
Carreteras de tercera clase: carreteras con un IMDA entre 400 - 201 veh/día, de una calzada de dos carriles.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cada 2 km. se realizará un CBR</li> <li>• (*)</li> </ul>
Carreteras con un IMDA ≤ 200 veh/día, de una calzada.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cada 3 km. se realizará un CBR</li> </ul>

Fuente: Manual de carreteras (MTC, 2015)

### 2.2.10. Definición de términos básicos

**Aditivo:** Se trata de productos, ya sean de origen natural o químico, que se incorporan a los suelos con el objetivo de estabilizar.

**Aditivo PROES:** Es un aditivo empleado en suelos, obtenido a partir de extractos de aceites sulfonados derivados del petróleo.

**Arcilla:** Son suelos con partículas de tamaño pequeño, con un diámetro inferior a 0.005mm, que, al mezclarse con agua, tienden a expandirse.

**Subrasante:** La subrasante es el terreno de fundación sobre el cual se coloca la estructura del pavimento.

**Mejoramiento de subrasante:** Se refiere a la aplicación de aditivo químico para modificar las propiedades del suelo natural de la subrasante.

## CAPÍTULO III: MATERIALES Y MÉTODOS

### 3.1. Ubicación geográfica de la zona de estudio

La investigación se desarrolló en la zona norte de la región de Cajamarca, en la provincia de Jaén, como punto inicial en El Tumi con latitud -7.3461229, longitud -82.3140296; y el punto final en Chunchunquillo latitud -5.84972 y longitud -78.9989.

Región: Cajamarca.

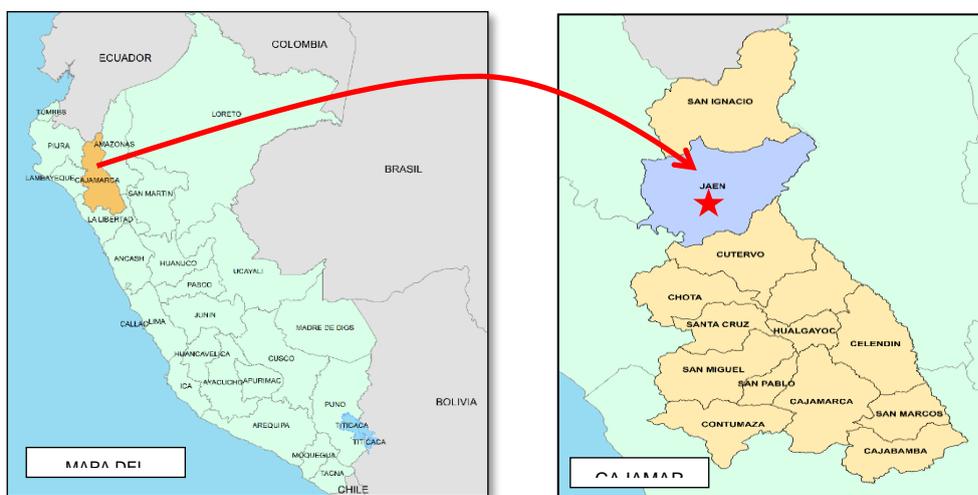
Provincia: Jaén.

Distrito: Jaén.

**Tabla 6**  
*Coordenadas del tramo de estudio*

PUNTOS		LATITUD	LONGITUD	ESTE	NORTE
Punto Inicial	El Tumi	-7.3461229	-82.3140296	-80° 27' 31''	-8° 36' 29''
Punto Final	Chunchunquillo	-5.84972	-78.9989	-82° 33' 20''	-8° 10' 01''

**Figura 1**  
*Localización de la Provincia de Jaén*



Fuente: Google Earth

Fuente: Google Earth

**Figura 2**  
*Ubicación en la ciudad de Jaén*



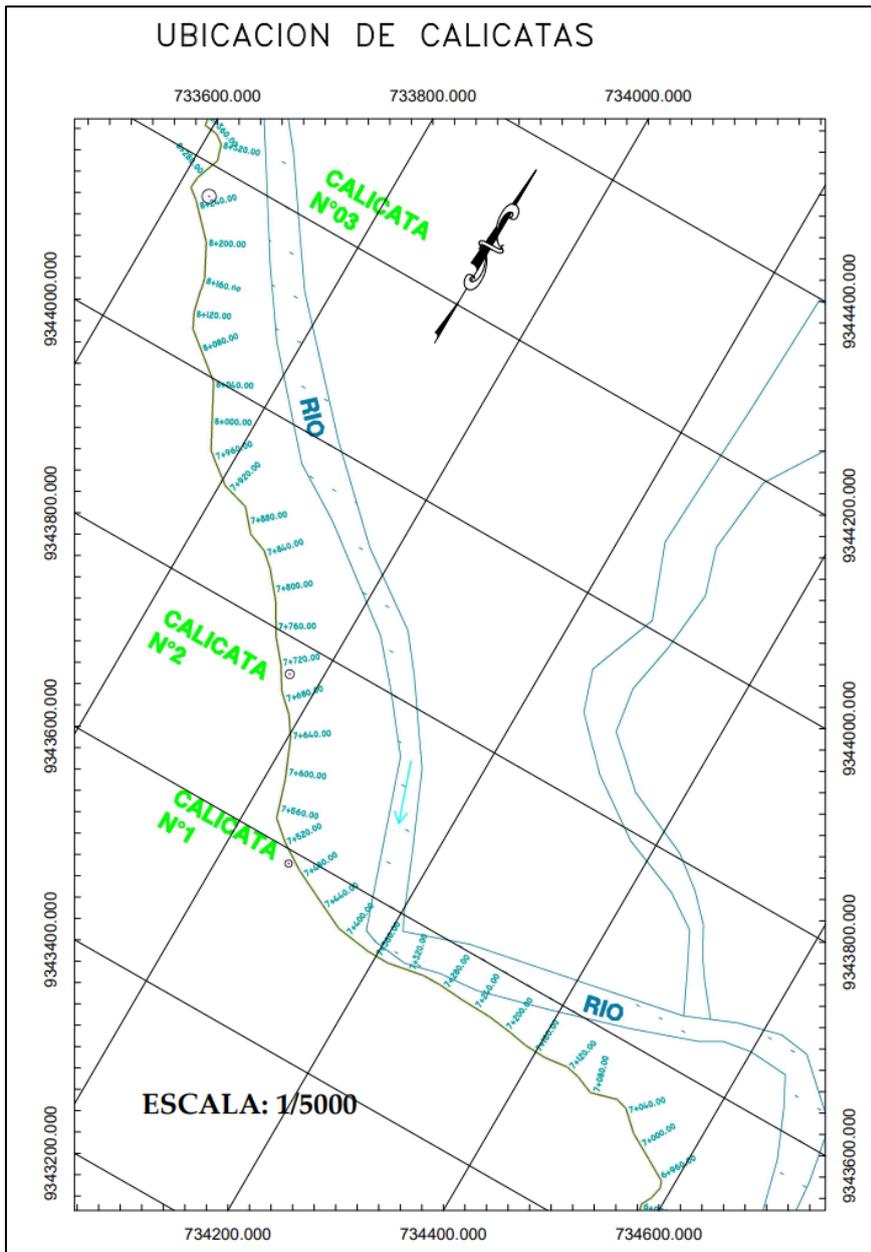
Fuente: Google Earth

**Figura 3**  
*Ubicación del tramo de estudio*



Fuente: Google Earth.

**Figura 4**  
*Ubicación de las calicatas*



**3.2. Tipo, nivel, diseño y método de investigación**

**Tipo:** Aplicada, porque se utilizaron conocimientos estructurados de acuerdo al marco teórico y los manuales para carreteras que fueron aplicados en la investigación.

**Nivel o alcance:** Explicativo, ya que se buscó determinar las propiedades

físico y mecánica de la subrasante en estudio, y con ello detallar cómo se logra mejorar la capacidad portante en la subrasante aplicando el aditivo PROES.

**Enfoque:** Cuantitativo, Se optó por emplear el método científico estructurado que incorpora enfoques numéricos y porcentuales para alcanzar las conclusiones y recomendaciones de la investigación.

**Medición:** Transversal, la recopilación los datos se hizo en un solo periodo de tiempo, el año 2022.

**Diseño:** Cuasi experimental, ya que se manipuló la variable de estudio para obtener el valor o nivel del aditivo PROES para mejorar la subrasante.



**Donde:**

**X** = Variable independiente

**O<sub>1</sub>** = Medición preexperimental de la variable dependiente

**O<sub>2</sub>** = Medición post experimental de la variable dependiente

### 3.3. Población de estudio

La población fue el suelo de la subrasante del tramo El Tumi – Chunchunquillo, Jaén 2022, teniendo una longitud de carretera que abarca la progresiva Km 0+000 al Km 27+000.

### **3.4. Muestra**

Conformada por el suelo de la progresiva Km 07+500 hasta Km 08+500 del tramo El Tumi – Chunchunquillo, Jaén 2022.

### **3.5. Unidad de análisis**

Influencia del aditivo PROES en la subrasante.

### **3.6. Unidad de observación**

Probetas del suelo estabilizado con el aditivo PROES.

Probetas del suelo sin aditivo.

### **3.7. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

**Experimental:** Se adicionaron diferentes dosificaciones del aditivo Proes para evaluar las características físicas y mecánicas del suelo, con el objetivo de determinar su influencia en la capacidad de soporte de la subrasante.

**Instrumentos:** Ficha técnica de datos de ensayos para cada una de las muestras extraídas en el tramo, se utilizó la normativa de la Sociedad Estadounidense para Pruebas y Materiales (ASTMD – 1883, ASTMD – 698 y también ASTMD – 4318).

### **3.8. Materiales**

- ✓ Suelo alterado del tramo en estudio
- ✓ Aditivo PROES.

### **3.9. Equipos**

- ✓ Equipo topográfico.
- ✓ Tamices N° 3/8in, 4, 10, 20, 40, 60, 100, 140, 200.
- ✓ Copa Casagrande.
- ✓ Ranurador metálico.
- ✓ Estufa con control de temperatura.
- ✓ Espátula.
- ✓ Probeta de 1 00 ml.
- ✓ Capsula de porcelana.
- ✓ Placa de vidrio para el Limite Plástico.
- ✓ Equipo para compactación de Proctor modificado.
- ✓ Equipo para CBR.
- ✓ Máquina de CBR (California Bearing Ratio).
- ✓ Balanza con aproximación de 0.01 gr. Capacidad 2,600 gramos.
- ✓ Taras.

### **3.10. Procedimiento**

El proceso empleado en la tesis inició con el levantamiento topográfico, donde se estableció la longitud de la carretera; Después, se procedió a verificar los estratos, de la cual se concluye que era necesario realizar tres calicatas, distribuidas a intervalos cercanos a los 500 metros; tras evaluar los sitios designados para las calicatas, se procedió a llevar a cabo el pozo exploratorio una profundidad promedio de 1.50 metros. Se recolectó las muestras de suelo de las calicatas, luego fueron transportadas al laboratorio y se realizó los ensayos de contenido de humedad (%), análisis

granulométricos, Límites de consistencia para clasificar los suelos. El Proctor modificado y el CBR se realizaron para obtener la capacidad de soporte de la subrasante de antes y después de aplicar el aditivo PROES.

### 3.10.1. Clasificación de la carretera

De acuerdo a la clasificación de carreteras en función de la demanda vehicular, el tramo El Tumi – Chunchunquillo, Jaén 2022, pertenece a una carretera de segunda clase, y de acuerdo a la tabla 2 indica el número mínimo de tres calicatas por Km para este tipo de carretera.

### 3.11. Número de calicatas para exploración

En el tramo El Tumi - Chunchunquillo, se tomó 1 km como muestra, conformada por las progresivas Km 7+500 hasta Km 8+500, en la cual se realizaron 03 calicatas para seguir el proceso correspondiente y definir las propiedades de la subrasante.

**Tabla 7**  
*Calicatas realizadas en la investigación*

<b>CALICATA</b>	<b>PROGRESIVA</b>	<b>PROFUNDIDAD</b>	<b>DIMENSIONES</b>
C - 001	0 + 000	1.50 m	1.20 x 1.20
C - 002	0 + 500	1.50 m	1.20 x 1.20
C - 003	0 + 1000	1.50 m	1.20 x 1.20

### 3.12. Ensayos de suelos

#### 3.12.1. Contenido de humedad(W%)

Referencias: NTP 339 -127

**Procedimiento:**

- ✓ Se pesó la muestra en su estado original, registrando su peso inicial. Luego, la muestra se colocó en el horno a temperatura constante de 105°C, durante 24 horas. Este cambio en peso refleja la cantidad de agua que se evaporó de la muestra. Finalmente, se calcula el contenido de humedad(w%) utilizando la fórmula:

$$\text{Contenido de humedad (\%)} = \left[ \frac{(\text{Peso inicial} - \text{Peso seco})}{\text{Peso suelo seco}} \right] * 100$$

**3.12.2. Análisis granulométrico**

**Referencias:** ASTM D421-52.

**Procedimiento:**

- ✓ Después de secar la muestra al aire libre, se dividió en cuatro partes iguales (cuarteo), una cuarta parte se separó con el propósito de llevar a cabo el ensayo.
- ✓ Una vez que la muestra fue separada, se determinó su peso en estado seco (Ws).
- ✓ Se llevó a cabo el lavado de muestra a través de la malla N° 200 utilizando un chorro de agua, hasta que las partículas retenidas quedaron completamente limpias.
- ✓ La porción de muestra retenida por la malla N° 200 se colocó en un recipiente y luego se introdujo en un horno a una temperatura de 105°C.

- ✓ Pasadas 24 horas desde el proceso de secado, la muestra se retiró del horno y luego se realizó un tamizado mediante agitación.
- ✓ Se determina el peso de cada fracción en una balanza con una sensibilidad de 0.1 %. La suma de los pesos de todas las fracciones y el peso inicial de la muestra no debe diferir en más de 1%.
- ✓ Se determinaron los porcentajes de los pesos retenidos en cada tamiz.
- ✓ Se calcularon los % retenidos acumulados los tamices sumando de manera progresiva los porcentajes retenidos individuales (% RP).
- ✓ Se determinaron los porcentajes que pasan cada tamiz.
- ✓ Se trazó la curva granulométrica en una escala semilogarítmica.

### **3.12.3. Límite líquido**

**Referencias:** NTP 339 -130.

**Procedimiento:**

- ✓ Luego de realizar el cuarteo de la muestra, de una cuarta parte de esta, se seleccionó una cantidad aproximada de 600 gramos en estado seco. Esta porción se sometió a un tamizado a través de la malla N° 40. La fracción que pasó la malla N° 40 fue apartada para llevar a cabo el ensayo.
- ✓ En una cápsula de porcelana, se mezcló el suelo con agua utilizando una espátula, hasta lograr una pasta uniforme.
- ✓ Una parte de la pasta fue dispuesta en la copa de Casagrande y luego nivelada con una espátula para alcanzar un espesor de 1 centímetro.

- ✓ La copa fue elevada y soltada repetidamente a una frecuencia de 2 caídas por segundo utilizando la manivela, hasta que ambas mitades de suelo se unieran con la parte inferior de la ranura en un tramo de 1.27 cm. Durante este proceso, se contabilizó el número de golpes.
- ✓ Se repitió el ensayo dos veces más.
- ✓ Después de obtener los resultados, se procedió a trazar la curva de fluidez (representada por una línea recta) en una escala semilogarítmica.
- ✓ Se determinó el valor correspondiente a los 25 golpes en la curva de fluidez, y este valor se considera como el límite líquido del suelo.

#### **3.12.4. Límite plástico**

**Referencias:** MTC EIII-199.

**Procedimiento:**

- ✓ Se mezcló la porción de la muestra preparada para el límite líquido con el suelo en forma de pasta, con el objetivo de disminuir su contenido de humedad.
- ✓ La muestra fue enrollada manualmente sobre una placa de vidrio hasta lograr la formación de cilindros con un diámetro de 3 mm, que mostraran grietas. A continuación, se determinó su contenido de humedad.
- ✓ El ensayo se llevó a cabo una vez más.
- ✓ El límite plástico se calcula como el promedio de los dos valores de contenido de humedad obtenidos.

### 3.12.5. Compactación Proctor modificado

**Referencias:** MTC EI15-199.

**Procedimiento:**

- ✓ Se acondicionó la muestra en estado seco para llevar a cabo el ensayo.
- ✓ Se tomaron cuatro muestras utilizando una cantidad específica de agua, de manera que el contenido de humedad en cada una de ellas variara en aproximadamente un 1 1/2 % entre una muestra y otra.
- ✓ Cada muestra se compactó en cinco capas en el molde circular, y en cada capa se aplicaron 25 golpes de compactación.
- ✓ Se enrasó cada muestra, se pesó y se determinó la densidad húmeda.
- ✓ Se calculó el contenido de humedad de cada una de la muestra compactada utilizando muestras representativas de la parte superior y de la parte inferior de la muestra.
- ✓ La densidad seca de cada muestra compactada ( $D_s$ ) fue calculada.  
$$D_s = D_h / (1 + W\%/100).$$
- ✓ La curva de compactación se trazó en una escala normal, donde los valores de contenido de humedad se registraron en el eje horizontal (abscisas) y los valores de densidad seca se ubicaron en el eje vertical (ordenadas).
- ✓ Se determinó la densidad máxima seca y se determinó el contenido de humedad óptimo correspondiente.

### 3.12.6. CBR en laboratorio

**Referencias:** ASTM D-1883, AASHTO T-193

**Procedimiento:**

- ✓ El proceso se divide en tres etapas: ensayo de compactación CBR, ensayo de hinchamiento y ensayo de carga y penetración.

**Ensayo de compactación CBR:**

- ✓ Se acondicionó la muestra con el contenido de humedad óptimo previamente establecido mediante ensayo de compactación Proctor modificado.
- ✓ La muestra se compactó en los tres moldes CBR, utilizando en cada uno de ellos cinco capas de compactación. La prueba se efectúa dando 13, 27 y 56 golpes por capa en el molde respectivo.
- ✓ Se calculó el contenido de humedad y la densidad máxima seca de las muestras de cada uno de los moldes.

**Ensayo de hinchamiento:**

- ✓ Las muestras fueron invertidas de manera que la superficie superior quede libre, y luego se ensamblaron nuevamente los moldes en las placas base.
- ✓ Se colocó un papel filtro sobre cada muestra, seguido por la placa de expansión, la sobrecarga, el trípode y el dial de expansión.
- ✓ Los tres moldes equipados se introdujeron en un tanque de agua durante un período de 4 días (96 horas). Durante este tiempo, se registraron las mediciones de expansión cada 24 horas.

### **Ensayo de carga – penetración:**

- ✓ Después de transcurridos los 4 días, se extrajeron los moldes del tanque y se les permitió drenar durante un lapso de 15 minutos.
- ✓ Se aplicó un pisón a una velocidad de 0.05 pulgadas por minuto. Durante el ensayo, se registraron las lecturas tanto de la carga como de la penetración para cada muestra.
- ✓ Se volvió a calcular la densidad seca y el contenido de humedad de las muestras de cada uno de los moldes.
- ✓ Se representaron gráficamente las tres curvas de esfuerzo-deformación asociadas a las muestras de cada molde, utilizando una escala estándar. Los valores de penetración se anotaron en el eje horizontal (abscisas) y los valores de esfuerzo se registraron en el eje vertical (ordenadas).
- ✓ Se calculo los índices CBR para penetraciones de 0.1" y 0.2", los cuales se obtienen al dividir los valores correspondientes de las muestras ensayadas a esas profundidades entre el esfuerzo correspondiente a 0.1" y 0.2" del patrón de referencia.
  - $CBR = \sigma_t / \sigma_p \times 100$
  - $\sigma_t$ : Esfuerzo de la muestra
  - $\sigma_p$ : Esfuerzo patrón
- ✓ Se trazaron las curvas que representan la relación entre densidad seca e índice CBR, correspondientes a penetraciones de 0.1" y 0.2".

## CAPÍTULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

**Tabla 8**

*Clasificación de suelos de las calicatas*

CALICATA	PROFUNDIDAD	CLASIFICACIÓN	A. GRANULOMÉTRICO		LÍMITES DE ATTERBERG			CONTENIDO
		DEL SUELO	PORCENTAJE QUE PASA LA MALLA		LL	LP	IP	DE HUMEDAD
Nº	m.	S.U.C.S.	Nº 4	Nº 200	(%)	(%)	(%)	W (%)
C -1	1.50	MH	90.40	82.1	56	34	22	21.10
C - 2	1.50	CL	89.50	56.70	42	34	9	3.50
C -3	1.50	CL	82.40	52.50	41	26	15	18.50

De las calicatas tomadas como muestra, se encontraron dos tipos de suelo según la clasificación SUCS. El suelo de la calicata C-1 es limoso de alta plasticidad (MH) con un índice de plasticidad (IP) de 22%, lo que indica un suelo altamente deformable y menos estable. En contraste, las calicatas C-2 y C-3 presentan suelos arcillosos de baja a media plasticidad (CL), con índices de plasticidad de 9% y 15% respectivamente, sugiriendo suelos más estables y mejor aptos para servir como subrasante en la construcción de carreteras.

Dichos resultados se relacionan con los de Mayans, (2019) quien explica sobre la clasificación de suelos según el SUCS, quien indica que los suelos son en Perú son mayormente limosos y arcillosos. La presencia de estas partículas finas en los suelos también puede influir en la permeabilidad y la estructura del suelo.

Al respecto, Carranza & Fernández, (2018) presenta resultados similares al mencionar que el contenido de humedad del suelo arcilloso fue de 22,5%, mientras que el de un suelo arenoso fue de 8,5%. Estos valores representan el porcentaje de agua en relación con el peso total del suelo en cada tipo específico.

**Tabla 9**  
*Densidad máxima y humedad óptima de muestras sin aditivo.*

CALICATA	CLASIFICACIÓN SUCS	PROFUNDIDAD	DENSIDAD MAXIMA SECA	HUMEDAD OPTIMA
Nº		m.	(gr/cm <sup>3</sup> )	%
C - 1	MH	1.5	1.54	21.00
C - 2	CL	1.5	1.77	15.10
C - 3	CL	1.5	1.92	11.60

Al comparar estos hallazgos con los de Yaun (2023), quienes lograron en la C-7 una densidad máxima seca de 1.71(g/cm<sup>3</sup>), se observa una diferencia mínima. La disparidad en los valores indica variaciones en la composición y estructura de los suelos estudiados. Los autores

indican que la densidad más alta puede ser atribuida a una mayor proporción de partículas gruesas, como arena o grava, en su suelo.

Es relevante considerar que suelos más finos y húmedos tienden a tener una densidad máxima menor. La obtención de una densidad de 1.92 (g/cm<sup>3</sup>) sugiere la presencia de partículas más finas o un contenido de humedad más elevado en comparación con el suelo estudiado por Enciso & Flores (2021). La comparación entre los resultados obtenidos y la investigación anterior resalta la importancia de considerar la composición específica de los suelos al interpretar los resultados de compactación y sus posibles efectos en las propiedades del suelo.

**Tabla 10**  
*Próctor modificado con aditivo PROES 10ml/m<sup>3</sup>*

CALICATA	PROFUNDIDAD	DENSIDAD MÁXIMA	HUMEDAD ÓPTIMA
Nº	m.	Dh (gr/cm <sup>3</sup> )	%
C - 1	1.5	1.54	20.70
C - 2	1.5	1.78	14.90
C - 3	1.5	1.93	11.10

**Tabla 11***Próctor modificado con aditivo PROES 20 ml/m3*

CALICATA N°	PROFUNDIDAD	DENSIDAD MÁXIMA	HUMEDAD ÓPTIMA
	m.	Dh (gr/cm <sup>3</sup> )	%
C - 1	1.5	1.55	19.90
C - 2	1.5	1.79	14.20
C - 3	1.5	1.95	10.50

**Tabla 12***Próctor modificado con aditivo PROES 30 ml/m3*

CALICATA N°	PROFUNDIDAD	DENSIDAD MÁXIMA	HUMEDAD ÓPTIMA
	m.	Dh (gr/cm <sup>3</sup> )	%
C - 1	1.5	1.57	19.20
C - 2	1.5	1.81	13.50
C - 3	1.5	1.98	09.90

En contraste, los hallazgos de Tasilla (2023), el cual utilizó aceite sulfonado (proes) y cemento para estabilizar el afirmado de un camino vecinal, muestran que alcanzaron densidades máximas de 1.88 y 1.79, respectivamente. Estos resultados sugieren que el aditivo proes tuvo un impacto significativo en la mejora de la densidad máxima, logrando resultados similares a los obtenidos con el aditivo Proes en el presente estudio.

Carranza & Fernández, (2021) usando el aditivo proes obtuvo resultados similares con 1.76 Dh (gr/cm<sup>3</sup>) el cual mejora la resistencia y capacidad de soporte del suelo, el cual también concuerda con los resultados obtenidos.

**Tabla 13**  
*Diseño patrón del CBR*

CALICATA	ESTRATO	CBR 95%	CBR 100%
C-1	E-01	4.00%	4.40%
C-2	E-01	3.60%	4.80%
C-3	E-01	3.80%	6.10%

El diseño patrón del CBR indica que la capacidad portante de terreno natural varía entre 4.40% y 6.10%, clasificado según la Tabla 04 (Ministerio de Transportes y Comunicaciones Manual de carreteras) como una S1: subrasante insuficiente. Al calificar al suelo como insuficiente para una subrasante, después se dosifica el aditivo PROES en diferentes cantidades para mejorar el CBR.

**Tabla 14**  
*CBR con aditivo PROES en 10 ml/m3*

CALICATA	ESTRATO	CBR 95%	CBR 100%
C-1	E-01	5.30%	5.80%
C-2	E-01	4.90%	6.40%
C-3	E-01	6.60%	7.80%

**Tabla 15**  
*CBR con aditivo PROES en 20 ml/m3*

CALICATA	ESTRATO	CBR 95%	CBR 100%
C-1	E-01	7.80%	8.80%
C-2	E-01	7.10%	9.00%
C-3	E-01	8.50%	9.80%

**Tabla 16**  
*CBR con aditivo PROES en 30 ml/m3*

<b>CALICATA</b>			
	<b>ESTRATO</b>	<b>CBR 95%</b>	<b>CBR 100%</b>
C-1	E-01	10.00%	11.00%
C-2	E-01	09.60%	11.40%
C-3	E-01	10.60%	11.80%

Resultados similares encontraron Hidalgo y Cadenillas (2021) quienes obtuvieron un CBR de 13% y 10% al incorporar Aditivo proes y conaid, respectivamente. Estos resultados indican que, al igual que la presente investigación están dentro de la categoría de subrasante buena, aspecto crucial para la construcción de subrantes, sub-bases y bases.

En relación con Yaun (2023), al usar aditivo proes en suelos arcillosos de baja plasticidad alcanzó un CBR de 12% mejorando significativamente la resistencia y capacidad de soporte del suelo, siendo adecuados para aplicaciones en carreteras. Según lo descrito por Carranza & Fernandez (2018), destaca la mejora en la estabilización de suelo limoso de alta plasticidad, obteniendo una mejora en el CBR de 10% y 13%. Estos resultados concuerdan y dan veracidad a la investigación.

**Tabla 17***Comparación CBR patrón con CBR que contiene aditivo PROES*

CALICATA	CLASIFICACIÓN SUCS	CBR PATRÓN 100%	CBR 10 ML AL 100%	% INCREMENTO	CBR 20		CBR 30	
					ML AL 100%	% INCREMENTO	ML AL 100%	% INCREMENTO
C-1	MH	4,40%	5,80%	31,8	8,80%	100,00	11,00%	150,00
C-2	CL	4,80%	6,40%	33,3	9,00%	87,50	11,40%	137,50
C-3	CL	6,10%	7,80%	27,9	9,80%	60,66	11,80%	93,44

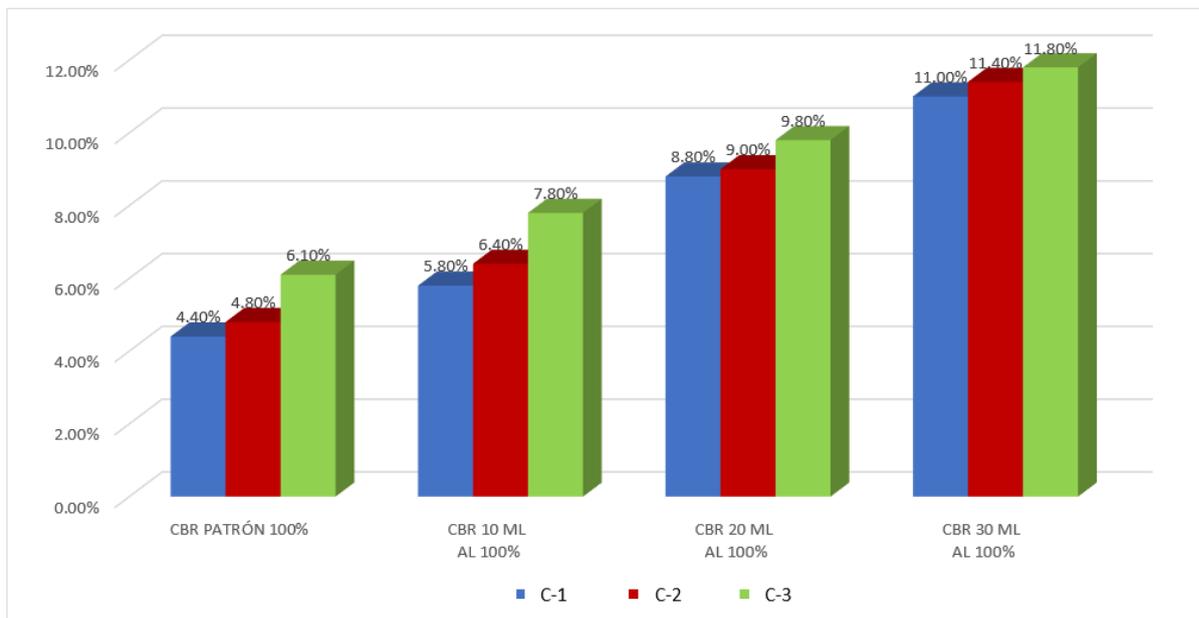
En relación con Carranza & Fernández (2018), quienes utilizaron aditivos PROES y CONAID, sus resultados indicaron un CBR del suelo natural de 3%, mientras que con los aditivos alcanzaron máximos del 10% y 13%, representando incrementos del 233% y 333%, respectivamente. Esta comparación resalta que, aunque ambos estudios muestran mejoras sustanciales en el CBR mediante la adición de aditivos, los porcentajes de aumento varían, lo cual podría deberse a diferencias en la composición del suelo y en las propiedades específicas de los aditivos utilizados. Al respecto, tanto los resultados de los autores mencionados y los de la presente investigación, respaldan la eficacia de la aplicación de aditivos para mejorar la capacidad portante del suelo, siendo relevante considerar las condiciones específicas y los aditivos utilizados al interpretar y comparar estos resultados. La variabilidad en los incrementos de CBR sugiere la importancia de ajustar los enfoques según las características específicas del suelo y los objetivos de mejora mecánica en cada proyecto.

#### 4.1. Contrastación de hipótesis

En la contrastación de hipótesis se obtuvo que el aditivo PROES incrementa el valor de la densidad seca, índice CBR y disminuye el índice de plasticidad y contenido óptimo de la subrasante del tramo de estudio.

**Figura 5**

*Comparación CBR patrón con CBR que contiene aditivo PROES*



En el gráfico se puede observar los resultados del CBR al aplicar dosificaciones de 10 ml/m<sup>3</sup>, 20 ml/m<sup>3</sup> y 30 ml/m<sup>3</sup> de aditivo PROES, el cual indica un aumento directamente proporcional. Por lo tanto, se CONFIRMA la hipótesis planteada ya que se evidencia el aumento del porcentaje del índice de CBR.

## **CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **5.1. Conclusiones**

- El aditivo PROES tiene influencia en el CBR del tramo de estudio, se obtuvo un incremento de 4.40% a 11% en el suelo de la C-1, de 4.80% a 11.40% en el suelo de la C-2 y de 6.10% a 11.80% en el suelo de la C-3 con respecto a la capacidad portante del terreno natural.
- El suelo de las calicatas sin utilizar el aditivo PROES es inestable, lo cual indica que sus parámetros son insuficientes para una subrasante buena.
- Se adicionó al suelo 30ml/m<sup>3</sup> de aditivo PROES, aumentando la densidad máxima seca de 1.92 (gr/cm<sup>3</sup>) a 1.98 (gr/cm<sup>3</sup>) para obtener una mejor compactación de la subrasante.
- El índice de CBR obtenido al agregar 30 ml/m<sup>3</sup> de aditivo es 11.00%, siendo una categoría de subrasante buena.

### **5.2. Recomendaciones**

- Se recomienda realizar investigaciones con dosificaciones más altas.
- Para investigaciones futuras con respecto al aditivo PROES, se recomienda realizar el estudio en suelos de diferentes características al estudiado.
- Se sugiere realizar investigaciones entre el aditivo Proes y Terrazyme, con el objetivo de evaluar los resultados y determinar cuál sería la opción más adecuada para su uso en este tipo de suelos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Carranza O., A. L., & Fernández L., D. C. (2018). *Aplicación del aditivo PROES y conaid para mejorar la capacidad de soporte (CBR) de la sub rasante en la vía de acceso al C.P Barraza Laredo, La Libertad 2018*. Universidad Privada del Norte. <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/14968>
- Ciudadesverdes. (2022). *Preparación de la subrasante*. <https://ciudadesverdes.com/estandares-tecnicos/estandares-pavimentos-exteriores/preparacion-de-la-subrasante/>
- Cubas, G., & Fuentes, C. (2019). *Diseño de un suelo mejorado adicionando caucho de neumático reciclado, para estabilizar la subrasante en la carretera SM 711 - Sector Andiviela - Morales, 2019* [Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo]. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/59942>
- Díaz, C., & Paez, R. (2019). *Influencia de la adición de aceite sulfonado en la respuesta dinámica a pequeñas deformaciones de un material granular arcilloso* [Tesis de maestría, Universidad Santo Tomás]. <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/19580>
- Enciso H., H., & Flores, D. J. (2021). *Estabilización de suelos con aditivo PROES, caso: Centro Poblado Aurora Alta, 2021*. Universidad César Vallejo. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/78671?locale-attribute=es>
- Hidalgo, A., & Cadenillas, L. (2021). *Aplicación de los aditivos PROES y conaid y su relación con la mejora del CBR en la subrasante de la carretera Pilluana - Paraíso, provincia de Picota, departamento de San Martín* [Tesis de pregrado, Universidad Científica del Perú]. <http://repositorio.ucp.edu.pe/handle/UCP/1642>
- INDECI (2020). *Estadísticas de gestión reactiva de la gestión del riesgo de desastres – año 2019*. Lima-Perú. <https://portal.indeci.gob.pe/wp-content/uploads/2021/02/CAPITULO-II-Estad%C3%ADsticas-GR-2019.pdf>

- Ipanaque C., E. D. (2022). *Influencia del aditivo aceite sulfonado (PROES) para estabilización de subrasante en los accesos del puente Santa Rosa, ubicado en el distrito y provincia de Huanta, Huancavelica Perú 2021*. Universidad Nacional de Piura. <https://repositorio.unp.edu.pe/items/9a03a197-3018-47c0-b5a5-2a77fd97cd>
- Mayans, C. (2019). *Estabilización de arcillas con aceites sulfonados. Análisis de factibilidad en la aplicación de un producto* [Tesis de pregrado, Universidad Piloto de Colombia]. <http://repository.unipiloto.edu.co/handle/20.500.12277/5334>
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2018). *Pautas metodológicas para pavimentos*. MTC. [https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/259003/232247\\_Pautas\\_Pavimentos.pdf20181218-16260-a98bmq.pdf](https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/259003/232247_Pautas_Pavimentos.pdf20181218-16260-a98bmq.pdf)
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2021). *Evaluación de proyectos de inversión pública en pavimentos*. MTC. [http://gis.proviasnac.gob.pe/expedientes/2019/CP\\_0030-2019/1.%20PREINVER/ECONOMIA%20DE%20TRANSPORTES.pdf](http://gis.proviasnac.gob.pe/expedientes/2019/CP_0030-2019/1.%20PREINVER/ECONOMIA%20DE%20TRANSPORTES.pdf)
- Ministerio de Transportes Y Comunicaciones. (2015). *Pautas metodológicas para desarrollar pavimentos*. MTC. [https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas\\_carreteras/MTC%20NORMAS/ARCH\\_PDF/MAN\\_7%20SGGP-2014.pdf](https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/MTC%20NORMAS/ARCH_PDF/MAN_7%20SGGP-2014.pdf)
- Olazo C., H. (2022). *Condiciones Actuales de los pavimentos*. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/106847>
- OSITRAN. (2021). *Resiliencia de las carreteras concesionadas frente a riesgos de desastres naturales en el Perú*. <https://www.ositran.gob.pe/anterior/wp-content/uploads/2021/11/resiliencia-carreteras-concesionadas-frente-riesgo-desastres-naturales.pdf>
- Palomino S., Y. E. (2016). *Influencia de la adición de cloruro de sodio en el índice california bearing CBR de un suelo arcilloso, Cajamarca 2016*.

Universidad Privada del Norte.  
<https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/9989>

PROESTECH. (2022). *Usos del aditivo en latinoamérica*.  
[https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/94262/Ocas\\_FJW-Saavedra\\_RMD-SD.pdf](https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/94262/Ocas_FJW-Saavedra_RMD-SD.pdf)

Ramos V., J. D., & Lozano G., J. P. (2019). *Estabilización de suelos mediante aditivos alternativos*. Universidad Católica de Colombia.  
<https://repository.ucatolica.edu.co/entities/publication/cdc18f48-2ed2-47c5-89c8-76f38db38201>

Supriya, M., Ransinchung, R., Aditya, S., & Prathmesh, K. (2022). Investigation on use of silica based additive for sustainable subgrade construction. *Case Studies in Construction Materials*, 17(2), 29–45.  
<https://doi.org/10.1016/J.CSCM.2022.E01229>

Tasilla, M. (2023). Influencia de cemento y aceite sulfonado, como agentes estabilizadores de afirmado en el camino vecinal Emp. CA. 1459 (la colpa)- Agopampa Huacariz, Huacariz- Agocucho [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Cajamarca]. In *Universidad Nacional de Cajamarca*. <http://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/5998>

Vishnu, T. B., & Singh, Kh. L. (2020). A study on the suitability of solid waste materials in pavement construction: A review. *International Journal of Pavement Research and Technology* 2020 14:5, 14(5), 625–637.  
<https://doi.org/10.1007/S42947-020-0273-Z>

Yaun, D. (2023). *Influencia del Aditivo Proes en la Capacidad de Soporte para el Mejoramiento de Subrasante del Tramo Chiriaco-Mesones Muro, Provincia de Bagua, Distrito de Imaza* [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional de Cajamarca].  
<https://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/5736>

## ANEXOS

### ANEXO 01: Panel fotográfico del tramo de estudio.

#### Figura 6

*Inicio del segmento de análisis en el tramo Tumi – Chunchunquillo en la progresiva 00+000.*



#### Figura 7

*Ubicación de C-1 para la extracción de la muestra, así como el material de préstamo para mejoramiento de subrasante.*



**Figura 8**  
*Ubicación de C-2 para la extracción de la muestra*



**Figura 9**  
*La ubicación seleccionada para la obtención de la muestra C-3*



**Figura 10**

*Recolección de información sobre la ubicación y las coordenadas en la zona de análisis*



**Figura 11**

*Determinación de las progresivas en el segmento de investigación*



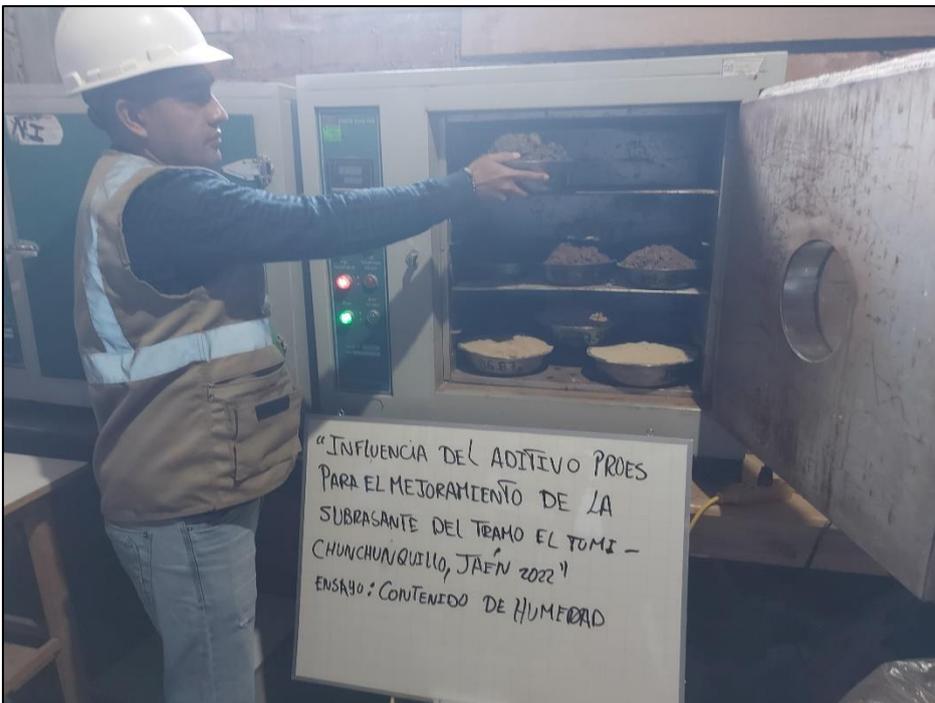
**Figura 12**

*Forma gráfica una sección particular de la carretera o vía que corresponde a la localización de la estación 01+00.*

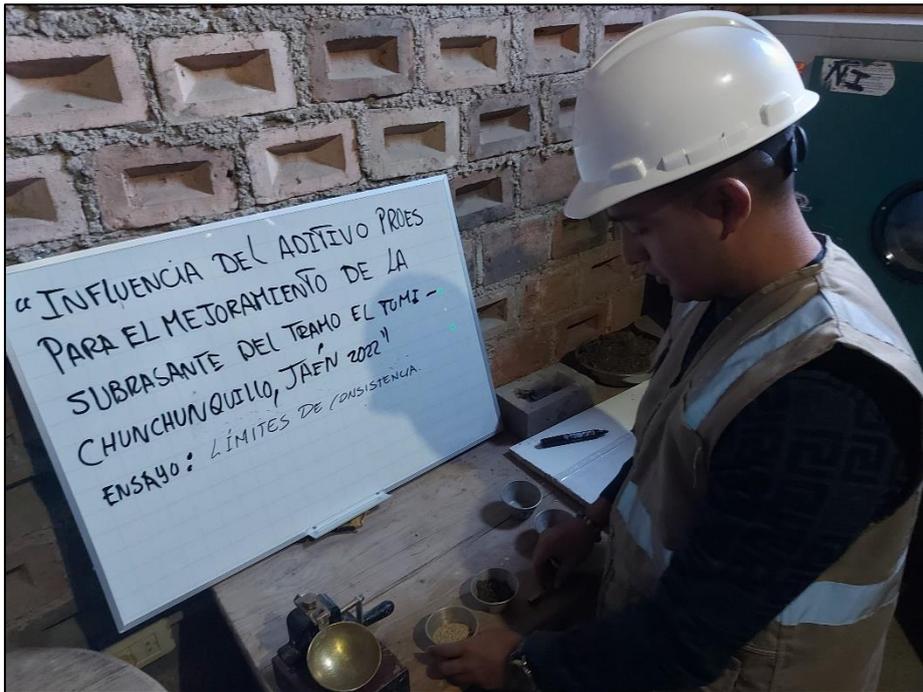


**Figura 13**

*Ensayo de Contenido de Humedad.*



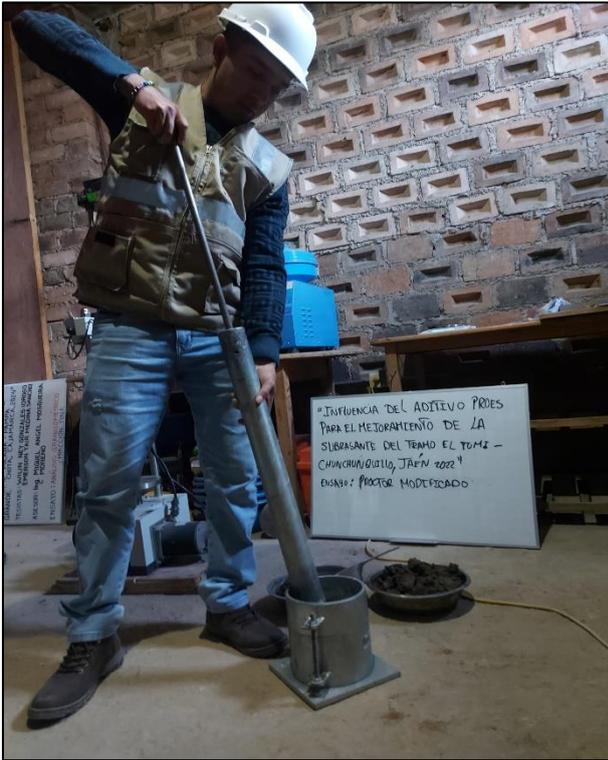
**Figura 14**  
*Ensayo de Límites de Consistencia.*



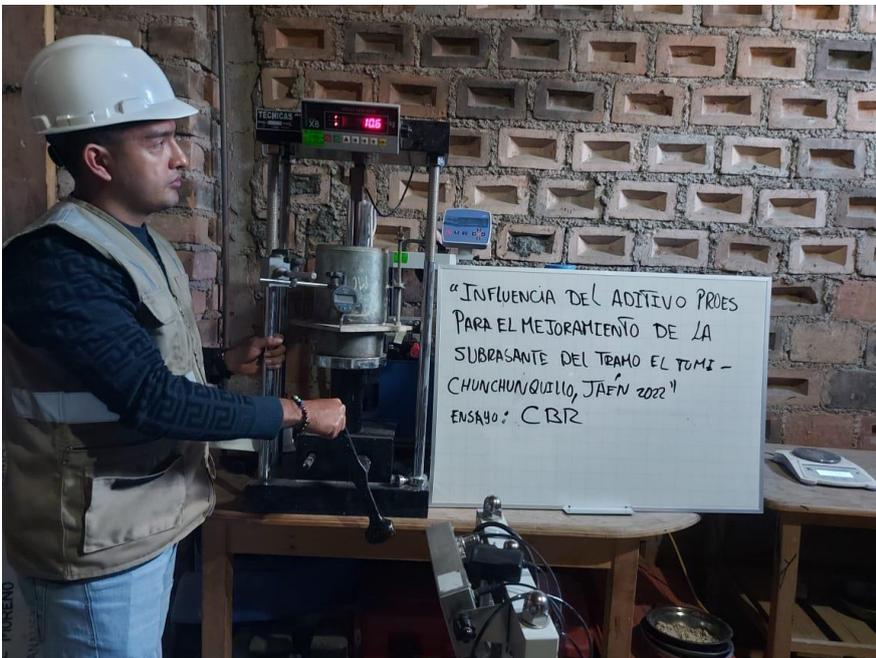
**Figura 15**  
*Ensayo de Granolimetría.*



**Figura 16**  
*Ensayo de proctor modificado*



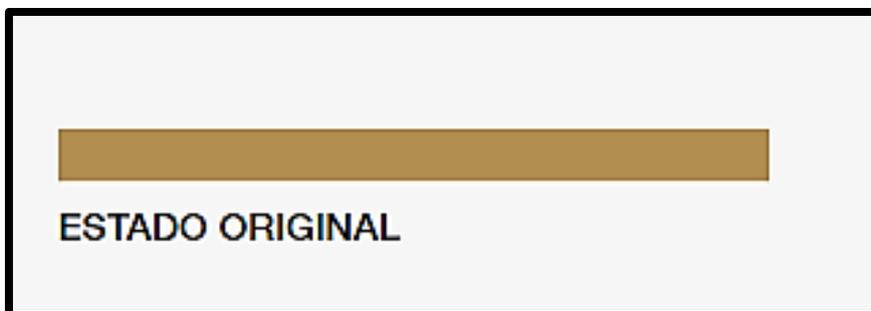
**Figura 17**  
*Ensayo de CBR.*



## ANEXO 02: Secuencia de construcción de carretera

**Figura 18**

*Estado original o natural*



Fuente: Guía de carreteras, 2020.

El estado original de una carretera se refiere a su estado previo a cualquier proceso constructivo, mejora o mantenimiento. Esta descripción puede variar según la ubicación y las condiciones específicas.

**Figura 19**

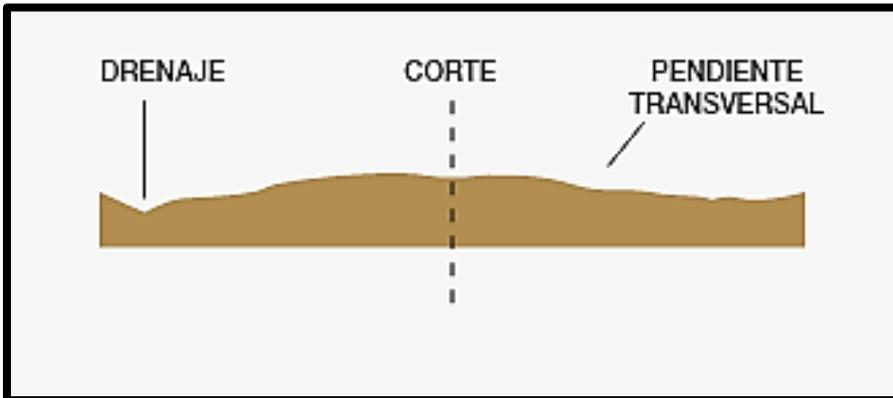
*Perfilado o limpieza inicial*



Fuente: Guía de carreteras, 2020.

El perfilado y la limpieza inicial son dos pasos esenciales en la construcción y preparación de una carretera. Estos pasos se llevan a cabo después de haber obtenido los permisos necesarios y haber realizado estudios detallados.

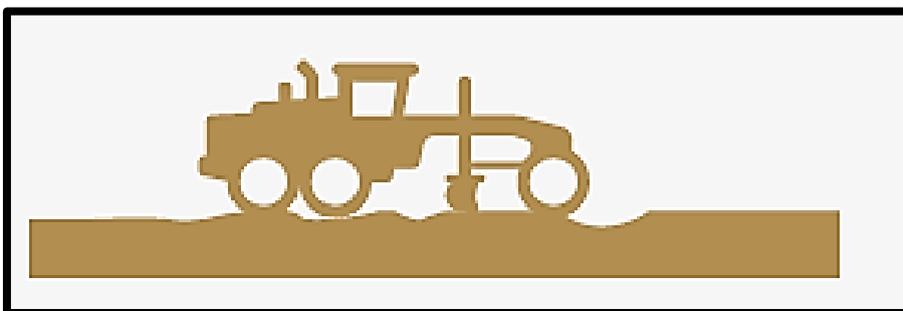
**Figura 20**  
*Drenaje y corte*



Fuente: Guía de carreteras, 2020.

El drenaje y el corte son dos aspectos importantes en el inicio de construcción de una carretera; por una parte, el drenaje es implementado para el escurrimiento de las aguas de modo que no afecte a la carretera, y el corte es el procedimiento utilizado para perfilar la superficie elevada ya sea sumando o restando material.

**Figura 21**  
*Proceso de escarificado*



Fuente: Guía de carreteras, 2020.

El escarificado es el proceso utilizado para disgregar el suelo de la carretera, preparándola para recibir nuevos materiales, y proseguir con el compactado respectivo. Proceso que implica la remoción de una capa superficial dañada o desgastada de la carretera con un mínimo de (15 cm) y no mayor a (30 cm).

### **Figura 22**

*Adición de suelo de ser necesario*



Fuente: Guía de carreteras, 2020.

El aporte de suelo en una carretera se refiere al proceso de agregar material de suelo o cantera, generalmente de alta calidad y bien compactado, en áreas específicas para mejorar la base de la carretera antes de pavimentarla. Este proceso es importante para reemplazar el suelo extraído durante la escarificación que normalmente suele ser suelos no aptos para una subrasante.

### **Figura 23**

*Aplicación del estabilizador de suelos*



Fuente: Guía de carreteras, 2020.

La aplicación de estabilizador en una carretera se refiere al proceso de agregar un material estabilizador, como estabilizadores químicos, cemento, cal, cenizas volantes u otros aditivos, al suelo existente con el objetivo de mejorar sus propiedades y proporcionar una base más resistente y duradera para la capa de pavimento. Este proceso es especialmente útil en áreas donde el suelo natural no cumple con los requisitos de resistencia y capacidad portante necesarios para una carretera de calidad.

**Figura 24**  
*Mezclado y homogenizado*



Fuente: Guía de carreteras, 2020.

El mezclado y homogeneización dentro del ámbito de la construcción vial se refiere al proceso de combinar diferentes materiales, como suelos, aditivos, estabilizadores y agregados, de manera uniforme para crear una mezcla cohesiva y consistente. Estos procesos son esenciales para lograr una base sólida y uniforme antes de aplicar la capa de pavimento.

**Figura 25**  
*Compactación del material*



Fuente: Guía de carreteras, 2020.

La compactación es un proceso crucial en la construcción de carreteras que implica la aplicación de fuerza mecánica sobre los materiales del suelo para aumentar su densidad y reducir su volumen. La compactación se realiza para mejorar su capacidad de soporte del suelo, prevenir asentamientos, aumentar el aguante y mejorar la estabilidad de la carretera.

**Figura 26**  
*Perfilado y sellado final*



Fuente: Guía de carreteras, 2020.

El perfilado y sellado final son dos pasos importantes en la construcción de una carretera que se realizan después de completar la mayoría de las etapas de construcción y antes de abrir la carretera al tráfico. Estos procesos buscan dar los toques finales y garantizar que la carretera esté en condiciones óptimas para su uso.