

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**“Mejoramiento del Índice CBR de la Trocha Carrozable
Huacaschuque-Puchuvalle con Adición de Material Local en Pallasca-
Ancash-2023.”**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO CIVIL**

AUTORES:

Bach. Paredes Manrique, Nila María

Bach. Silva Iparraguirre, Elvis Ivan

ASESOR:

Ms. Rivasplata Díaz, Julio César

DNI: 32770844

Código ORCID: 0000-0002-4180-9362

Nuevo Chimbote – Perú

2026

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



UNS
UNIVERSIDAD
NACIONAL DEL SANTA

HOJA DE CONFORMIDAD DEL ASESOR

Yo Julio César Rivasplata Díaz, por intermedio de la presente en mi condición de asesor, doy conformidad a la tesis titulada: **“Mejoramiento del índice CBR de la trocha carrozable Huacaschuque-Puchuvalle con adición de material local en Pallasca-Ancash-2023”**, de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, habiéndose ejecutado según el reglamento general para obtener el título profesional de Ingeniero Civil mediante la modalidad de tesis de Investigación.

Ms. Rivasplata Díaz, Julio César

DNI: 32770844

CÓDIGO ORCID: 0000-0002-4180-9362

ASESOR

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



UNS
UNIVERSIDAD
NACIONAL DEL SANTA

HOJA DE CONFORMIDAD DEL JURADO EVALUADOR

Terminada la sustentación de la tesis titulada: **“Mejoramiento del índice CBR de la trocha carrozable Huacaschuque-Puchuvalle con adición de material local en Pallasca-Ancash-2023”**, sustentada el 16 de julio de 2026. Tiene la aprobación del jurado evaluador, firmando en señal de conformidad.

Ms. Villavicencio González, Felipe Eleuterio

DNI: 26673663

CÓDIGO ORCID: 0000-0002-3500-2378

PRESIDENTE

Dra. Fernandez Mantilla, Jenisse del Rocío

DNI: 33264434

CÓDIGO ORCID: 0000-0003-3336-4786

SECRETARIA

Ms. Rivasplata Díaz, Julio César

DNI: 32770844

CÓDIGO ORCID: 0000-0002-4180-9362

INTEGRANTE

ACTA DE SUSTENTACIÓN INFORME FINAL DE TESIS

A los 16 días del mes de julio del año dos mil veintiséis, siendo las 11:30 horas, en el Laboratorio de Topografía del edificio de Ingeniería Civil, se instaló el Jurado Evaluador designado mediante T. Resolución N° 230-2026-UNS-CFI, con fecha 18.06.2026, integrado por los siguientes docentes: **Ms. Felipe Eleuterio Villavicencio Gonzalez** (Presidente), **Dra. Jenisse del Rocío Fernández Mantilla** (Secretario), **Ms. Julio César Rivasplata Díaz** (Integrante), **Dr. Atilio Rubén López Carranza** (Accesitario) en base a la Resolución Decanal N° 348-2026-UNS-FI se da inicio la sustentación de la Tesis titulada: "MEJORAMIENTO DEL ÍNDICE CBR EN LA TROCHA CARROZABLE HUACASCHUPE-PUCHUVALLE CON ADICIÓN DE MATERIAL LOCAL DE HUACASCHUPE-PALLASCA-ANCASH-2023", presentado por los Bachilleres **PAREDES MANRIQUE NILA MARIA** con cód. N° 0201913023 y **SILVA IPARRAGUIRRE ELVIS IVAN** con cód. N° 0201913029, quienes fueron asesorados por el docente **Ms. Julio César Rivasplata Díaz**, según lo establece la T. Resolución Decanal N° 476-2023-UNS-FI, de fecha 11.07.2023.

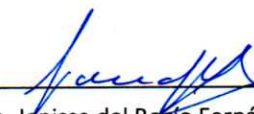
El Jurado Evaluador, después de deliberar sobre aspectos relacionados con el trabajo, contenido y sustentación del mismo, y con las sugerencias pertinentes en concordancia con el Reglamento General para Obtener el Grado Académico de Bachiller y el Título Profesional en la Universidad Nacional del Santa, declaran:

BACHILLER	PROMEDIO VIGESIMAL	PONDERACIÓN
PAREDES MANRIQUE NILA MARIA	18,0	BUENO

Siendo las 12:30 horas del mismo día, se dio por terminado el acto de sustentación, firmando la presente acta en señal de conformidad.

Nuevo Chimbote, 16 de julio de 2026.


Ms. Felipe Eleuterio Villavicencio Gonzalez
Presidente


Dra. Jenisse del Rocío Fernández Mantilla
Secretario


Ms. Julio César Rivasplata Díaz
Integrante



UNS
UNIVERSIDAD
NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Profesional de Ingeniería Civil

- EPIC -

ACTA DE SUSTENTACIÓN INFORME FINAL DE TESIS

A los 16 días del mes de julio del año dos mil veintiséis, siendo las 11:30 horas, en el Laboratorio de Topografía del edificio de Ingeniería Civil, se instaló el Jurado Evaluador designado mediante T. Resolución N° 230-2026-UNS-CFI, con fecha 18.06.2026, integrado por los siguientes docentes: Ms. Felipe Eleuterio Villavicencio Gonzalez (Presidente), Dra. Jenisse del Rocío Fernández Mantilla (Secretario), Ms. Julio César Rivasplata Díaz (Integrante), **Dr. Atilio Rubén López Carranza** (Accesitario) en base a la Resolución Decanal N° 348-2026-UNS-FI se da inicio la sustentación de la Tesis titulada: "MEJORAMIENTO DEL ÍNDICE CBR EN LA TROCHA CARROZABLE HUACASCHUPE-PUCHUVALLE CON ADICIÓN DE MATERIAL LOCAL DE HUACASCHUPE-PALLASCA-ANCASH-2023", presentado por los Bachilleres PAREDES MANRIQUE NILA MARÍA con cód. N° 0201913023 y SILVA IPARRAGUIRRE ELVIS IVAN con cód. N° 0201913029, quienes fueron asesorados por el docente Ms. Julio César Rivasplata Díaz, según lo establece la T. Resolución Decanal N° 476-2023-UNS-FI, de fecha 11.07.2023.

El Jurado Evaluador, después de deliberar sobre aspectos relacionados con el trabajo, contenido y sustentación del mismo, y con las sugerencias pertinentes en concordancia con el Reglamento General para Obtener el Grado Académico de Bachiller y el Título Profesional en la Universidad Nacional del Santa, declaran:

BACHILLER	PROMEDIO VIGESIMAL	PONDERACIÓN
SILVA IPARRAGUIRRE ELVIN IVAN	18,0	BUENO

Siendo las 12:30 horas del mismo día, se dio por terminado el acto de sustentación, firmando la presente acta en señal de conformidad.

Nuevo Chimbote, 16 de julio de 2026.


Ms. Felipe Eleuterio Villavicencio Gonzalez
Presidente


Dra. Jenisse del Rocío Fernández Mantilla
Secretario


Ms. Julio César Rivasplata Díaz
Integrante



Digital Receipt

This receipt acknowledges that Turnitin received your paper. Below you will find the receipt information regarding your submission.

The first page of your submissions is displayed below.

Submission author:	Elvis Ivan Silva Iparraguirre
Assignment title:	Tesis Paredes y Silva
Submission title:	TESIS FINAL-PAREDES-SILVA.pdf
File name:	TESIS_FINAL-PAREDES-SILVA.pdf
File size:	8M
Page count:	216
Word count:	28,178
Character count:	149,374
Submission date:	13-May-2026 04:27PM (UTC-0500)
Submission ID:	2960559084

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

 **UNS**
UNIVERSIDAD
NACIONAL DEL SANTA

"Mejoramiento del Índice CBR de la Trocha Carrozable
Huacachuque-Puchuvalle con Adición de Material Local en Pallasca-
Ancash-2023."

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO CIVIL

AUTORES:

Bach. Paredes Manrique Nila María
Bach. Silva Iparraguirre Elvis Ivan

ASESOR:

Ms. Julio César Rivasplata Díaz
DNI: 32770844
Código ORCID: 0000-0002-4180-9362

Nuevo Chimbote – Perú
2023

ORIGINALITY REPORT

15%

SIMILARITY INDEX

18%

INTERNET SOURCES

8%

PUBLICATIONS

9%

STUDENT PAPERS

PRIMARY SOURCES

1	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Student Paper	6%
2	hdl.handle.net Internet Source	3%
3	repositorio.uns.edu.pe Internet Source	3%
4	repositorio.uandina.edu.pe Internet Source	1%
5	Submitted to Universidad Andina del Cusco Student Paper	1%
6	repositorio.ucv.edu.pe Internet Source	<1%
7	repositorio.ucp.edu.pe Internet Source	<1%
8	VIRHUEZ VELA JERZY RICARDO. "Informe de Gestión Ambiental del Proyecto Creación de Muro de Protección Frente a Inundaciones de Canal de Riego en las Laderas del Río Cumbaza, Sector Bocatoma, del Distrito de	<1%

DEDICATORIA

A Dios, fuente infinita de amor y sabiduría, por iluminar cada uno de mis pasos, sostenerme en los momentos de duda y brindarme la fortaleza necesaria para no rendirme.

*A mis padres, **Santos Paredes V. y Flora Manrique**, quienes son el motor de mi vida; por su amor incondicional, por cada sacrificio silencioso y por enseñarme que con esfuerzo, perseverancia y valores, todo es alcanzable.*

*A mis hermanos, **Aries, Andy y Yelina**, por su compañía sincera; sus palabras de aliento han sido parte esencial de este camino.*

*A mi adorada **Cesaria Manrique**, quien vive en cada recuerdo y enseñanza que dejó en mi corazón. Su amor sigue siendo mi inspiración y su presencia, mi fortaleza desde el cielo.*

Nila Paredes M.

DEDICATORIA

*A Dios, por otorgarme la vida, la fortaleza
y la sabiduría que requería para culminar
esta fase crucial de mi formación
profesional.*

*A mis padres, por su amor incondicional,
su esfuerzo constante y su apoyo
inquebrantable a lo largo de mi vida; ellos
han sido la base que me impulsa a seguir
adelante y alcanzar mis objetivos.*

*A mis hermanos, por su apoyo,
comprensión y compañía en cada paso del
camino, factores que han contribuido de
manera importante a este logro. Con
afecto y agradecimiento, dedico este
trabajo a aquellos que siempre han creído
en mí.*

Elvis Silva I.

AGRADECIMIENTO

A Dios, por iluminar nuestro sendero y concedernos la fortaleza y sabiduría necesarias para llevar a término esta etapa de nuestra vida.

A nuestros padres y hermanos, por ser nuestro refugio en los momentos de dificultad. Gracias por motivarnos a creer en nuestras capacidades y por sus sabios consejos, que han sido la guía constante para alcanzar nuestras metas personales y seguir el camino del bien

*A nuestro asesor **Ms. Julio César Rivasplata Díaz** por su disposición y valiosos aportes que fueron fundamentales en el desarrollo de esta investigación. Asimismo, agradecemos a nuestros docentes que contribuyeron significativamente a nuestra formación profesional, y a todas las personas que de una manera u otra brindaron su apoyo para alcanzar esta meta.*

Los autores

ÍNDICE

DEDICATORIA.....	viii
AGRADECIMIENTO.....	x
ÍNDICE.....	xi
ÍNDICE DE TABLAS.....	xiv
ÍNDICE DE FIGURAS	xv
RESUMEN	xvii
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	19
1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	20
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	23
1.2.1. Problema general	23
1.2.2. Problemas específicos	24
1.3. OBJETIVOS.....	24
1.3.1. Objetivo General	24
1.3.2. Objetivos Específicos	24
1.4. FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS	25
1.5. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA.....	25
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	26
2.1. ANTECEDENTES	27
2.1.1. Internacionales.....	27
2.1.2. Nacionales	30
2.1.3. Locales.....	33

2.2.	MARCO CONCEPTUAL	34
2.2.1.	Suelos	34
2.2.2.	Trocha carrozable	45
2.2.1	Resistencia del Suelo	45
2.2.2	Estabilización de Suelos	50
2.2.3	Método gráfico para la determinación de proporciones óptimas de mezcla	
	55	
2.2.4	Material Local	57
CAPÍTULO III: MATERIALES Y MÉTODOS.....		59
3.1.	MATERIALES.....	60
3.1.1.	PLANOS.....	60
3.1.2.	Materiales de Campo	60
3.1.3.	Materiales de laboratorio	60
3.2.	MÉTODOS.....	62
3.2.1.	Tipo de Investigación	62
3.2.2.	Enfoque de la Investigación	62
3.2.3.	Alcance de Investigación.....	62
3.2.4.	Diseño de investigación.....	62
3.2.5.	Población	63
3.2.6.	Muestra	63
3.2.7.	Variables y Operacionalización.....	65
3.2.8.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos	66
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....		74
4.1.	RESULTADOS	75

4.1.1. Propiedades físicas de la lutita	75
4.1.2. Propiedades físicas y mecánicas del suelo natural	76
4.1.3. Porcentaje de adición de la lutita en el suelo natural.....	85
4.1.4. Mejoramiento del índice CBR con adición de lutita	89
4.1.5. Contrastación de hipótesis.....	99
4.2. DISCUSIÓN.....	101
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	108
5.1. CONCLUSIONES.....	109
5.2. RECOMENDACIONES	111
CAPÍTULO VI: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS Y VIRTUALES.....	113
CAPÍTULO VII: ANEXOS	119

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Tamaño de aberturas de los tamices.....	36
Tabla 2	Plasticidad en función del límite Líquido.....	39
Tabla 3	Índices de plasticidad y contenido de arcilla en suelos	39
Tabla 4	Relación entre clasificación AASHTO y SUCS	44
Tabla 5	Categoría de subrasante.....	49
Tabla 6	Composición mineralógica de la lutita.....	58
Tabla 7	Coordenadas UTM de las calicatas	64
Tabla 8	Coordenadas UTM de zona de extracción del material local.....	68
Tabla 9	Proporciones de mezcla suelo natural–lutita para la evaluación del CBR	70
Tabla 10	Resultados contenido de humedad	80
Tabla 11	Resultados límites de Atterberg	80
Tabla 12	Clasificación de las muestras de suelo	81
Tabla 13	Resultado del CBR del suelo natural.....	85
Tabla 14	Resultados proporciones de mezcla	89
Tabla 15	Comparación y variación del Proctor.....	93
Tabla 16	Características del tramo de prueba con adición de material local – (C-02+50%)	98
Tabla 17	Análisis de mejora relativa del CBR por adición de lutita	100

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Esquema de una muestra de suelo.....	37
Figura 2 Signos convencionales para perfil de calicatas – Clasificación SUCS	42
Figura 3 Clasificación AASHTO	43
Figura 4 Curva granulométrica Material Local ML-1	75
Figura 5 Proporción granulométrica Material Local ML-1	75
Figura 6 Curva granulométrica Calicata C-01.....	76
Figura 7 Proporción granulométrica Calicata C-01.....	77
Figura 8 Curva granulométrica Calicata C-02.....	77
Figura 9 Proporción granulométrica Calicata C-02.....	78
Figura 10 Curva granulométrica Calicata C-03.....	79
Figura 11 Proporción granulométrica Calicata C-03.....	79
Figura 12 Gráfico de Curva de Compactación C-01	82
Figura 13 Gráfico de Curva de Compactación C-02	83
Figura 14 Gráfico de Curva de Compactación C-03	84
Figura 15 Determinación del porcentaje de adición de la calicata C-01	86
Figura 16 Determinación del porcentaje de adición de la calicata C-02	87
Figura 17 Determinación del porcentaje de adición de la calicata C-03	88
Figura 18 Gráfico de Curva de Compactación C-01+30%L	90
Figura 19 Gráfico de Curva de Compactación C-02+50%L	91
Figura 20 Gráfico de Curva de Compactación C-03+25%L	92
Figura 21 Comparación de la MDS del suelo natural y del material mejorado con Lutita.....	93
Figura 22 Comparación del OCH del suelo natural y del material	

mejorado con Lutita.....	94
Figura 23 Comparación del CBR entre suelo natural y material	
mejorado Calicata C-01	95
Figura 24 Comparación del CBR entre suelo natural y material	
mejorado Calicata C-02	96
Figura 25 Comparación del CBR entre suelo natural y material	
mejorado Calicata C-03	96
Figura 26 Prueba estadística de los rangos de signo de Wilcoxon.....	100

RESUMEN

El propósito de este estudio fue mejorar el índice CBR de la trocha carrozable Huacaschuque-Puchuvalle a través de la incorporación de lutita como material estabilizante. El diseño del estudio fue cuasi experimental y el tipo de investigación, según su propósito fue aplicado. Se llevó a cabo la exploración de tres calicatas situadas a lo largo de la vía. Se realizaron pruebas CBR y se establecieron las características físicas y mecánicas del suelo en su estado natural. Luego, se añadió lutita triturada en cantidades del 25%, 30% y 50%, realizando nuevamente las pruebas para analizar su comportamiento. El índice CBR aumentó de manera notable en todas las muestras tratadas, en comparación con su condición natural. Además, el análisis estadístico a través de la prueba de Wilcoxon corroboró que los valores conseguidos mostraban diferencias significativas. Finalmente, se evaluó un tramo de prueba con el porcentaje más crítico.

Palabras clave: Mejoramiento, lutita, índice CBR

ABSTRACT

The purpose of this study was to improve the CBR value of the Huacaschuque-Puchuvalle vehicle track by incorporating shale as a stabilizing material. The study design was quasi-experimental, and the research type was applied, in accordance with its purpose. Three test pits located along the road were excavated. CBR tests were performed, and the physical and mechanical characteristics of the soil in its natural state were determined. Then, crushed shale was added in amounts of 25%, 30%, and 50%, and the tests were repeated to analyze its behavior. The CBR index increased significantly in all treated samples compared to their natural state. Furthermore, statistical analysis using the Wilcoxon test confirmed that the obtained values showed significant differences. Finally, a test section with the most critical percentage was evaluated.

Keywords: *Improvement, shale, CBR index*

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Realidad Problemática

El Objetivo de Desarrollo Sostenible N.º 9: Industria, Innovación e Infraestructura, establecido por la Organización de las Naciones Unidas (ONU), promueve la construcción de infraestructuras resilientes, sostenibles y de calidad como un medio para impulsar el desarrollo económico y social de los países. En este contexto, la infraestructura vial desempeña un papel fundamental al facilitar la conectividad entre las poblaciones, mejorar el acceso a los servicios básicos y fortalecer las actividades productivas. Para garantizar la funcionalidad y durabilidad de las carreteras, es indispensable que los suelos de subrasante presenten características geotécnicas adecuadas que aseguren una capacidad portante suficiente para soportar las cargas del tránsito vehicular y las condiciones ambientales a las que estarán expuestos.

A nivel internacional, uno de los principales desafíos en la construcción y conservación de carreteras es la presencia de suelos con propiedades geotécnicas deficientes, los cuales no cumplen con los parámetros requeridos para el diseño y desempeño de pavimentos. Frente a esta problemática, la estabilización de suelos se ha consolidado como una alternativa técnica para mejorar las propiedades físicas y mecánicas de los materiales naturales. En ese sentido, Angulo y Zavaleta (2020, p. 18) señalan que la estabilización de suelos tiene como finalidad incrementar las propiedades mecánicas, la trabajabilidad, la estabilidad y la resistencia al corte de los materiales tratados, permitiendo que estos soporten cargas sin experimentar deformaciones significativas ni deterioros prematuros. Asimismo, Ipanaque (2022, p. 41) sostiene que la estabilización modifica las propiedades de los suelos que presentan

características deficientes, convirtiéndolos en materiales aptos para su utilización en obras de infraestructura vial.

En el ámbito nacional, una gran parte de la red vial no pavimentada presenta problemas asociados a la baja capacidad portante de los suelos de fundación. Castro y Navarro (2019) indican que los suelos con predominio de arcillas generalmente presentan bajos valores de índice CBR, inferiores a los requeridos para soportar adecuadamente las cargas del tránsito, situación que incrementa los costos de construcción y mantenimiento de las carreteras. Del mismo modo, Hilário (2020) señala que factores como una granulometría deficiente, una distribución uniforme o discontinua de partículas, un elevado contenido de finos y la escasa presencia de gravas afectan negativamente la resistencia mecánica del suelo, reduciendo su capacidad de soporte y su comportamiento estructural.

En la provincia de Pallasca, las condiciones de las vías de comunicación reflejan esta problemática. Huanca (2022, p. 2) menciona que muchas carreteras son construidas de manera simple e imperfecta, generando incomodidad en la población usuaria y problemas ambientales ocasionados por el material suelto y la emisión de polvo durante el tránsito vehicular. Particularmente, en la trocha carrozable Huacaschuque–Puchuvalle, el suelo de subrasante presenta una limitada capacidad de soporte, observándose procesos de erosión superficial provocados por las precipitaciones pluviales, especialmente durante la temporada de invierno. Esta situación deteriora progresivamente la superficie de rodadura y dificulta el tránsito vehicular. Asimismo, Ancash Noticias (16 de marzo de 2023) informó que diversas carreteras del distrito de Huacaschuque permanecieron interrumpidas como

consecuencia de las lluvias intensas, evidenciando el deterioro de la infraestructura vial y la necesidad de intervenciones que mejoren sus condiciones de servicio.

Las principales causas de esta problemática están relacionadas con la baja capacidad portante del suelo de subrasante, la inadecuada distribución granulométrica del material natural, el elevado contenido de finos, la acción erosiva de las lluvias y la ausencia de tratamientos de estabilización mediante materiales disponibles en la zona. Estas condiciones limitan el desempeño estructural de la vía y aceleran su deterioro.

Como consecuencia, se presentan deformaciones y erosiones en la superficie de la trocha, disminución de la transitabilidad vehicular, incremento de los costos de mantenimiento, mayores tiempos de desplazamiento y dificultades para el transporte de personas y productos agrícolas, afectando el desarrollo económico y social de las localidades beneficiadas por esta vía.

Frente a esta situación, la presente investigación propone evaluar la incorporación de lutita como material local estabilizante para mejorar el índice CBR del suelo de subrasante de la trocha carrozable Huacaschuque–Puchuvalle. Esta alternativa busca incrementar la capacidad de soporte del suelo mediante el aprovechamiento de un recurso disponible en la zona, contribuyendo al desarrollo de soluciones técnicas sostenibles para la infraestructura vial rural y alineándose con el Objetivo de Desarrollo Sostenible N.º 9, al promover infraestructuras más resilientes, seguras y sostenibles que favorezcan la conectividad y el desarrollo de la población.

1.2.FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Descripción de la realidad

La situación problemática y los antecedentes presentados líneas arriba ponen en evidencia que los suelos que poseen baja capacidad portante, debido a sus características propias, están propensos a sufrir cambios volumétricos a causa de su exposición a la humedad, o cambios de temperatura en general, al experimentar este fenómeno se producen daños en las vías, lo cual dificulta la transitabilidad, afecta a la calidad de vida y limita el desarrollo de la población.

Existen una variedad de tipos de suelo que no son útiles para proyectos de transportes, debido a su contenido de arcillas, su baja capacidad portante, bajo índice CBR, para solucionar esta dificultad, existen métodos para poder mejorar la capacidad portante de los suelos, ya sea con materiales convencionales o materiales innovadores que son el resultado de nuevas investigaciones, basadas en descubrir nuevos materiales de muy bajo costo y en muchos casos reciclados y aprovechando el entorno del lugar para poder llevarlo a la práctica. En este sentido, en el distrito de Huacaschuque, existe un material en abundancia que es la roca lutita, y sin embargo no es aprovechado. Por lo tanto, la presente investigación se centra en la evaluación de la roca lutita para mejorar el índice CBR en la trocha carrozable de Huacaschuque a Puchuvalle.

Tomando en cuenta estos problemas, se plantearon las siguientes interrogantes:

1.2.1. Problema general

¿Cómo afecta el material local (lutita) en el índice CBR de la trocha carrozable de Huacaschuque–Puchuvalle?

1.2.2. Problemas específicos

- ¿Cuáles son las propiedades físicas del material local (lutita)?
- ¿Cuáles son las propiedades físicas y mecánicas del suelo de la trocha carrozable Huacaschuque-Puchuvalle?
- ¿Cuál es el porcentaje de adición de lutita con el fin de mejorar en el índice CBR de la Trocha Carrozable Huacaschuque-Puchuvalle?

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo General

- Mejorar el índice CBR de la trocha carrozable Huacaschuque-Puchuvalle adicionando material local (lutita).

1.3.2. Objetivos Específicos

- Determinar las propiedades físicas del material local (lutita).
- Determinar las propiedades físicas y mecánicas del suelo de la trocha carrozable Huacaschuque-Puchuvalle.
- Determinar el porcentaje de adición de lutita con el fin de mejorar el índice CBR de la Trocha Carrozable Huacaschuque-Puchuvalle.

1.4. FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS

El material local (lutita) mejora significativamente el índice CBR y las propiedades mecánicas de la Trocha Carrozable Hucaschuque-Puchuvalle.

1.5. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

En el ámbito de la construcción y mantenimiento de carreteras, la presencia de suelos con baja capacidad portante representa un desafío constante para garantizar la estabilidad y durabilidad de las infraestructuras viales. Si bien tradicionalmente se han empleado materiales como el cemento y la cal para la estabilización de suelos, en la actualidad resulta necesario evaluar alternativas que sean técnica, económica y ambientalmente más viables, especialmente en contextos rurales.

En la zona de Huacaschuque, la trocha carrozable Huacaschuque–Puchuvalle requiere soluciones que permitan optimizar sus condiciones estructurales considerando las limitaciones económicas y logísticas propias del entorno. En este sentido, el aprovechamiento de materiales locales surge como una estrategia pertinente para reducir costos y facilitar la ejecución de mejoras en la vía.

Por ello, la presente investigación se orienta a evaluar la eficacia de la roca lutita como material estabilizante de la subrasante. El uso de este recurso, disponible en abundancia en la zona, busca constituir una alternativa accesible y sostenible que permita mejorar la capacidad portante y resistencia del suelo. De esta manera, se contribuye no solo al mejoramiento de la infraestructura vial, sino también al desarrollo de soluciones técnicas adaptadas a las condiciones locales, con impacto positivo en la transitabilidad y en la calidad de vida de la población.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES

2.1.1. Internacionales

Rabab'ah et al. (2023), en su artículo titulado "Effect of used Oil Shale Ash on geotechnical properties of cement-stabilized expansive suelo para pavimentos" publicado en la revista Case Studies in Construction Materials, tuvieron como objetivo investigar experimentalmente el uso de la ceniza de lutita bituminosa (OSA) y cemento Portland para mejorar las propiedades geotécnicas de suelos expansivos problemáticos utilizados como subrasante. La metodología incluyó un programa de ensayos de laboratorio que evaluó límites de Atterberg, compactación, resistencia a la compresión simple (UCS) y el Índice de Soporte de California (CBR), aplicando dosificaciones de ceniza de lutita en cuatro porcentajes (10%, 20%, 25% y 30%) combinadas con cemento (2%, 4% y 6%) sobre el peso seco del suelo. En cuanto a los resultados para la capa de subrasante, el valor del CBR aumentó de un 2.1% en el suelo natural sin tratar hasta un 42.5% al agregar un 30% de ceniza de lutita; Además, al combinar el 30% de OSA con un 6% de cemento, el CBR alcanzó un valor máximo de 225%. Asimismo, la adición de un 30% de ceniza de lutita reduce el potencial de pérdida libre del suelo del 20,5% al 10%. Como conclusión, los autores afirman que la ceniza de lutita bituminosa es un agente estabilizador eficaz que mejora la integridad estructural y la capacidad de carga de la subrasante, permitiendo reducir el espesor de las capas asfálticas y promoviendo la sostenibilidad al reutilizar subproductos industriales.

Mengjin et al. (2024), en su estudio titulado "Research on Road Performance of Carbonaceous Shale Subgrade Filler", se plantearon como objetivo investigar las propiedades básicas y el desempeño vial de la lutita carbonosa

como material de relleno para subrasantes, buscando mitigar la escasez de materiales convencionales. La metodología incluyó el diseño de una gradación basada en la teoría de densidad máxima (método norte con un exponente de 0.5 y tamaño máximo de partícula de 60 mm), seguida de ensayos de compactación vibratoria, pruebas de RCBR, es decir CBR tras ciclos de secado y humedad, ensayos de compresión y mediciones de campo del módulo de rebote en una subrasante con 96% de compactación, en cuanto a los resultados, la dosificación granulométrica empleada permitió alcanzar una densidad seca máxima de $2,14 \text{ g/cm}^3$ con un contenido óptimo de humedad de 4,21%. En relación a la capacidad de soporte en la capa de subrasante, se obtuvo un valor de RCBR inicial del 54% antes de los ciclos de degradación; Sin embargo, tras someter el material a procesos de saturación y secado, la resistencia disminuyó rápidamente hasta estabilizarse en un 26% aproximadamente después de 4 a 8 ciclos. Asimismo, el módulo de rebote de la subrasante se redujo de 140.4 MPa en estado seco a 82.1 MPa después de 6 horas de inmersión, como conclusión los autores determinan que la lutita carbonosa es un material viable para rellenos de subrasante debido a que su desempeño mecánico es superior al de otras rocas blandas, aunque recalcan la necesidad de optimizar la gradación y aplicar medidas estrictas de impermeabilización y control de humedad para evitar la degradación de su resistencia ante el agua.

Santos et al. (2019), artículo titulado “Avaliação do efeito da adição de resíduo de ardósia no módulo de resiliência de misturas com solo argiloso” publicado en la revista Transportes, se propusieron como objetivo evaluar la influencia de la incorporación de residuos de pizarra (SLT) en el módulo de resiliencia y las propiedades físico-mecánicas de mezclas con suelo arcilloso destinadas a

pavimentación. La metodología empleada incluyó la caracterización de mezclas con dosificaciones de 60%, 70% y 80% de residuo de pizarra en masa, aplicando energías de compactación Proctor Intermedia y Modificada, y realizando ensayos de Índice de Soporte de California (CBR/ISC) y Módulo de Resiliencia (MR), complementados con simulaciones estructurales mediante el software MeDiNa. Los resultados revelaron que, mientras el suelo arcilloso original, poseía un CBR inicial del 17%, la adición del residuo elevó este valor sustancial: la dosificación al 60% alcanzó un 68%, la de 70% un 73% y la de 80% llegó al 79% de CBR. Además, reduce la expansión y el óptimo contenido de humedad de 25.8% del suelo natural pasa a 8.2% (con 60% de SLT) ,6.6% (con 70% de SLT), y 5.1% (con 80% de SLT), y la MDS se incrementa de 1.512 gr/cm³ a 2.125 gr/cm³, 2.188 gr/cm³, y 2.250 gr/cm³ para cada porcentaje de adición respectivamente. Por ello, los autores concluyen que estas mezclas son técnicamente viables para conformar capas de base y sub-base, logrando estabilizar el suelo arcilloso y proporcionando un desempeño mecánico similar al de los agregados naturales, manteniendo las deformaciones del pavimento dentro de los límites admisibles.

Antunes (2022), en su investigación titulada "Estudos geotécnicos de resíduos sólidos industriais de ardósia visando seu emprego na pavimentação viária na região central de Minas Gerais" , tuvo como objetivo analizar el desempeño laboral y de campo de mezclas de residuos de pizarra con suelos para capas granulares y asfálticas. La metodología incluyó la construcción de un tramo experimental donde se aplicaron dosificaciones específicas: para la subrasante se utilizó una mezcla de 50% de residuo de pizarra y 50% de suelo; para la subbase se empleó un 70% de agregados de pizarra y 30% de suelo, y para la

base un 80% de pizarra con 20% de suelo. Los resultados destacaron que, en la capa de subrasante, el índice CBR aumentó de un 10% (suelo natural) a un 16% tras la estabilización con pizarra, la máxima densidad seca se incrementó de 1.415 gr/cm³ a 1.816 gr/cm³, mientras que el Optimo contenido de humedad disminuyó de 27.5% del suelo natural a 13.3% en la muestra mejorada, Finalmente, el autor concluyó que el uso de estos residuos mejora significativamente la capacidad de soporte y rigidez de las capas del pavimento, representando una solución sostenible que cumple con los parámetros normativos.

2.1.2. Nacionales

Arbieto (2023) desarrolló la investigación titulada “Estabilización de subrasantes blandas con adición de lutita y cal, carretera Tamburco - Karkatera, Apurímac 2022”, cuyo objetivo fue estabilizar el suelo de una subrasante blanda, que fue clasificada de acuerdo con el sistema AASHTO, como un suelo tipo A-4, mediante la incorporación de lutita y cal. El autor realizó ensayos con diferentes porcentajes de adición, los resultados mostraron que la dosificación óptima corresponde al 15% de lutita y cal (0.67 de cal y 0.33 de lutita), lo cual permitió mejorar las propiedades mecánicas y físicas del suelo a estabilizar. Respecto al índice de plasticidad, no se evidenciaron cambios significativos; sin embargo, la máxima densidad seca disminuyó a 1.90 g/cm³, mientras que el contenido óptimo de humedad aumentó a 10.12%. Asimismo, señala que, debido a la reacción química generada por la estabilización, la muestra presentó un incremento significativo en el valor del CBR, alcanzando un 66.66%. En consecuencia, el estudio concluye que la adición combinada de lutita y cal constituye una alternativa eficaz para la mejora de subrasantes blandas.

Burga (2023) en su investigación *“MEJORAMIENTO DE SUBRASANTE ARCILLOSA CON LA FINALIDAD DE INCREMENTAR PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS ADICIONANDO POLVO DE PIEDRA CALIZA, CHOTA-CAJAMARCA, 2023”* tuvo como objetivo evaluar el mejoramiento de una subrasante arcillosa mediante la adición de polvo de piedra caliza, con la finalidad de incrementar sus propiedades físico-mecánicas. La investigación se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, empleando como muestra tres calicatas distribuidas de forma homogénea en la carretera CA-940, en la provincia de Chota, Cajamarca. Las muestras fueron sometidas a ensayos de laboratorio considerando porcentajes de adición de 22.5%, 25%, 27.5%, 30% y 32.5% de polvo de piedra caliza. Los resultados evidenciaron que, a medida que se incrementa el contenido de polvo de piedra caliza, disminuyen el límite líquido y el índice de plasticidad, sin presentarse variaciones significativas en el límite plástico. Asimismo, se observó una reducción en el contenido óptimo de humedad y un incremento en la capacidad de soporte del suelo. El autor determinó como porcentaje óptimo de adición el 30%, con el cual se alcanzaron valores de CBR de 8.2%, 11.6% y 8.2% al 100% de la MDS en las calicatas 1, 2 y 3, respectivamente.

La investigación realizada por Huatay & Silva (2023), titulada *“MEJORAMIENTO DEL CBR EN SUBRASANTE ARCILLOSA MEDIANTE EL USO DE ANTRACITA EN PROPORCIÓN DE 5%, 10% Y 15% EN LA CARRETERA A TARTAR GRANDE BAÑOS DEL INCA – CAJAMARCA, 2023”*, tuvo como objetivo principal determinar la variación del Índice de Soporte California (CBR) en una subrasante arcillosa mediante la adición de ceniza de antracita (CDA) en proporciones de 5%, 10% y 15%. La

metodología consistió en la extracción de muestras de cuatro calicatas, a las cuales se les realizaron ensayos de CBR bajo condiciones de compactación al 95% de la densidad máxima seca. Los resultados demuestran una disminución significativa en el índice de plasticidad, a medida que el porcentaje de adición de antracita aumenta, la MDS aumenta y el Optimo contenido de Humedad descende, además obtuvieron una mejora significativa en la capacidad portante del suelo. Para una penetración de 0.1", el CBR de la muestra patrón fue de 1.24%, incrementándose a 2.07%, 3.96% y 10.04% con adiciones de 5%, 10% y 15% de CDA, respectivamente. Asimismo, para una penetración de 0.2", el CBR inicial de 1.52% aumentó a 2.38%, 4.80% y 13.82% en las mismas proporciones de adición, por tanto, se concluyó que la incorporación de ceniza de antracita mejora significativamente el Índice CBR del suelo arcilloso, validando su uso como alternativa técnica y económica para el mejoramiento de subrasantes

Ruiz (2022) en su tesis titulada, “EVALUACIÓN DE LA INCORPORACIÓN DE POLVO DE PIEDRA CHANCADA EN LA SUBRASANTE DETERIORADA POR DEFORMACIÓN, CARRETERA CHOTA – SHITACUCHO” planteó como objetivo verificar el uso de desechos de roca caliza triturada en las propiedades del suelo de la subrasante en dicha ruta, en la investigación se emplea metodología de enfoque mixto, nivel aplicado, se analizó muestras de tres calicatas (C1, C2 y C3) clasificadas como arcillas de alta plasticidad (A-7-6), para la estabilización se emplearon dosificaciones de 2, 4, 6 y 10%. Los resultados demostraron que el suelo natural presentaba una capacidad de soporte (CBR al 100% de la MDS) insuficiente de 4.50% para C1, 5.20% para C2 y 5.80% para C3. Tras la estabilización se encontró que la

dosificación óptima era 10% de desechos de piedra caliza, con lo que se logró elevar el CBR a valores de 12.50%, 13.80% y 14.50% respectivamente, permitiendo que la capa de subrasante alcance la categoría de "buena" según la normativa del MTC.

2.1.3. Locales

Jimenez (2021) en su tesis “Mejoramiento de subrasantes de la red vial Captuy – Moro, con cenizas de Donax Obesulus y cáscara de arroz, 2021” planteó como objetivo mejorar las propiedades mecánicas del suelo de subrasante mediante la incorporación de cenizas de Donax obesulus (CDO) y cáscara de arroz (CCA). El estudio fue de tipo experimental, realizándose la extracción de muestras de 6 calicatas a lo largo de 2.05 km, identificándose la calicata N°5 como la más desfavorable. El suelo fue caracterizado mediante ensayos de laboratorio, tales como análisis granulométrico, límites de Atterberg y Proctor, determinándose sus propiedades físicas y mecánicas iniciales, el suelo se clasificó como una Arena limosa, A-4 (2) de acuerdo a la clasificación AASHTO. Posteriormente, se elaboraron nueve combinaciones con adiciones de 4 %, 6 % y 8 % de CDO, y 5 %, 9 % y 12 % de CCA.

Los resultados mostraron que la combinación óptima fue 4 % de ceniza de Donax obesulus y 5 % de ceniza de cáscara de arroz, alcanzando un índice CBR de 40.7 % al 95 % de la MDS, lo que representa un incremento del 17.3 puntos porcentuales respecto al suelo natural (23.4 %).

2.2. MARCO CONCEPTUAL

2.2.1. Suelos

Los suelos son una parte fundamental de nuestro entorno natural y desempeñan un papel crucial en el sustento de la vida en la Tierra. Son el medio en el cual las plantas crecen y se desarrollan, y proporcionan nutrientes esenciales para su supervivencia. Además, los suelos actúan como filtros naturales, purificando el agua y almacenando carbono. Sin embargo, los conceptos más acertados en ingeniería civil son como diversos autores como Terzaghi lo definieron para su estudio y clasificación.

Juárez Badillo y Rico Rodríguez (1973) definen al suelo como todo tipo de material en la superficie terrestre, incluidos los esquistos blandos o las areniscas parcialmente cementadas. Quedan excluidas del criterio las rocas ígneas o metamórficas sólidas y los depósitos sedimentarios fuertemente cementados que no se reblandecen o disuelven rápidamente debido a la meteorización.

Es posible que el suelo incluya materia orgánica. El suelo se define como los sedimentos no consolidados de partículas sólidas que son consecuencia de la alteración de rocas o suelos que se mueven por fuerzas como el agua, el hielo o el viento con la asistencia de la gravedad como fuerza direccional seleccionada. Un cuerpo naturalmente heterogéneo es el suelo. (Duque & Escobar, 2002)

Según Crespo Villalaz, (2004) el suelo es una capa fina sobre la corteza terrestre que se crea cuando las rocas se desintegran, cambian física o

químicamente, o ambas cosas y también de los residuos producidos por las actividades desarrolladas por los seres vivos.

Las definiciones anteriores corresponden a diversos autores que plantearon el estudio de mecánica de suelos, sus propiedades físicas y su relación en la construcción.

Existen diferentes tipos de suelos que varían en composición, textura y propiedades físicas y químicas. Estos tipos de suelos se clasifican en función de sus características y se agrupan en categorías principales.

Propiedades

a. Granulometría.

Determinar la proporción de los distintos elementos constitutivos de un suelo, que se clasifican en función del tamaño, mediante un análisis granulométrico. (Sanz, 1975)

Según Aguirre y Pastor (2020), “El objetivo principal de la prueba es determinar cuantitativamente la distribución granulométrica del suelo, o determinar las proporciones de suelo que pasan a través de los distintos tamices de la serie empleada en la prueba, hasta 74 mm (n.º 200). Para realizar la prueba se necesita una balanza (con sensibilidad de 0,01 g), una estufa u horno, recipientes para secar adecuadamente las muestras, cepillos, pinceles y un juego de tamices de malla cuadrada con las aberturas correspondientes.”

Con el ensayo granulométrico se pueden clasificar el tipo de suelo según los sistemas de clasificación de los suelos. El ensayo se compone de

tamices, el cual tienen diferentes aberturas normativas descritas en el manual de ensayos de materiales del MTC.

Tabla 1

Tamaño de aberturas de los tamices

TAMICES	ABERTURA (mm)
3"	75
2"	50.8
1 1/2"	38.1
1"	25.4
3/4"	19
3/8"	9.5
N°4	4.76
N°10	2
N°20	0.84
N°40	0.425
N°60	0.26
N°200	0.075

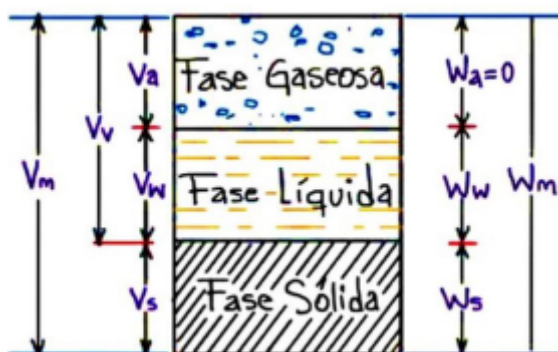
Nota: Manual de Ensayos de Materiales del MTC (Aguirre & Pastor, 2020)

b. Contenido de humedad.

El contenido de humedad de los suelos es un indicativo de la cantidad de agua que se encuentra presente en una muestra de suelo, y varía de acuerdo a las condiciones y características del tipo de suelo. En ese sentido, Palomino Saldaña (2016) indica que “El peso del agua en una masa determinada de suelo dividido por el peso de las partículas da el porcentaje de humedad o contenido de humedad de un suelo.”

Figura 1

Esquema de una muestra de suelo



Nota: Mecánica de suelos, Tomo I, Juárez Badillo y Rico Rodríguez.

1973

c. Límite de consistencia

Según Zica (2010), la consistencia de un suelo, corresponde a sus condiciones físicas para un cierto contenido de agua y refleja la forma en que se opone a su deformación. Está relacionado con las fuerzas de atracción entre partículas individuales o agregadas. La variación en el contenido de agua puede conducir a diferentes estados de comportamiento, en el caso de suelos arcillosos, por ejemplo, se tiene lo siguiente:

- Estado sólido: El suelo no es moldeable, debido a su bajo contenido de agua;
- Estado semisólido o comportamiento friable: El suelo se rompe en fragmentos cuando se tiene la intención de darle forma;
- Estado plástico o comportamiento moldeable: Es posible moldear el suelo sin variación de volumen;

-
- Estado líquido o comportamiento fluido: El suelo toma la forma del recipiente en el que se encuentra.

En conclusión, entonces independientemente del contenido de agua, la consistencia difiere para varios suelos, y la definición de estos criterios ofrece información sobre el tipo de suelo. Los parámetros para dividir los estados de consistencia se conocen como límites de consistencia, y se refieren al contenido de agua al que la consistencia del suelo pasa de un estado a otro.

Límite líquido

Sánchez Arroyo (2019) cita a (Huarcaya y Huacho, 2015) quien afirma que “El nivel de humedad por debajo del cual el suelo funciona como material plástico se conoce como límite líquido. El suelo está a punto de adoptar las características de un fluido viscoso cuando su contenido de humedad alcanza este nivel.”. (Pág. 24)

Límite plástico

El contenido de humedad a partir del cual el mortero se vuelve flexible, o cuando aún puede trabajarse antes de perder toda cohesión, se conoce como límite plástico. Experimentalmente, la plasticidad máxima del suelo es la cantidad de humedad que permite amasarlo sin rehacerlo en moldes de 3 mm de diámetro. (Palomino, 2016).

Índice de plasticidad

Conociendo el límite líquido y el límite plástico, ya es posible conocer el índice de plasticidad del suelo, el cual está dado por la diferencia de estos dos valores antes mencionados.

Tabla 2

Plasticidad en función del límite Líquido

Límite Líquido	Plasticidad
0-<30	Baja Plasticidad
30-<50	Mediana plasticidad
>-50	Alta plasticidad

Nota: Correa 2000

De acuerdo a Sanz (1995), Según la tabla 3, los suelos con poco contenido en arcilla tienen índices de plasticidad bajos, mientras que los suelos con arcilla tienen índices de plasticidad mayores.

Tabla 3

Índices de plasticidad y contenido de arcilla en suelos

Índice de Plasticidad	Característica del suelo
IP >20	Alta Plasticidad
20>IP >10	Mediana plasticidad
10>IP >4	Baja plasticidad
IP =0	No plástico NP

Nota: Sanz 1995

Límite de retracción

También es conocido como límite de contracción, según (Duque & Escobar, 2002) puntualizan, “El mayor contenido de agua al que una disminución de la humedad no provoca una reducción del volumen de la masa de suelo se conoce como límite de contracción.”

Clasificación de los suelos. La clasificación geotécnica de los suelos está dada por dos sistemas de clasificación, por un lado, es de acuerdo al sistema SUCS, que es frecuentemente usado en lo correspondiente a ingeniería geotécnica y el otro sistema es AASHTO, usado en la construcción de carreteras y terraplenes. (Zica, 2010).

a. Clasificación SUCS

La clasificación de los suelos según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) se basa específicamente en el tamaño y textura de las partículas del suelo. El SUCS divide los suelos en cuatro categorías principales, según Viana de Oliveira (2011).

1. Grava y arena: Esta categoría incluye partículas de mayor tamaño, por definición de Terzaghi, las partículas que lo componen, en el caso de las gravas, es todo el material retenido en la malla N°4 y para las arenas, es todo el material retenido en la malla N°200 y pasante por la malla N°4. Estos suelos son usualmente granulares y tienen poca capacidad de retención de agua.
2. Limos y arcillas: Esta categoría incluye suelos con partículas más finas, siguiendo la definición de Terzaghi, es todo el material que pasa por la malla N°200. Estos suelos son más cohesivos y poseen una mayor capacidad para retener el agua.

3. Suelos orgánicos: Esta categoría incluye suelos ricos en materia orgánica, como turba y humus. Estos suelos son altamente orgánicos y poseen una capacidad muy alta de retener el agua.
4. Roca: Esta categoría incluye partículas muy grandes, según la definición, se considera roca todo material que sea mayor a 4 pulgadas. Estos suelos son muy duros y no retienen agua.

Cada categoría principal se subdivide en diferentes clases y subclases, dependiendo de las características específicas del suelo. Estas clasificaciones son útiles para determinar la aptitud del suelo para diferentes usos, la construcción y la ingeniería.

La clasificación se divide en dos partes: la parte granular y la parte plástica.

En la parte granular, se utilizan los siguientes símbolos:

- GW: Grava bien graduada
- GP: Grava mal graduada
- SW: Arena bien graduada
- SP: Arena mal graduada

En la parte plástica, se utilizan los siguientes símbolos:

- ML: Limos inorgánicos
- CL: Arcillas inorgánicas de baja plasticidad
- CH: Arcillas inorgánicas de alta plasticidad
- MH: Arcillas orgánicas de alta plasticidad
- OL: Limo orgánico

Además de estos símbolos, se utilizan números para indicar la cantidad de finos en el suelo. Por ejemplo, GW-GC indica una grava bien graduada con menos del 5% de finos.

Es importante tener en cuenta que esta clasificación se utiliza principalmente en ingeniería civil y construcción de carreteras para determinar la idoneidad de los suelos para diferentes usos y para el diseño de cimentaciones y estructuras.

Figura 2

Signos convencionales para perfil de calicatas – Clasificación SUCS

	Grava bien graduada, mezcla de grava con poco o nada de materia fina, variación en tamaños granulares		Materiales finos sin plasticidad o con plasticidad muy bajo
	Grava mal granulada, mezcla de arena-grava con poco o nada de material fino		Arena arcillosa, mezcla de arena-arcillosa
	Grava limosa, mezcla de grava, arena limosa		Limo organico y arena muy fina, polvo de roca, arena fina limosa o arcillosa o limo arcilloso con ligera plasticidad
	Grava arcillosa, mezcla de grava-arena-arcilla; grava con material fino cantidad apreciable de material fino		Limo organico de plasticidad baja o mediano, arcilla grava, arcilla arenosa, arena limosa, arcilla magra
	Arena bien graduada, arena con grava, poco o nada de material fino. Arena limpia poco o nada de material fino, amplia variación en tamaños granulares y cantidades de partículas en tamaños intermedios		Limo organico y arcilla limosa organica, baja plasticidad
	Arena mal graduada con grava poco o nada de material fino. Un tamaño predominante o una serie de tamaños con ausencia de partículas intermedios		Limo inorganico, suelo fino gravoso o limoso, micacea o diatometacea, limo elastico
	Arcilla inorganica de elevada plasticidad, arcilla gravosa		
	Arcilla organica de mediana o elevada plasticidad, limo organico		
	Turba, suelo considerablemente organico		

Nota: Manual de Ensayos de Materiales – Norma MTC E101, Símbolos gráficos para suelos

b. Clasificación AASHTO.

El sistema de clasificación AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) (Designación ASTM D-3282; método AASHTO M145) este sistema fue desarrollado en 1982 por Terzaghi y Hogentogler, siendo uno de los primeros sistemas de clasificación. Desde entonces este sistema viene siendo objeto de varias actualizaciones y ahora se utiliza para tareas de ingeniería más centradas en el campo de las carreteras, como la construcción de subbases y bases de carreteras, terraplenes, subrasantes. (Urdanivia Roque, 2019)

Este sistema de clasificación puede dividirse en grupos considerables, ya que se basa en la granulometría del suelo.

Figura 3

Clasificación AASHTO

CLASIFICACIÓN GENERAL	MATERIALES GRANULARES (IGUAL O MENOR DEL 35% PASA EL TAMIZ N°200)							MATERIALES LIMO-ARCILLOSOS (MÁS DEL 35% PASA EL TAMIZ N°200)			
GRUPOS	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
SUBGRUPOS	A-1a	A-1b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5 A-7-6
Porcentaje que pasa el tamiz N°10.....	50 máx.										
N°40.....	30 máx.	50 máx.	51 mín.								
N°200.....	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	36 mín.	36 mín.	35 mín.	35 mín.
Características del material											
Límite líquido.....				40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.
Índice plástico.....	6 máx.	6 máx.	N.P.	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.
Índice de Grupo.....	0	0	0	0	0	4 máx.	4 máx.	8 máx.	12 máx.	16 máx.	20 máx.
Tipos de material.....	Fragmento de Piedra, grava y arena		Arena fina	Gravas, arenas limosas y arcillosas				Suelos limosos		Suelos arcillosos	
Terreno de fundación.....	Escelente o bueno					Regular o deficiente					

Nota: (MTC, 2014)

- Suelos granulares.

“Se trata de suelos que pasan el tamiz n.º 200 con un porcentaje inferior o igual al 35% de toda la muestra. Los grupos A-1, A-2 y A-3 están formados por estos suelos.”. (Urdanivia Roque, 2019)

- ***Suelos limo-arcilla o material fino.***

“Se trata de suelos en los que más del 35% de la muestra pasa por el tamiz n.º 200. Los grupos A4, A5, A6 y A7 están formados por estos suelos.”.(Urdanivia Roque, 2019)

- ***Suelos orgánicos.***

“La mayor parte de la materia de estos suelos es orgánica. Este tipo de suelo pertenece al grupo A-8.”.(Urdanivia Roque, 2019)

La relación que existe entre ambas clasificaciones según Crespo Villalaz, (2004), es el siguiente:

Tabla 4

Relación entre clasificación AASHTO y SUCS

AASHTO	SUCS
A-1a	GW, GP, SW, SP
A-1b	SW, SP, SM, GC
A-13	SP
A-2-4	CL, ML
A-2-5	CL, ML, CH, MH
A-2-6	CL, ML
A-2-7	CL, ML, CH, MH
A-4	CL, ML
A-15	CL, ML, CH, MH
A-6	CL, ML
A-6	CL, ML, CH, MH
A-8	Turba y detrito orgánico

Nota: Manual de carreteras - Sección de suelos, geología, geotecnia y pavimentos. MTC (2014).

2.2.2. Trocha carrozable

Según el Manual de Diseño Geométrico de Carreteras (DG-2018) las trochas carrozables son vías transitables que no cumplen con las características de una carretera, otra de sus características es que por lo general tienen un índice medio diario anual (IMDA) inferior a 200 veh/día. Por otro lado, la calzada de una trocha carrozable debe tener como mínimo un ancho de 4m, y también pues se debe construir plazoletas de cruce o también llamados ensanches, por lo menos a cada 500m.

Esto quiere decir que estas vías son poco transitadas y por lo general son de afirmado que han sido estabilizados con emulsiones asfálticas u otro material estabilizante para la trocha.

Las investigaciones que se realicen se llevaran a cabo mediante calicatas exploratorias o calicatas de prueba con una profundidad mínima de 1,5 m; el número mínimo de calicatas por kilómetro; con la finalidad de determinar las características físico-mecánicas de los materiales de la subrasante. Las calicatas se colocarán longitudinalmente y, alternativamente, dentro de la franja que abarca la anchura de la calzada, a intervalos aproximadamente iguales; si se considera necesario, se intensificará la investigación en unos pocos lugares a lo largo de los 500 metros de recorrido de la calzada. (Aguirre & Pastor, 2020)

2.2.1 Resistencia del Suelo

La resistencia del suelo es un término importante en geotecnia e ingeniería civil, dicho concepto hace referencia a la capacidad de un suelo para soportar cargas sin sufrir deformaciones indebidas ni derrumbarse.

Terzaghi (1943) realizó contribuciones fundamentales a la geotecnia, sentando las bases para comprender la resistencia del suelo. En su libro, "Mecánica teórica del suelo" Terzaghi desarrolló nociones esenciales sobre el comportamiento del suelo y la relación entre las cargas aplicadas y las consiguientes deformaciones. Dando a notar la importancia de la cohesión y el ángulo de fricción interna en la resistencia del suelo, dos principios que aún siguen siendo clave en la geotecnia actual.

La resistencia al corte y la resistencia a la compresión son los dos componentes básicos de la resistencia del suelo. La resistencia al corte es la capacidad del suelo para soportar fuerzas tangenciales o cortantes, mientras que la resistencia a la compresión es su capacidad para tolerar cargas verticales.

Generalmente la cohesión y el ángulo de fricción interna son dos características muy utilizadas para expresar la resistencia al corte del suelo, pues a la fuerza interna que une los granos del suelo se conoce como cohesión, y es especialmente importante en suelos arcillosos. Por otro lado, el ángulo de fricción interna, hace referencia al grado de rugosidad o aspereza que existe entre los granos del suelo y suele ser especialmente significativo en suelos arenosos o granulares.

Ahora bien, para evaluar la resistencia a la compresión se utilizan más procedimientos de laboratorio como por ejemplo el ensayo de compresión uniaxial. En el mencionado ensayo, se aplica una fuerza axial al suelo y se evalúa su capacidad para soportarla antes de llegar al colapso. La resistencia a la compresión es fundamental en la construcción de cimientos de edificios y otras estructuras que transmiten tensiones verticales al suelo, su variabilidad se convierte en todo un desafío en la construcción.

La Resistencia del suelo puede variar enormemente en función del tipo de suelo, el contenido de humedad y la densidad, cuando se trata de un suelo arcilloso pueden alcanzarse diferentes características de resistencia en función de la humedad y de la energía de compactación, ya que un suelo arcilloso compactado en el lado seco de la curva de compactación con la humedad de compactación presenta un comportamiento relativamente elástico y una resistencia relativamente alta; en cambio, si este mismo suelo se compacta con alta humedad, aun cuando su peso volumétrico seco sea elevado, presentará una baja resistencia y un comportamiento plástico viscoso. Este efecto suele deberse al hecho de que los suelos arcillosos son relativamente porosos. (Montejo, 2002)

a. Proctor modificado

La compacidad y densidad de un suelo son los dos factores determinantes para su resistencia, basado en esto se puede decir que un suelo es más fuerte mientras más compacto y denso sea.

La cantidad de agua en el suelo también afecta a su resistencia, ya que lubrica las partículas del suelo, facilitando su deslizamiento, pero sólo hasta un determinado nivel de humedad, cuando permite el movimiento de las partículas y, en consecuencia, su compactación. (Sanz, 1995).

El ensayo Proctor Modificado es un método de laboratorio popular en el ámbito de la ingeniería civil y geotécnica para determinar las características de compactación del suelo. Este método fue creado por R.R Proctor en 1933 y desde entonces ha sido modificado y mejorado por cuantiosos estudiosos. La prueba es crucial para determinar la densidad máxima que un suelo puede

alcanzar en circunstancias de compactación específicas, lo cual es importante para la construcción de carreteras, presas, cimientos y otras construcciones civiles. (Proctor, R.R. (1933). "The Design of Earth Dams." *Transactions of the American Society of Civil Engineers*, Vol. 98, No. 3, pp. 718-760).

En resumen, se puede afirmar que el ensayo Proctor tiene como objetivo determinar la cantidad ideal de agua para lograr la mejor compactación de un suelo para una determinada energía. Se basa en la premisa de que la capacidad es proporcional a la densidad del suelo seco.

También es importante recalcar que el ensayo Proctor modificado tiene diferentes usos ello dependiendo del tipo de suelo y del proyecto de ingeniería que se va a desarrollar. En consecuencia, para obtener resultados precisos y fiables, estos ensayos deben realizarse en el suelo real que se va a utilizar en la obra.

El ensayo Proctor modificado se basa en la compactación de muestras de suelo a distintos niveles de humedad y energía de compactación. El objetivo es descubrir la humedad y densidad máximas que pueden alcanzarse para un determinado suelo. Estos valores son críticos para la planificación y ejecución de proyectos de ingeniería porque tienen un impacto directo en la estabilidad y resistencia del suelo.

Examinando los resultados de los ensayos se construye una curva de compactación que ilustra la conexión entre humedad y densidad. La humedad óptima y la densidad máxima para el suelo en cuestión pueden calcularse utilizando esta curva.

b. Índice de CBR

El California Bearing Ratio, o CBR por sus siglas en inglés, es un método utilizado en ingeniería civil para medir la resistencia y capacidad portante de una estructura. Según la sección de pavimentos, suelos, geología y geotecnia del Manual de Carreteras”, (Ipanaqué Carrasco, 2022). T.R. Harr, ingeniero de California, estudió el índice CBR en 1929 y publicó sus conclusiones en el "California Division of Highways Bulletin No. 129". Harr desarrolló esta prueba para analizar la capacidad de los suelos para soportar las cargas de tráfico de las carreteras, lo que supuso un importante logro en la ingeniería de pavimentos. Su trabajo se convirtió en una referencia fundamental en el diseño de pavimentos en California y en el extranjero.

El índice CBR ha sido objeto de múltiples ajustes y actualizaciones a lo largo de los años para adaptarse a diversas condiciones geotécnicas y requisitos de diseño. La prueba se realiza a distintas profundidades y densidades del suelo, lo cual permite evaluar la variación de la capacidad portante con la profundidad. También se han establecido correlaciones entre el índice CBR y otras características geotécnicas, como la densidad y la humedad del suelo.

El índice de resistencia del suelo representado por el MTC. (2014) es igual al 95% del MDS y una penetración de carga de 2,54 mm (1")

Así mismo con el valor de CBR que se obtiene, se tiene la siguiente tabla de clasificación:

Tabla 5

Categoría de subrasante

Categoría de subrasante	CBR
S0: Subrasante Inadecuada	CBR<3%
S1: Subrasante Insuficiente	CBR $\geq$ 3% a CBR < 6%

S2: Subrasante Regular	$\text{CBR} \geq 6\%$ a $\text{CBR} < 10\%$
S3: Subrasante Buena	$\text{CBR} \geq 10\%$ a $\text{CBR} < 20\%$
S4: Subrasante Muy buena	$\text{CBR} \geq 20\%$ a $\text{CBR} < 30\%$
S5: Subrasante Excelente	$\text{CBR} \geq 30\%$

Nota: Manual de carreteras - Sección de suelos, geología, geotecnia y pavimentos. MTC (2014).

2.2.2 Estabilización de Suelos

Requejo (2020) cita a Según Azilah, Byung-Tae, Hyeop-Jo, & Kyoung-Woong (2018), quienes afirman que “Un método correctivo llamado estabilización del suelo disminuye las impurezas que están expuestas al entorno del suelo. Si un contaminante se vuelve menos fácilmente disponible en el medio ambiente después del tratamiento, entonces indica la eficacia de la técnica.” (Pág. 27)

Numerosos investigadores han estudiado el tema de la estabilización del suelo a lo largo de la historia. Arthur Casagrande fue un pionero en este campo, y su trabajo en la década de 1930 sirvió de impulso para muchos métodos actuales de estabilización de suelos. Casagrande trató las ideas básicas de la mecánica del suelo en su libro de 1948 "Lectures on Soil Mechanics" e hizo hincapié en la importancia de comprender la naturaleza del suelo antes de realizar un esfuerzo para estabilizarlo.

La selección de los materiales estabilizantes es un componente crucial de los estudios más recientes sobre el tema. Terzaghi y Peck enfatizaron la importancia de elegir los materiales estabilizantes adecuados para cada tipo de suelo y proyecto en su publicación de 1973 "Soil Mechanics in Engineering Practice." Estudios más recientes, como el trabajo de Johnson (2017), que examinó la elección de

materiales de estabilización para suelos expansivos en entornos áridos, han corroborado esta teoría.

En respuesta a la sostenibilidad y las preocupaciones ambientales, la estabilización del suelo también ha cambiado. El uso de materiales reciclados para la estabilización de suelos se investiga en el estudio de Kumar y Gupta (2019), que puede disminuir la demanda de recursos naturales y la huella de carbono de la construcción. Con esta estrategia, la estabilización del suelo está en consonancia con los objetivos de desarrollo sostenible.

En términos mecánicos, existen dos formas de estabilización que se describirán a continuación:

Estabilización por compactación: Es una técnica utilizada con frecuencia que se realiza in situ únicamente con maquinaria de compactación. En este mecanismo se utilizan compactadores vibratorios para minimizar las cavidades y proporcionar una capa y una superficie más densas. De este modo se crea una capa más resistente y de mayor soporte. (Viana de Oliveira, 2011)

Ralph R. Proctor fue uno de los primeros científicos en estudiar la compactación del suelo. Proctor introdujo la famosa curva de compactación de Proctor en su obra más importante, "El diseño de presas de tierra", publicada en 1933. En función de la energía de compactación aplicada, esta curva conecta la humedad ideal con el contenido máximo de compactación. Este estudio ofrecía una base fiable para determinar la cantidad adecuada de humedad para la compactación del suelo, y fue ampliamente utilizado en la práctica de la ingeniería civil (Proctor, 1933).

Otro componente importante de la investigación sobre estabilización por compactación es la selección de la maquinaria adecuada. En un estudio realizado por Smith y Brown (2015) examinaron los efectos de varios tipos de compactadores en suelos cohesivos. Sus hallazgos pusieron de relieve la importancia de seleccionar la máquina adecuada para lograr la compactación deseada y evitar futuros problemas en las estructuras erigidas sobre dichos suelos.

Estabilización química. Según Viana de Oliveira (2011), citando a França (2003), la estabilización química consiste en la aplicación de un producto químico estabilizador al suelo para que se mezcle con él y lo estabilice. El cemento, la cal y el cloruro sódico son los materiales más utilizados en este método, que se centra en cambiar las cualidades del suelo mediante efectos físico-químicos sobre la superficie.

La estabilización química, cuyo objetivo es mejorar las propiedades de los suelos mediante la adición de productos químicos, es un método fundamental en ingeniería civil y geotécnica. Este método es crucial para la construcción de carreteras, cimientos de edificios, terraplenes y otros tipos de infraestructuras. Para crear y mejorar los métodos de estabilización química, se han realizado muchos estudios académicos a lo largo de los años.

Terzaghi (1943), fue uno de los primeros investigadores en este campo, y sus trabajos de los años 30 sentaron las bases de muchas de las estrategias actuales de estabilización química. Terzaghi analizó la importancia de comprender las características químicas de los suelos y cómo podrían alterarse para aumentar su estabilidad.

Un componente clave de la investigación contemporánea sobre estabilización química es la selección de los compuestos adecuados. Rivera et al. (2020), evalúan en su artículo varios tipos de productos convencionales y sus efectos en la estabilización de suelos. Su estudio enfatiza lo crucial que es elegir los productos químicos apropiados para cada tipo de suelo y proyecto.

También es importante considerar las limitaciones climáticas en la aplicación de la estabilización química de suelos. Por ejemplo, no se recomienda el uso de estabilizantes en suelos congelados, ya que las condiciones de temperatura afectan negativamente el proceso de reacción química. En este tipo de estabilización, la compactación constituye una etapa crítica del proceso, por ello debe realizarse inmediatamente después del mezclado, con el fin de garantizar que se alcance la densidad requerida antes de que se desarrollen completamente las reacciones químicas del estabilizante. (Hernán de Solminihac et al., 1989)

Estabilización por cambio de granulometría. La estabilización por cambio de granulometría es una técnica de estabilización mecánica que consiste en mezclar el suelo con materiales pétreos, para modificar su distribución granulométrica con el fin de mejorar su resistencia, reducir vacíos y ajustar su plasticidad a rangos adecuados. (Zica, 2010).

La estabilización por cambio granulométrico, un método esencial en ingeniería civil y geotécnica, altera la composición de los granos del suelo para influir en su comportamiento. En este procedimiento, se añaden cuidadosamente al suelo materiales granulares como arena o grava para cambiar la distribución granulométrica y aumentar la resistencia y la capacidad portante del suelo. Las estrategias de estabilización por cambio de granulometría se han desarrollado y

mejorado a lo largo de años de intensa investigación en este campo. (Viana de Oliveira, 2011)

Mezclando el suelo sobre el que se va a construir con uno o más materiales que tengan propiedades complementarias, la estabilización mecánica por cambio de granulometría supone mejorar el suelo para producir un material de mayor calidad en cuanto a plasticidad y granulometría y que satisfaga los requisitos necesarios. La plasticidad y la granulometría son los atributos que se mejorarán con este tipo de estabilización, ya que la primera influye en la susceptibilidad del material al agua y en la capacidad de drenaje y la segunda en su resistencia, trabajabilidad y compactación (Arrivabeni, et al., s. f.).

López Meza (2022), explica que la eficiencia de la estabilización granulométrica radica en lograr un suelo bien graduado. Esto ocurre cuando existe una gran variedad de tamaños de partículas, donde los granos medianos y pequeños llenan los vacíos entre las partículas más grandes. El resultado es un material de gran peso por unidad de volumen y una alta capacidad de soporte.

La posibilidad de realizar la estabilización mecánica in situ o en una instalación de tratamiento de suelos es una de sus ventajas. El proceso es el siguiente:

- Si la operación se realiza in situ, puede implicar tanto la escarificación como la pulverización del suelo, o puede implicar únicamente la pulverización del suelo si el procedimiento se realiza en una instalación de tratamiento del suelo.
- Mezcla homogénea de los componentes: Si se hace in situ, se utiliza una grada de discos, y si se hace en una instalación de tratamiento del suelo, se emplean tolvas dosificadoras.
- Nivelar y extender la mezcla.

-
- Humectación y compactación de la mezcla hasta alcanzar la densidad mínima requerida, normalmente el 95 o el 100% del Proctor modificado, según se especifique en la obra.

2.2.3 Método gráfico para la determinación de proporciones óptimas de mezcla

En los procesos de estabilización por cambio de granulometría es necesario determinar las proporciones adecuadas de los materiales que conformarán la mezcla, con el fin de obtener una distribución de tamaños de partículas que mejore el comportamiento mecánico del suelo. Según Singh y Walia (2014), para este propósito se emplean diversos procedimientos de diseño de mezcla, entre los cuales el método gráfico constituye una herramienta práctica y ampliamente utilizada en ingeniería vial. Este método permite estimar de manera preliminar la proporción óptima entre dos o más materiales a partir del análisis de sus curvas granulométricas, facilitando la obtención de una gradación que se aproxime a una distribución objetivo.

El método gráfico se fundamenta en la teoría lineal de mezclas, la cual establece que la curva granulométrica resultante de la combinación de dos materiales siempre se ubicará entre las curvas granulométricas individuales de dichos materiales. En consecuencia, al representar gráficamente estas curvas es posible interpolar las proporciones de mezcla que permiten alcanzar una distribución de tamaños de partículas que cumpla con los requisitos establecidos por una especificación granulométrica o una gradación ideal (Popovics, 1973).

Entre las variantes del método gráfico utilizadas en ingeniería de pavimentos destaca el denominado método de la carta rectangular o de línea recta, el cual se

caracteriza por su simplicidad y facilidad de aplicación. Este procedimiento consiste en representar en un mismo diagrama las curvas granulométricas de los materiales a combinar, asignando a cada uno de ellos un eje vertical que indica el porcentaje que pasa por los diferentes tamices. Posteriormente, se unen mediante líneas rectas los puntos correspondientes a cada tamaño de tamiz en ambos ejes, lo que permite establecer gráficamente las posibles combinaciones entre los materiales (Lee, 1973).

A partir de este diagrama es posible identificar las proporciones de mezcla que satisfacen los límites granulométricos establecidos en una especificación o gradación objetivo. En este contexto, cualquier línea vertical trazada dentro del área de cumplimiento definida por los límites granulométricos representa una proporción válida de mezcla entre los materiales analizados. El porcentaje de cada componente se obtiene directamente a partir de la posición de dicha línea respecto al eje horizontal del gráfico (Road Research Laboratory, 1950).

Una aplicación ampliamente difundida de este procedimiento es el método desarrollado por el Road Research Laboratory (1950), el cual emplea un diagrama cuadriculado donde se grafican las líneas correspondientes a cada tamiz y se determina la proporción de mezcla que produce una curva granulométrica lo más cercana posible a una gradación ideal, como las propuestas por Fuller o Bolomey. Este enfoque permite lograr una distribución granulométrica continua que favorece el empaquetamiento de partículas y mejora el comportamiento mecánico del material compactado (Mosquera, 2019).

En el contexto de la presente investigación, el método gráfico se emplea como herramienta para determinar las proporciones de mezcla entre el suelo natural y el

material local (lutita), con el propósito de mejorar la gradación del material resultante. La obtención de una distribución granulométrica más equilibrada contribuye a incrementar la densidad del material compactado y, en consecuencia, a mejorar su capacidad portante, evaluada mediante el ensayo CBR.

2.2.4 Material Local

Proponer un nuevo material como solución para la estabilización de suelos, y que sea adecuado para la construcción, supone una disminución de demanda de agregados o materias actualmente utilizadas, lo que también implicaría una reducción en cuanto a los costos en general.

La lutita corresponde a una roca sedimentaria clástica originada por la acumulación y compactación de partículas muy finas de limo y arcilla, proceso que conduce a la consolidación del material en una estructura sólida (Deo, Wood, & Lovell, 1973). De acuerdo con Duque-Escobar (2020), esta litología es considerada una de las rocas sedimentarias más representativas debido a su amplia distribución en la superficie de la corteza terrestre y a su formación en ambientes de baja energía, tales como mares, lagos o lagunas, donde predominan condiciones favorables para la sedimentación de partículas finas.

En el contexto local, Torres et al. (2021), señalan que la zona de estudio presenta una secuencia litológica constituida por limoarcillitas de tonalidad gris oscura a negra, intercaladas con areniscas cuarzosas grises a gris oscuras. Esta intercalación puede alcanzar hasta 2m de espesor y muestra una tendencia estrato-creciente del tamaño de grano. En la sección intermedia se caracteriza por la presencia de lutitas y pizarras gris oscura localmente con contenido de pirita, asimismo, la proximidad a cuerpos intrusivos ha condicionado el desarrollo de

metamorfismo de contacto, resultando en una roca más homogénea de grano fino y un aumento en la proporción de pizarras.

Composición química. Las lutitas contienen una proporción significativa de cuarzo, el cual proporciona una base granular que otorga estabilidad estructural y ayuda a reducir la compresibilidad general del suelo, además la presencia de carbonatos permite que estos minerales actúen como agentes cementantes naturales, lo que incrementa la rigidez del suelo y ayuda a regular su pH. (Yaaton, 1962)

Estas rocas suelen estar formadas principalmente por SiO_2 , Al_2O_3 y Fe_2O_3 , con trazas de K_2O , MgO , TiO_2 y otros óxidos. (Martinefsky, Mocciaro, Irassar, & Tironi, 2023).

En cuanto a la composición mineralógica es variable, dependiendo del yacimiento, a continuación, se presenta una tabla de la composición típica de lutitas:

Tabla 6

Composición mineralógica de la lutita

Mineral	Porcentaje	Influencia en las propiedades del suelo
Minerales de arcilla	50%-59%	Influyen en el índice de plasticidad, compactación, resistencia y estabilidad volumétrica del suelo.
Cuarzo	20%-28%	Proporcionan estabilidad estructural y reduce la compresibilidad en general.
Feldespatos	6%-8%	Contribuyen a la estabilidad química.
Carbonatos	5%-7%	Actúan como agente cementante natural.
Minerales accesorios	< 5%	Actúan como componentes secundarios en la matriz mineral de la roca.

Nota: Valores basados en Yaalon (1962), Blatt & Tracy (1996) y Nurtayev & Yusupov (2025)

CAPÍTULO III:

MATERIALES Y

MÉTODOS

3.1. MATERIALES

3.1.1. PLANOS

- Planos Topográfico
- Planos de Ubicación

3.1.2. Materiales de Campo

- Lampa
- Barreta
- Guantes
- Lentes
- Sacos
- Comba

3.1.3. Materiales de laboratorio

Determinación del contenido de humedad (ASTM D 4944, AASHTO T217)

- Contenedores de humedad de latón o aluminio
- Balanza con una sensibilidad de 0.01 gramos.
- Horno con temperatura a control.

Análisis Granulométrico (ASTM-D422, AASHTO T217)

- Un horno de temperatura controlada.
- Balanza de 10 kilogramos.
- Balanza de 2 kilos de sensibilidad de 0.1 gramos.
- Balanza de 500 gramos de sensibilidad de 0.1 gramos.
- Juego de mallas de tamices
- Vasos o bandejas de aluminio.

Ensayo Proctor Modificado (ASTM-D1557)

- Molde de 150 mm

- Martillo compactador de 50.8 mm de diámetro.
- Probetas graduadas con capacidad de 500 centímetros cúbicos.
- Balanza de capacidad 10 kilogramos con sensibilidad de 5 gramos.
- Balanza de capacidad 1 kilogramo con sensibilidad de 0.01 gramo.
- Horno de temperatura controlada
- Tamices de 50, 20 y 5 mm de abertura

Ensayo de CBR (ASTM-D1883, AASHTO T193)

- Un molde de 9036,6 cm³ con un diámetro de 101,6 milímetro. Este molde tiene una extensión en la parte superior y está fijado a una placa.
- Martillo compactador mecánico
- Taras y bandeja
- Balanza
- Disco espaciador
- Pistón de penetración y papel filtro
- Aparato para medir la expansión
- Máquina de compresión con un pistón de penetración que puede penetrar a una velocidad de 1,27 mm/min

Preparación del material local

- Tamices y mallas
- Comba
- Martillo
- Plástico
- Cuchara metálica

3.2. MÉTODOS

3.2.1. Tipo de Investigación

Según su propósito

La investigación es aplicada, porque fue esencial utilizar conocimientos y saberes de mecánica de suelos para mejorar el índice CBR de una trocha carrozable mediante la adición de lutita para contribuir a la mejora de la calidad de vida de los residentes y ofrecer nuevos conocimientos. (Hernández Sampieri et al., 2018).

3.2.2. Enfoque de la Investigación

El estudio presenta un enfoque cuantitativo, debido a que recopila datos numéricos provenientes de ensayos de laboratorio y los analiza estadísticamente para comprobar la hipótesis planteada (Hernández Sampieri et al., 2018).

3.2.3. Alcance de Investigación

El estudio presenta un alcance explicativo, debido a que busca demostrar el efecto que produce la incorporación de lutita sobre el índice CBR del suelo de subrasante, estableciendo una relación de causa y efecto entre las variables (Hernández Sampieri et al., 2018).

3.2.4. Diseño de investigación

La investigación presenta un diseño cuasi-experimental, debido a que se manipuló la variable independiente (porcentaje de lutita) para evaluar su efecto sobre el índice CBR del suelo de subrasante, sin asignación aleatoria de las unidades experimentales (Hernández Sampieri et al., 2018).

3.2.5. Población

Según Roberto Sampieri et al (2018), la población o universo es el conjunto de todos los elementos o casos que poseen determinadas características sobre las cuales se pretende realizar inferencias, es decir es todo lo que se quiere estudiar. Por lo tanto, la población estuvo conformada por el suelo de subrasante correspondiente a la totalidad de la trocha carrozable Huacaschuque–Puchuvalle, ubicada en el distrito de Huacaschuque, provincia de Pallasca, departamento de Áncash, sobre la cual se desarrolló la presente investigación.

3.2.6. Muestra

La muestra estuvo constituida por el suelo obtenido mediante tres calicatas distribuidas a lo largo de la trocha carrozable Huacaschuque–Puchuvalle, ubicadas conforme a los criterios establecidos por el Manual de Carreteras del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC, 2014)

De acuerdo con el Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos del MTC, para carreteras de bajo volumen de tránsito se debe ejecutar como mínimo una calicata por kilómetro lineal, con una profundidad referencial de 1,50 m medida desde el nivel de subrasante del proyecto (Ministerio de Transportes y Comunicaciones [MTC], 2014, p. 26).

En concordancia con dicho lineamiento técnico, en el presente estudio se excavaron tres calicatas distribuidas longitudinalmente y de manera alternada a lo largo del tramo en evaluación, esta distribución permitió obtener muestras representativas del perfil estratigráfico y caracterizar sus propiedades físicas y mecánicas para el correspondiente análisis geotécnico.

Tabla 7*Coordenadas UTM de las calicatas*

Punto	Este (m)	Norte (m)	Elevación (m.s.n.m.)	Profundidad (m)
C-1	829947.72	9079893.4	2930.60	1.40
C-2	830178.03	9080019.5	2966.50	1.56
C-3	830064.59	9080283.60	3091.10	1.50

Criterios de Inclusión:

Según Fidas G. Arias (2012) son las condiciones que deben reunir los elementos para ser incorporados al estudio. En este estudio, los criterios de inclusión son los siguientes:

- Suelo perteneciente a la trocha carrozable Huacaschuque–Puchuvalle.
- Suelo correspondiente a la subrasante de la vía.
- Sectores donde fue posible ejecutar calicatas conforme al Manual de Carreteras.
- Muestras representativas aptas para la ejecución de ensayos geotécnicos.

Criterios de Exclusión:

Según Fidas G. Arias (2012) son las características que hacen que una unidad no pueda ser estudiada. En este estudio, los criterios de inclusión son los siguientes:

- Suelos ubicados fuera del tramo de estudio.
- Materiales de préstamo o rellenos ajenos a la subrasante natural.
- Muestras contaminadas, alteradas o insuficientes para los ensayos de laboratorio.
- Sectores donde las condiciones del terreno impidieron la exploración.

3.2.7. Variables y Operacionalización

Definición de variables

- **Variable Independiente**

Material Local

El material local a utilizar es la Lutita, roca sedimentaria clástica, formada principalmente por partículas de limo y arcilla. Se origina a partir de procesos de deposición, compactación y litificación que ocurren en ambientes de baja energía. (Deo, Wood & Lovell, 1973)

- **Variable Dependiente**

Índice CBR de la Trocha Carrozable Huacaschuque-Puchuvalle

El índice CBR es un método utilizado para medir la resistencia y capacidad portante de una estructura (Day, 2008).

Operacionalización de variables

- **Variable Independiente**

Material Local (lutita)

Se trituró el material local (lutita), de forma manual, de modo que el tamaño de los fragmentos obtenidos sea menor al tamiz de 1", y obtener una granulometría adecuada, para su incorporación al suelo de la trocha. Posteriormente se realizó la granulometría para calcular los porcentajes necesarios a adicionar a las muestras a estabilizar.

- **Variable Dependiente**

Índice CBR de la Trocha Carrozable Huacaschuque-Puchuvalle

Se determinó el índice CBR mediante ensayos de laboratorio siguiendo la norma ASTM D1883 o especificaciones técnicas locales equivalentes, con el objetivo de cuantificar la capacidad portante del suelo antes y después adición en 25%, 30% y 50% de lutita.

3.2.8. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Técnicas

Para la recolección de datos se utilizó la técnica de observación sistemática regulada o controlada, pues se hizo visitas al lugar de estudio para recolectar muestras y luego conocer sus propiedades físicas y mecánicas.

Para el procesamiento de datos se utilizaron técnicas de campo, la información recopilada sobre el terreno nos ayudó a categorizar los suelos utilizando las metodologías SUCCS y AASTHO, así como las pruebas de laboratorio pertinentes, como los límites de Atterberg, el Proctor Modificado y el CBR. El uso de los conocimientos descritos anteriormente permitió realizar el análisis de los datos y utilizando los conocimientos mencionados, fue posible analizar los datos recogidos y alcanzar los objetivos fijados y posteriormente llegar a conclusiones concretas y formular recomendaciones.

Instrumentos

Los instrumentos que se utilizaron son fichas técnicas, en ellas se registraron la información de los estudios de mecánica de suelos realizados en el laboratorio. Los formatos fueron elaborados siguiendo las especificaciones de las normas A.S.T.M, M.T.C y N.T.P.

- Ficha Técnica Para Ensayo De Contenido de Humedad (MTC E 108) (NTP 339.127)
- Ficha técnica para determinar los límites de consistencia (M.T.C. E 110) (N.T.P. 339.129) (M.T.C. E 111)
- Ficha técnica para análisis de granulometría con tamices (M.T.C. E 107) (N.T.P.339.128) (A.S.T.M. D 422).
- Ficha técnica para el ensayo de Proctor modificado (M.T.C 115) (N.T.P.339.141)
- Ficha técnica para el valor de soporte relativo C.B.R. (A.S.T.M. - D1883) (M.T.C. E 132) (N.T.P.339.145)
- Ficha técnica para determinar la densidad In situ mediante el método de cono de arena (MTC E 117) (ASTM D 1556-15)

Procedimiento de la recolección de datos

La recolección de datos se estructuró en función del objetivo principal de la presente investigación, orientado a evaluar la variación del Índice CBR del suelo de la trocha carrozable Huacaschuque – Puchuvalle mediante la incorporación de material local, lutita. El procedimiento comprendió actividades secuenciales de campo y laboratorio, diseñadas para caracterizar el suelo natural, definir y preparar las mezclas suelo–lutita, determinar los parámetros de compactación, evaluar la capacidad portante mediante el ensayo CBR y por último verificar el comportamiento del material compactado en un terraplén de prueba.

Todos los ensayos fueron ejecutados conforme a las normas ASTM vigentes y a las Especificaciones Técnicas Generales del MTC.

Reconocimiento y extracción de muestras

Se realizó el reconocimiento preliminar del tramo correspondiente a la trocha carrozable Huacaschuque – Puchuvalle, con el propósito de identificar sectores representativos del terreno natural.

Se ejecutó la extracción de las muestras siguiendo la planificación establecida en la sección 3.2.6, las calicatas fueron excavadas hasta la profundidad referencial, obteniéndose muestras representativas en estado natural, las cuales fueron debidamente identificadas, selladas y trasladadas al Laboratorio de Mecánica de Suelos de la Universidad Nacional del Santa, procurando conservar su contenido de humedad original y evitar alteraciones en su estructura.

Paralelamente, se identificó y delimitó la zona de extracción del material local, es decir, la roca lutita, registrándose sus características generales y ubicación para su posterior procesamiento.

La localización de la zona de extracción fue determinada mediante coordenadas UTM, las cuales se presentan en la Tabla 8

Tabla 8

Coordenadas UTM de zona de extracción del material local

Punto	Este (m)	Norte (m)	Elevación (m.s.n.m).
ML-1	169763.10	9080815.69	3178.40

Ensayos de caracterización del suelo natural

Las muestras de suelo en estado natural fueron sometidas a ensayos de caracterización física, con el propósito de determinar sus propiedades índice y clasificación. Se realizaron los siguientes ensayos:

- a. Determinación del contenido de humedad natural, conforme a ASTM D2216.
- b. Determinación de los límites de consistencia (límite líquido y límite plástico), según ASTM D4318.
- c. Análisis granulométrico por tamizado, de acuerdo con ASTM D6913.

Estos procedimientos permitieron establecer la distribución de tamaños de partículas y el comportamiento plástico del material, necesarios para su clasificación y evaluación como material de subrasante.

Preparación y caracterización del material local

La roca lutita extraída fue sometida a trituración mecánica hasta alcanzar un tamaño máximo nominal de 1". Posteriormente, se realizó el análisis granulométrico por tamizado con el fin de determinar su distribución de partículas.

Con las curvas granulométricas obtenidas tanto del suelo natural como del material triturado, se aplicó el método gráfico de combinación de agregados para mezclas binarias. A partir de la superposición de curvas y del ajuste dentro de la franja granulométrica objetivo, se determinó para cada muestra un intervalo porcentual técnicamente viable de incorporación de lutita, dentro del cual la mezcla cumplía con los límites granulométricos establecidos.

Debido a que el método proporciona un rango admisible y no un valor único, se seleccionó un porcentaje representativo dentro de cada intervalo, considerando criterios de equilibrio granulométrico, factibilidad constructiva y estabilidad volumétrica de la mezcla.

Las proporciones finalmente evaluadas se presentan en la Tabla 9:

Tabla 9

Proporciones de mezcla suelo natural–lutita para la evaluación del CBR

Mezcla	Suelo Natural (%)	Lutita (%)	Nomenclatura
M-P	100	0	C-P
M-1	70	30	C-01+30%L
M-2	50	50	C-02+50%L
M-3	75	25	C-03+25%L

Ensayo de compactación

Se efectuó el ensayo de compactación Proctor Modificado conforme a ASTM D1557, con el objetivo de determinar la máxima densidad seca (MDS) y el óptimo contenido de humedad (OCH) del suelo natural. Estos parámetros fueron utilizados como referencia para la preparación de las probetas destinadas al ensayo CBR.

Ensayo California Bearing Ratio (CBR)

La determinación del índice CBR se realizó conforme a ASTM D1883 y las especificaciones del MTC. El ensayo se aplicó tanto al suelo natural como a las mezclas suelo–lutitas previamente definidas.

Las muestras fueron preparadas empleando el contenido óptimo de humedad determinado en el ensayo Proctor y compactadas en moldes CBR en tres capas, aplicando diferentes niveles de energía de compactación (12, 26 y 56 golpes por capa).

Posteriormente, las probetas fueron sometidas a un período de inmersión de cuatro días, durante el cual se registró la expansión mediante dispositivo de medición. Finalizado el período de saturación, se procedió a la aplicación de carga a través del pistón de penetración, registrándose la relación carga–penetración para la determinación del valor CBR correspondiente.

El procedimiento descrito fue repetido para cada proporción de mezcla evaluada, permitiendo comparar la variación de la capacidad portante en función del porcentaje de adición de lutita.

Verificación del grado de compactación en terraplén de prueba

Con el propósito de validar en campo el comportamiento de la mezcla suelo–lutita seleccionada, se ejecutó un terraplén de prueba empleando el contenido óptimo de humedad determinado mediante el ensayo Proctor Modificado (ASTM D1557).

El grado de compactación fue verificado mediante el método del cono de arena, conforme a ASTM D1556 y a las Especificaciones Técnicas Generales del MTC. El ensayo permitió determinar la densidad seca de campo y compararla con la máxima densidad seca obtenida en laboratorio

Los resultados obtenidos fueron evaluados mediante el porcentaje de compactación, comprobando que el material mejorado alcanzara los niveles exigidos por las especificaciones técnicas para su aplicación en la subrasante de la vía.

Técnicas de procesamiento y análisis de los resultados

Para el procesamiento y análisis de los datos se empleó estadística descriptiva e inferencial. La estadística descriptiva permitió organizar y presentar los resultados mediante tablas, gráficos y medidas resumidas de los ensayos de laboratorio. Por su parte, la estadística inferencial se utilizó para contrastar la hipótesis de investigación mediante la prueba no paramétrica de Wilcoxon para muestras relacionadas, debido al reducido tamaño de la muestra y a la comparación de mediciones obtenidas antes y después de la incorporación de lutita.

Diseño de contrastación de la hipótesis

Hipótesis estadística.

Con la finalidad de determinar la influencia de la adición de lutita en el índice CBR del suelo de la Trocha Carrozable Huacaschuque–Puchuvalle, ubicada en la provincia de Pallasca, región Áncash, se formularon las siguientes hipótesis estadísticas:

Hipótesis nula (H_0):

La adición de lutita no mejora significativamente el índice CBR del suelo.

$$H_0: \mu \leq 0$$

Hipótesis alternativa (H_1):

La adición de lutita mejora significativamente el índice CBR del suelo.

$$H_1: \mu > 0$$

Donde:

μ = Mediana de las diferencias entre el CBR del suelo mejorado y el suelo natural.

Se adoptó un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$

Para realizar la contrastación de hipótesis en primer lugar, debemos elegir el estadístico de prueba, esto quiere decir, que la hipótesis es de tipo estadístico en el cual se usa una función de distribución para poder evaluar la viabilidad de las afirmaciones e ideas ofrecidas.

- Identificar claramente la hipótesis: la hipótesis de trabajo es de tipo estadístico, donde se relacionan dos variables.
- Diseño del estudio y recopilación de datos: Se elabora un plan para su investigación que describa cómo recopilará información para confirmar o negar su hipótesis. Esto implica hacer ensayos con la muestra de suelo de la trocha carrozable y los mismos ensayos adicionando material local.
- Análisis Estadísticos: para evaluar los datos obtenidos en laboratorio y determinar si se rechaza o no la hipótesis nula, se aplica con los resultados obtenidos, prueba de rangos de signo de Wilcoxon.

CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. RESULTADOS

4.1.1. Propiedades físicas de la lutita

Se realizó el análisis granulométrico de la lutita triturada con el fin de determinar la distribución de tamaños de partículas del material. Los resultados obtenidos se presentan en la Figura 11:

Figura 4

Curva granulométrica Material Local (Lutita) ML-1

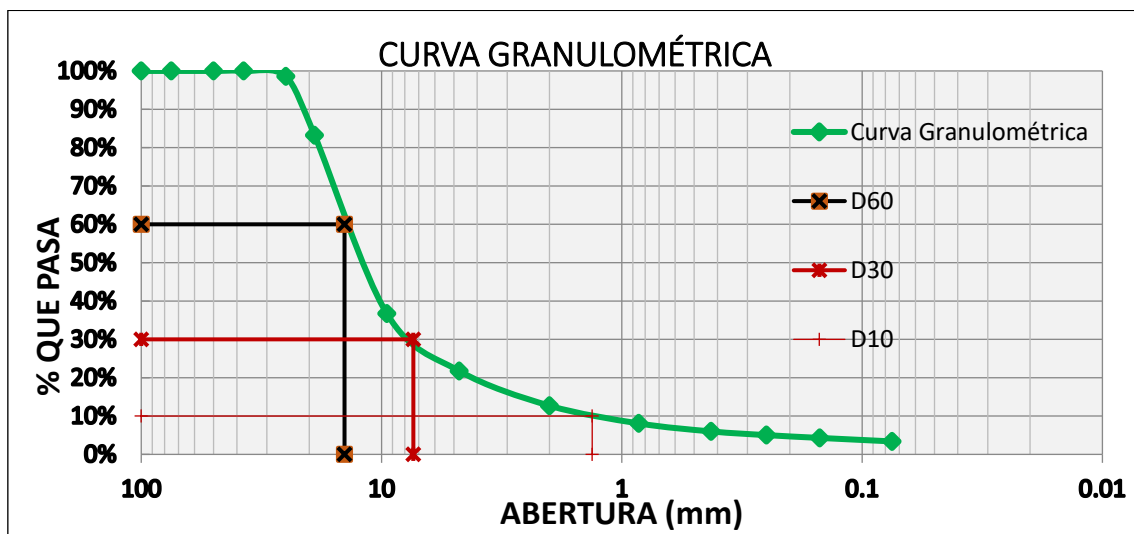
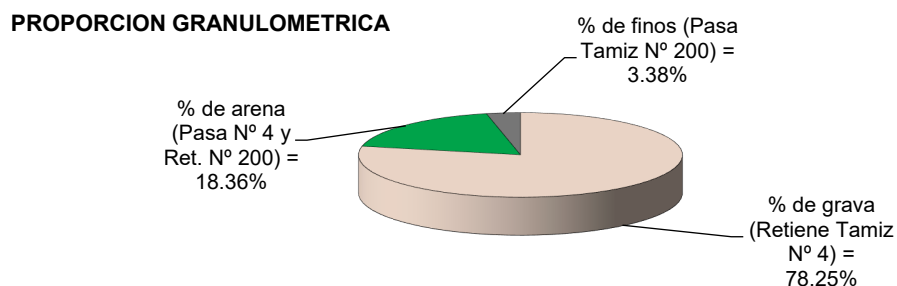


Figura 5

Proporción granulométrica Material Local (Lutita) ML-1



A partir de la curva granulométrica, se determinaron los coeficientes de uniformidad ($C_u = 10.73$) y curvatura ($C_c = 2.869$), los cuales indican que el material presenta una gradación continua. Asimismo, el porcentaje de finos

es bajo (3.38%), lo que permite clasificar según la norma ASTM D-2487 más del 50% de la fracción gruesa es retenida en la malla N°4 y menos del 5% pasa la malla N°200, se clasifica como una grava bien graduada (GW) y según AASHTO M-145, el máximo de material que pasa en la malla N°200 es menor al 15% , los porcentajes que pasan en los tamices N°40 y N°10 son menores a 30% y 50% respectivamente, también no presenta límite líquido ni límite plástico, por lo que el índice de grupo es cero, se clasifica como un A-1-a(0)

4.1.2. Propiedades físicas y mecánicas del suelo natural

Análisis Granulométrico

Figura 6

Curva granulométrica Calicata C-01

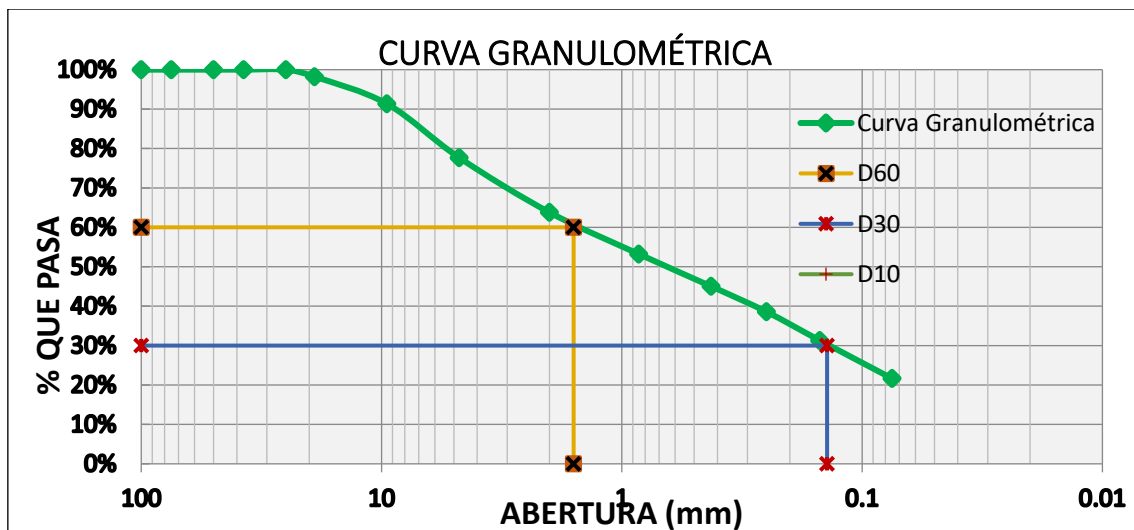
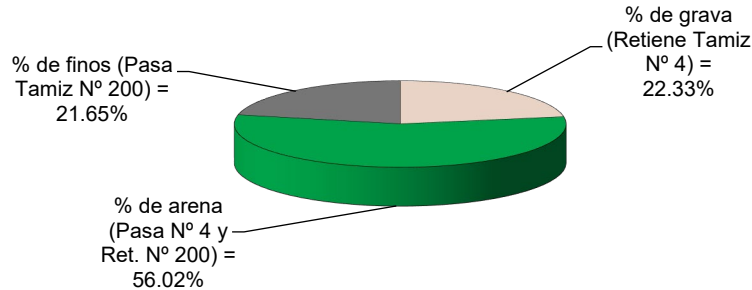


Figura 7

Proporción granulométrica Calicata C-01

PROPORCION GRANULOMETRICA



El gráfico muestra el predominio de la fracción arenosa, siendo 56.02% seguido de grava, 22.33% y 21.65% de finos, no presenta coeficiente de uniformidad ni coeficiente de curvatura, según la norma ASTM D-2487 mas del 50% de la fracción pasa la malla N°4 y mas del 12% pasa la malla N°200, se clasifica como una Arena Limosa (SM) y según AASHTO M-145, el máximo de material que pasa en la malla N°200 es menor al 35% y no presente límite líquido ni límite plástico, por lo que el índice de grupo es cero, se clasifica como un A-2-4.

Figura 8

Curva granulométrica Calicata C-02

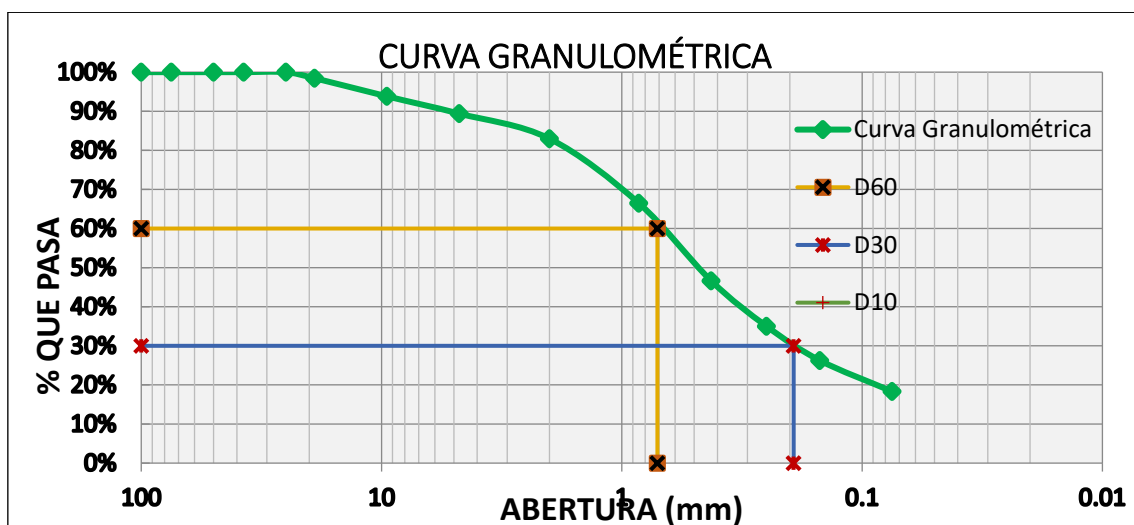
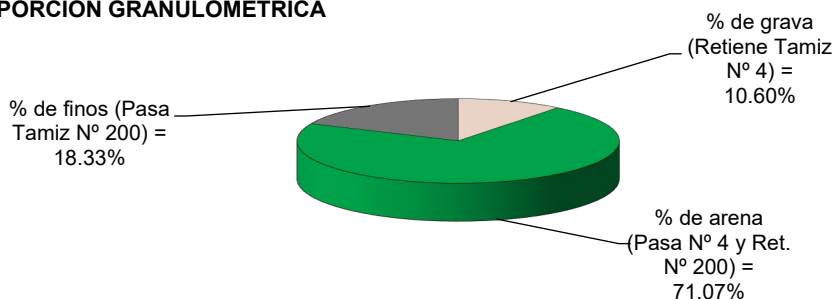


Figura 9

Proporción granulométrica Calicata C-02

PROPORCION GRANULOMETRICA



Se observa que la muestra está compuesta por 71.07% de arena, 10.60% de grava y 18.33% de finos. Aunque se han determinado los diámetros característicos D30 y D60 a partir de la curva granulométrica, no es posible identificar el diámetro efectivo D10, por lo que no se pueden calcular los coeficientes de uniformidad ni de curvatura. La norma ASTM D-2487 más del 50% de la fracción pasa la malla N°4, más del 12% pasa la malla N°200 y el índice de plasticidad esta entre 4 y 7, se clasifica como una Arena Limosa Arcillosa (SC-SM) y según AASHTO M-145, el máximo de material que pasa en la malla N°200 es menor al 35% y presenta limite líquido menor a 40% (LL=23.6%) y el índice de plasticidad es menor al 10% (IP=5%), pero el índice de grupo es 0, se clasifica como un A-2-4.

Figura 10

Curva granulométrica Calicata C-03

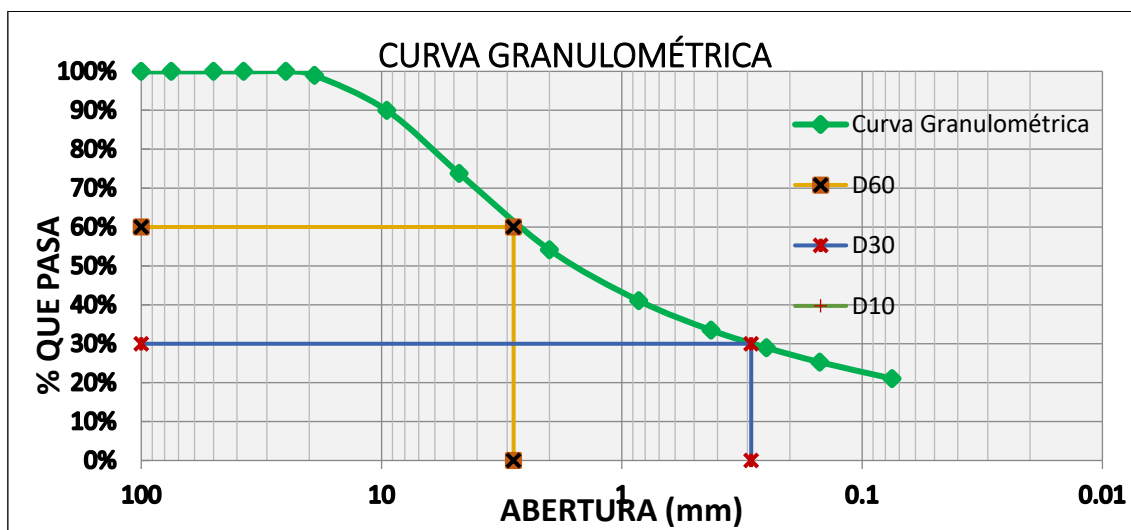
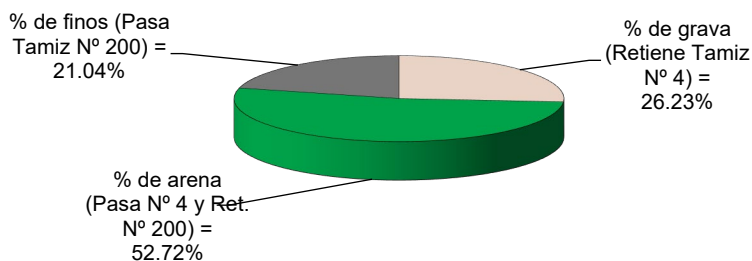


Figura 11

Proporción granulométrica Calicata C-03

PROPORCION GRANULOMETRICA



Se observa que el 52.72% corresponde a arena, el 26.23% a grava y el 21.04% a finos, lo que indica un suelo de naturaleza predominantemente granular con contenido considerable de partículas finas, al igual que en las calicatas C-01 y C-02, no presenta coeficiente de uniformidad y curvatura. Según la norma ASTM D-2487 más del 50% de la fracción pasa la malla N°4 y más del 12% pasa la malla N°200, se clasifica como una Arena Limosa (SM) y según AASHTO M-145, el máximo de material que pasa en la malla N°200 es

menor al 35% y no presente límite líquido ni límite plástico, por lo que el índice de grupo es cero, se clasifica como un A-2-4.

Contenido de humedad

Tabla 10

Resultados contenido de humedad

Calicata N°	Contenido de humedad
C-01	9.31%
C-02	5.30%
C-03	8.19%

Se distingue en la tabla que la humedad natural de las muestras presenta una variación moderada, siendo mayor en las calicatas C-01 (9.31%) y C-03 (8.19%). Por el contrario, la calicata C-02 registra el valor más bajo con un 5.30%. Esta oscilación en el estado hídrico natural del terreno está directamente influenciada por las condiciones topográficas, de drenaje y de exposición climática específicas de cada punto de muestreo al momento de la exploración en campo, debido a que la extracción se hizo en temporada seca.

Límites de Atterberg

Tabla 11

Resultados límites de Atterberg

Calicata N°	Límite Líquido (%)	Límite Plástico (%)	Índice de Plasticidad
C-01	NP	NP	NP
C-02	24	19	5
C-03	NP	NP	NP

De acuerdo a los resultados obtenidos, las calicatas C-01 y C-03 no presentan índice plasticidad, lo que indica la ausencia o muy baja presencia de finos cohesivos, mientras que la calicata C-02 presenta límite líquido de 24% y límite plástico de 19%, dando como resultado un índice de plasticidad igual a 5%. Conforme a la clasificación de consistencia de Atterberg, un valor de IP inferior a 7% sitúa a esta fracción fina del suelo de la subrasante en un rango de baja plasticidad, lo que indica que posee una reducida susceptibilidad a los cambios volumétricos ante variaciones en el contenido de agua.

Clasificación del suelo

Tabla 12

Clasificación de las muestras de suelo

Calicata N°	SUCS	AASHTO
C-01	SM	A-2-4 (0)
C-02	SC-SM	A-2-4 (0)
C-03	SM	A-2-4 (0)

Según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), las calicatas C-01 y C-03 clasifican como SM (Arena limosa), lo que indica texturas de grano grueso con un porcentaje de finos de baja o nula plasticidad que actúan como ligante natural sin generar inestabilidad por humedad. Por su parte, la calicata C-02 se clasifica como SC-SM (Arena arcillosa-limosa) debido a la ligera presencia de arcilla activa que le confiere una plasticidad marginal (IP =5%). Al evaluar las muestras bajo el sistema de la AASHTO, los tres puntos evaluados clasifican de manera homogénea como A-2-4 (0), definido como suelo granular constituido por arenas limosas o arcillosas con grava. El Índice

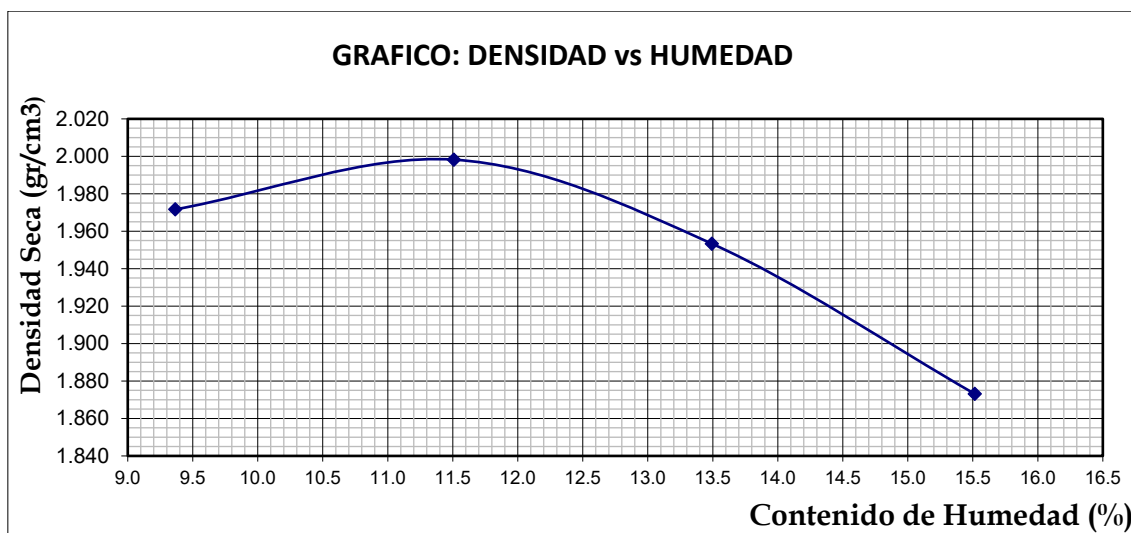
de Grupo de cero (0) en todas las calicatas confirma rigurosamente que el terreno natural se comporta de manera "excelente a buena" como suelo de fundación de pavimentos, garantizando una base inicial estable sobre la cual proyectar la estructura de la trocha.

Proctor Modificado del suelo natural

A continuación, se muestran los resultados obtenidos del ensayo Proctor modificado, realizados a las muestras en estado natural.

Figura 12

Gráfico de Curva de Compactación C-01

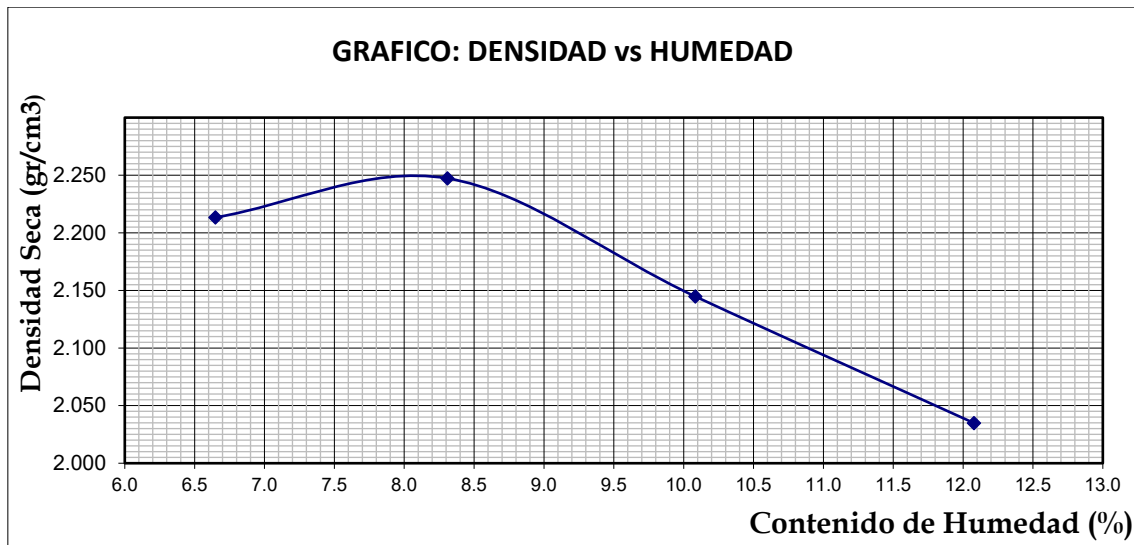


Se presenta la curva de compactación obtenida mediante el ensayo Proctor Modificado (ASTM D1557) para el suelo natural de la calicata C-01. El comportamiento gráfico muestra la parábola característica de la relación humedad-densidad, determinando de forma precisa una Máxima Densidad Seca (MDS) de 1.999 g/cm³ asociada a un óptimo contenido de humedad (OCH) de 11.36%. Este resultado es típico de los suelos clasificados como arenas limosas (SM), en los cuales la ausencia de finos altamente plásticos y

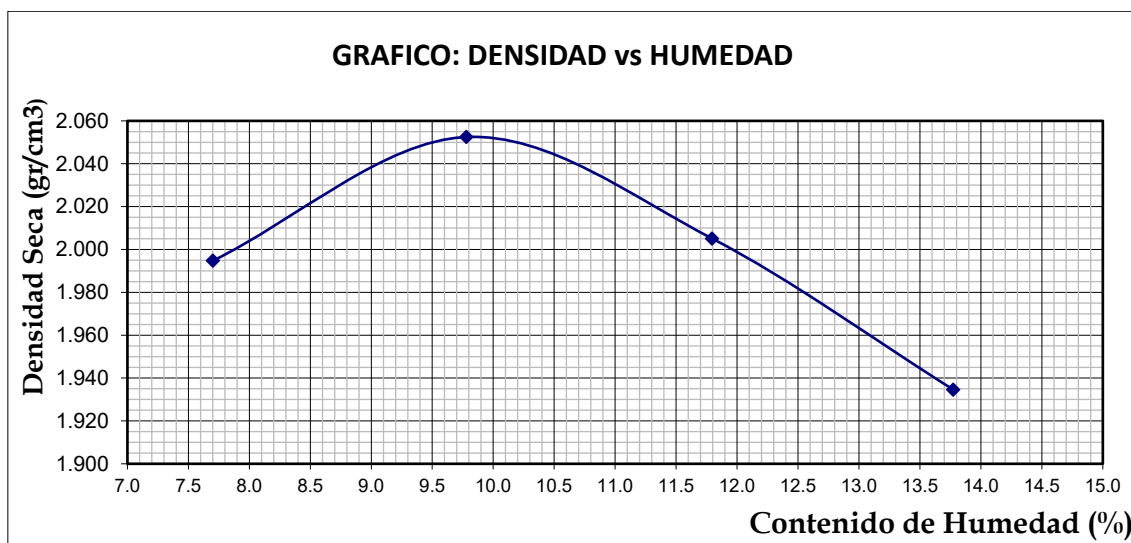
cohesivos requiere de un aporte de humedad moderado (11.36%) para romper la tensión capilar entre las partículas de arena y facilitar su reacomodo mecánico.

Figura 13

Gráfico de Curva de Compactación C-02



La curva de compactación del ensayo Proctor Modificado (ASTM D1557) para el suelo de la calicata C-02. Los resultados arrojan una Máxima Densidad Seca (MDS) de 2.085 g/cm³ con un Óptimo Contenido de Humedad (OCH) de 8.10%. Este comportamiento mecánico, caracterizado por una densidad notablemente alta y una baja humedad, es consecuencia directa de la presencia de finos con actividad plástica marginal (IP = 5%). A diferencia de los suelos puramente granulares, la fracción arcillosa en este espécimen actúa como un agente ligante que, bajo la energía de compactación dinámica, lubrica el reacomodo de los granos de arena y grava, permitiendo alcanzar un empaquetamiento más denso con un menor volumen de agua.

Figura 14
Gráfico de Curva de Compactación C-03


Se presenta la curva de compactación obtenida mediante el ensayo Proctor Modificado (ASTM D1557) para el suelo natural de la calicata C-03. El comportamiento gráfico muestra la parábola característica de la relación humedad-densidad, determinando de forma precisa una Máxima Densidad Seca (MDS) de 2.053 g/cm³ asociada a un óptimo contenido de humedad (OCH) de 9.87%. Este resultado es típico de los suelos clasificados como arenas limosas (SM), en los cuales la ausencia de finos altamente plásticos y cohesivos requiere de un aporte de humedad moderado (9.87%) para romper la tensión capilar entre las partículas de arena y facilitar su reacomodo mecánico.

Ensayo CBR del suelo natural

A continuación, se muestran los resultados obtenidos del ensayo CBR, realizados a las muestras en estado natural.

Tabla 13*Resultado del CBR del suelo natural*

	C-01	C-02	C-03
CBR 1" 100%	17.00	14.80	19.50
CBR 1" 95%	13.70	10.50	14.60

Se presenta los resultados del ensayo CBR del suelo natural correspondiente a las calicatas C-01, C-02 y C-03, determinados al 95 % y 100 % de la Máxima Densidad Seca (MDS). Se observa que, al 95 % de la MDS, los valores obtenidos fueron 13.70 %, 10.50 % y 14.60 %, respectivamente; mientras que al 100 % de la MDS se registraron valores de 17.00 %, 14.80 % y 19.50 %.

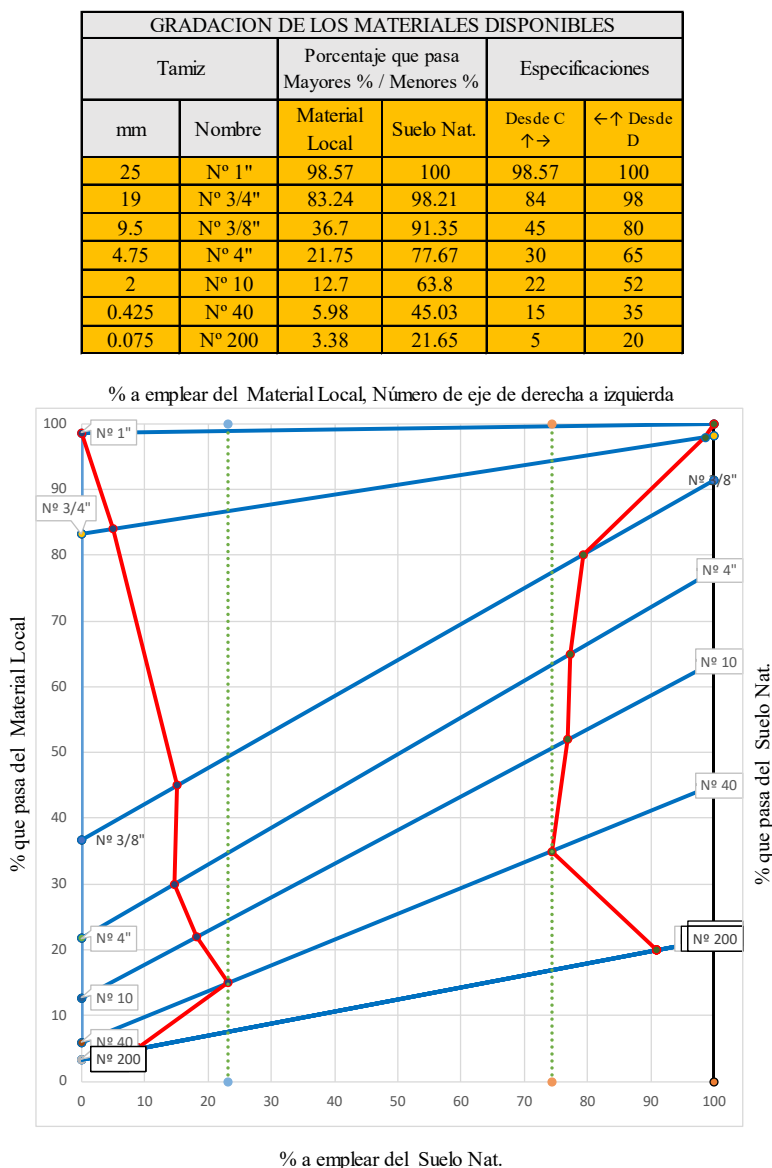
De acuerdo con el Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos (MTC, 2014), el diseño debe considerar el valor de CBR determinado al 95 % de la Máxima Densidad Seca, por representar la condición de compactación exigida durante la construcción de la subrasante. En ese sentido, para la presente investigación se consideran como representativos los valores de 13.70 %, 10.50 % y 14.60 %.

4.1.3. Porcentaje de adición de la lutita en el suelo natural.

Se aplicó el método gráfico de combinación de agregados con la finalidad de determinar los porcentajes de adición de lutita triturada para cada una de las calicatas. A continuación, los cuadros y graficas obtenidas.

Figura 15

Determinación del porcentaje de adición de la calicata C-01

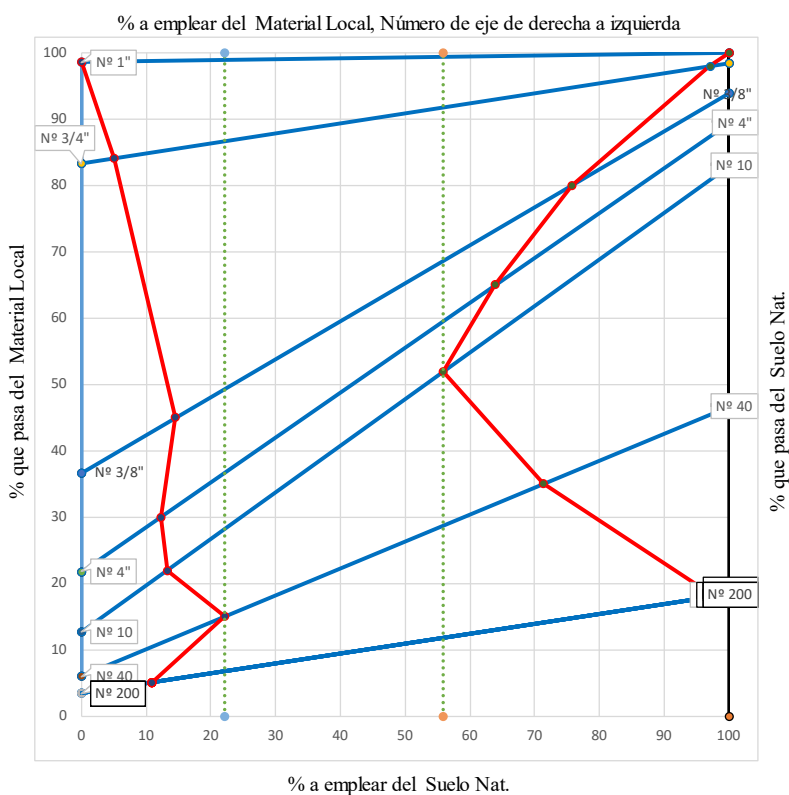


El método gráfico, combina el suelo natural de la calicata C-01 con la piedra lutita triturada manualmente (ML-1) con intervalos de porcentajes para un mejoramiento A-1 dados en la norma “Especificaciones Técnicas Generales Para la Construcción” (MTC EG-2013). Se determinó mediante la gráfica, que el porcentaje para un mejoramiento es un 30%, se optó por este valor, por consideraciones prácticas siendo el mas cercano al mínimo para un mejoramiento, inferior a ese valor, teóricamente no mejoraría el suelo.

Figura 16

Determinación del porcentaje de adición de la calicata C-02

GRADACION DE LOS MATERIALES DISPONIBLES					
Tamiz		Porcentaje que pasa Mayores % / Menores %		Especificaciones	
mm	Nombre	Material Local	Suelo Nat.	Desde C $\rightarrow$	$\leftarrow$ Desde D
25	Nº 1"	98.57	100	98.57	100
19	Nº 3/4"	83.24	98.45	84	98
9.5	Nº 3/8"	36.7	93.81	45	80
4.75	Nº 4"	21.75	89.4	30	65
2	Nº 10	12.7	82.98	22	52
0.425	Nº 40	5.98	46.65	15	35
0.075	Nº 200	3.38	18.33	5	18

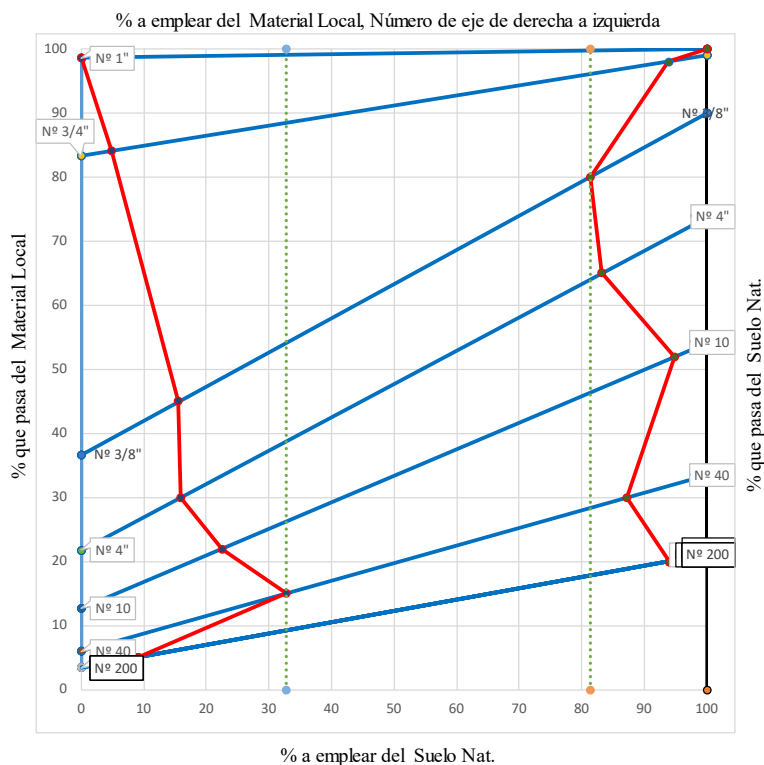


El método gráfico, combina el suelo natural de la calicata C-02 con la piedra lutita triturada manualmente (ML-1) con intervalos de porcentajes para un mejoramiento A-1 dados en la norma “Especificaciones Técnicas Generales Para la Construcción” (MTC EG-2013). Se determinó mediante la gráfica, que el porcentaje para un mejoramiento es un 50%, se optó por este valor, por consideraciones prácticas siendo el más cercano al mínimo para un mejoramiento.

Figura 17

Determinación del porcentaje de adición de la calicata C-03

GRADACION DE LOS MATERIALES DISPONIBLES					
Tamiz		Porcentaje que pasa Mayores % / Menores %		Especificaciones	
mm	Nombre	Material Local	Suelo Nat.	Desde C ↑ →	← ↑ Desde D
25	Nº 1"	98.57	100	98.57	100
19	Nº 3/4"	83.24	98.97	84	98
9.5	Nº 3/8"	36.7	89.96	45	80
4.75	Nº 4"	21.75	73.77	30	65
2	Nº 10	12.7	54.14	22	52
0.425	Nº 40	5.98	33.49	15	30
0.075	Nº 200	3.38	21.04	5	20



El método gráfico, combina el suelo natural de la calicata C-03 con la piedra lutita triturada manualmente (ML-1) con intervalos de porcentajes para un mejoramiento A-1 dados en la norma “Especificaciones Técnicas Generales Para la Construcción” (MTC EG-2013). Se determinó mediante la gráfica, que el porcentaje para un mejoramiento es un 25%, se optó por este valor, por consideraciones prácticas siendo el más cercano al mínimo para un mejoramiento, inferior a ese valor, teóricamente no mejoraría el suelo.

Tabla 14*Resultados proporciones de mezcla*

Mezcla	Suelo Natural (%)	Lutita (%)	Nomenclatura
M-1	70	30	C-01+30%L
M-2	50	50	C-02+50%L
M-3	75	25	C-03+25%L

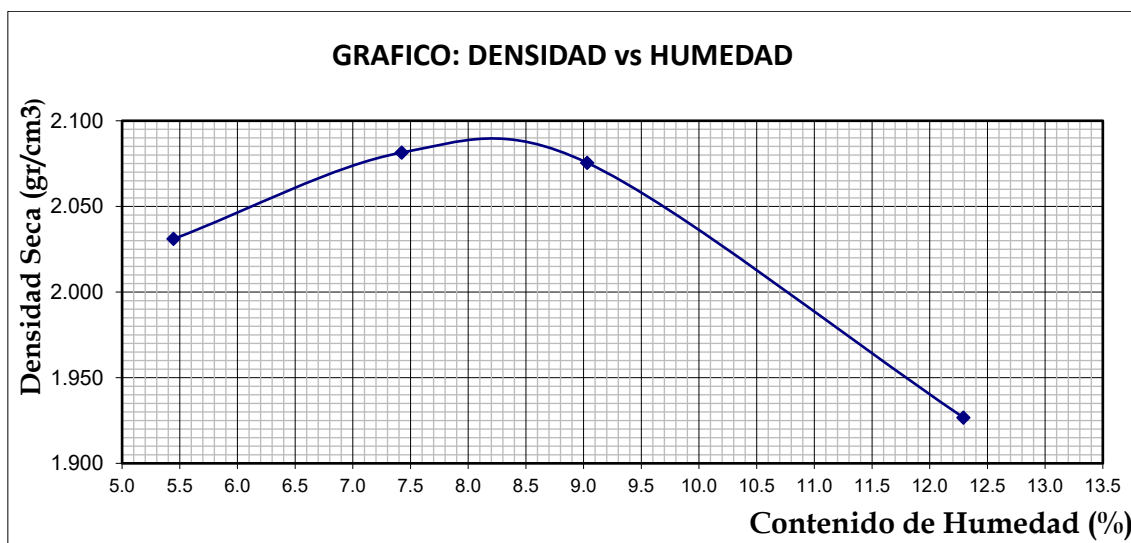
Se detallan las proporciones óptimas de diseño para las mezclas binarias de suelo natural y lutita triturada manualmente, obtenidas de manera personalizada para cada calicata mediante el método gráfico de combinación de agregados. La variación de estos porcentajes responde directamente a las deficiencias granulométricas individuales de cada sector; en particular, la calicata C-02, que requirió la mayor adición de lutita (50%) debido a que su estado natural presentaba un déficit crítico de material granular (solo 10.60% de grava). Con este diseño de mezclas diferenciado, se asegura que todas las combinaciones resultantes corrijan sus vacíos estructurales y se ubiquen de forma homogénea y continua dentro de las especificaciones del MTC para subrasantes.

4.1.4. Mejoramiento del índice CBR con adición de lutita

Proctor Modificado del suelo mejorado

Figura 18

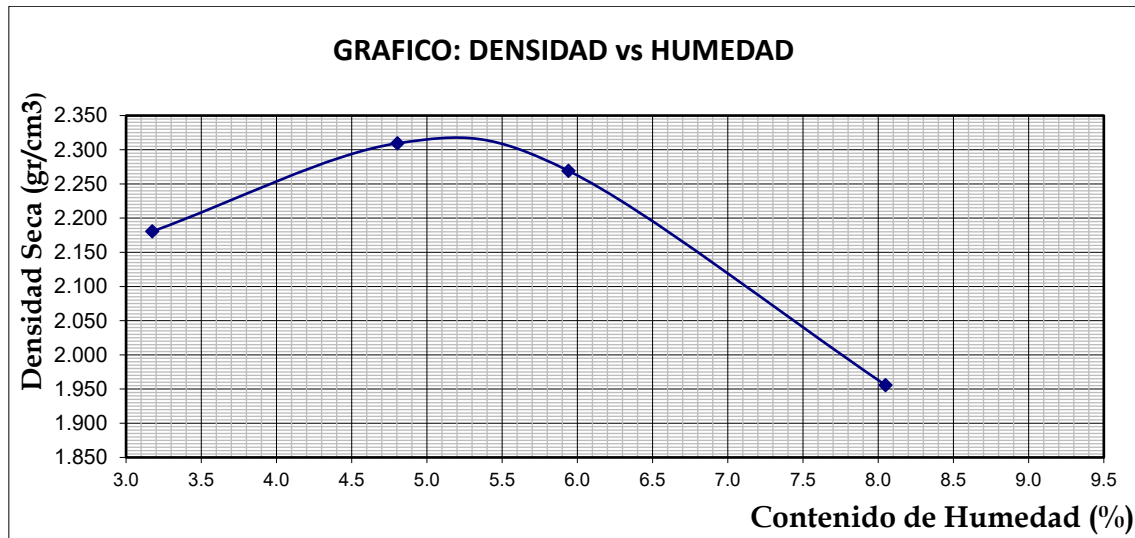
Gráfico de Curva de Compactación C-01+30%L



La curva de compactación obtenida para el suelo mejorado de la calicata C-01, compuesto por la mezcla de dos suelos de 70% suelo natural y 30% lutita triturada. Tras la estabilización granulométrica, el material alcanza una Máxima Densidad Seca (MDS) de 2.09 g/cm³ y un Óptimo Contenido de Humedad (OCH) de 8.20%. Al comparar estos resultados con los del suelo natural (MDS = 1.999 g/cm³ y OCH = 11.36%), se evidencia una mejora sustancial en el comportamiento mecánico del material: el incremento en la densidad seca (+4.5%) y la reducción en la demanda de agua para la compactación confirman la eficacia del material granular aportado por la lutita.

Figura 19

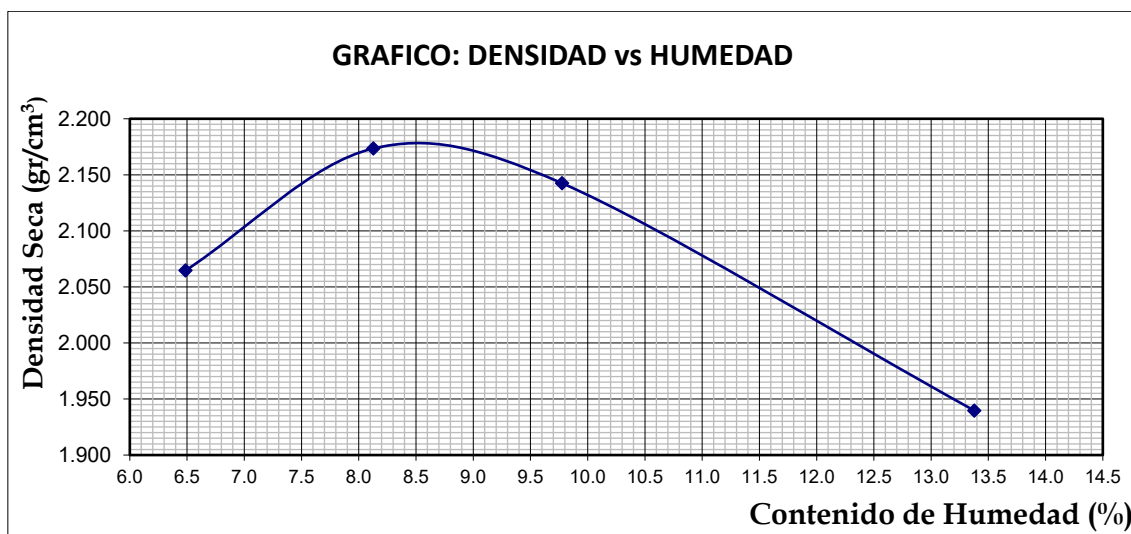
Gráfico de Curva de Compactación C-02+50%L



La curva de compactación obtenida mediante el ensayo Proctor Modificado (ASTM D1557) para la mezcla optimizada de la calicata C-02 con 50% de adición de lutita, determina una Máxima Densidad Seca (MDS) de 2.32 g/cm³ y un Óptimo Contenido de Humedad (OCH) de 5.20%. Al contrastar estos resultados con los del suelo natural (MDS = 2.085 g/cm³ y OCH = 8.10%), se observa una mejora significativa en la respuesta mecánica: la adición del material granular (lutita) permite alcanzar una densidad superior (+11.27%) con un menor contenido de humedad. Este comportamiento demuestra que la estabilización con un 50% de lutita lo hace más robusto y potencia la capacidad portante del material para su función como subrasante mejorada de categoría superior.

Figura 20

Gráfico de Curva de Compactación C-03+25%L



La curva de compactación obtenida para el suelo mejorado de la calicata C-03, compuesto por la mezcla de dos suelos de 75% suelo natural y 25% lutita triturada. Tras la estabilización granulométrica, el material alcanza una Máxima Densidad Seca (MDS) de 2.18 g/cm³ y un Óptimo Contenido de Humedad (OCH) de 8.50%. Al comparar estos resultados con los del suelo natural (MDS = 2.053 g/cm³ y OCH = 9.87%), se evidencia una mejora sustancial en el comportamiento mecánico del material: el incremento en la densidad seca (+6.2%) y la reducción en la demanda de agua para la compactación confirman la eficacia del material granular aportado por la lutita.

Tabla 15

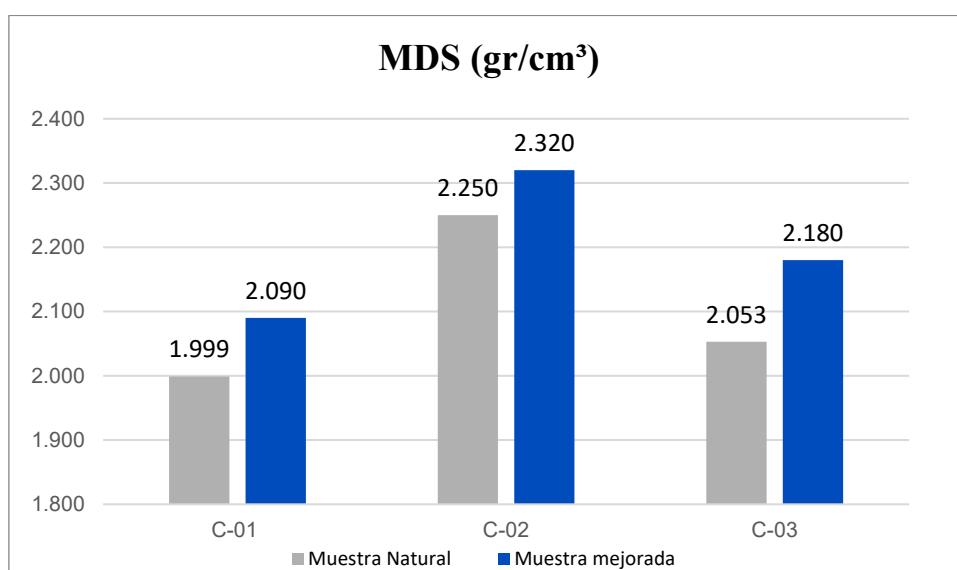
Comparación y variación del Proctor

	C-01	C-01 + 30%	C-02	C-02 + 50%	C-03	C-03 + 25%
MDS (gr/cm³)	1.999	2.090	2.250	2.320	2.053	2.180
OCH (%)	11.36	8.20	8.10	5.20	9.87	8.50

En resumen, los resultados muestran que, en las tres calicatas con sus respectivos mejoramientos con lutita. La lutita triturada tiene partículas más grandes y menos "finos" (limos/arcillas) que el suelo natural. Al haber menos superficie total de partículas que cubrir con agua, se requiere menos agua para lograr la lubricación. Por eso el OCH disminuye. Al haber menos vacíos que rellenar con agua y al ser partículas más pesadas y estables, la densidad seca aumenta.

Figura 21

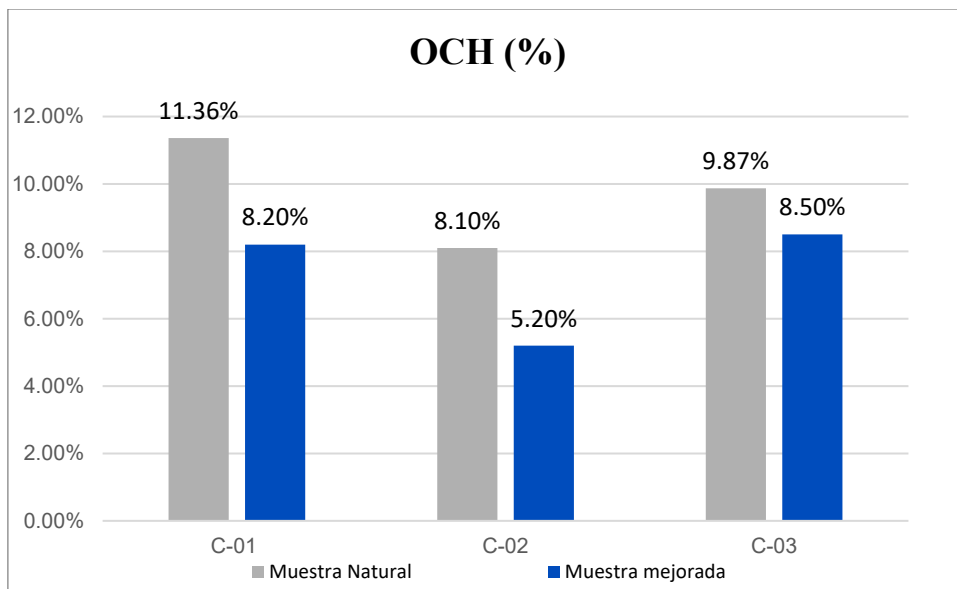
Comparación de la MDS del suelo natural y del material mejorado con Lutita



En el gráfico se puede notar que en la C-01 la MDS se incrementa de 1.999 a 2.090 gr/cm³, mientras que en C-02 se observa un aumento de 2.250 a 2.320 gr/cm³, siendo este el valor más alto registrado. En C-03, la densidad también aumenta de 2.053 a 2.180 gr/cm³. Aunque el incremento es consistente en todos los casos, su magnitud varía ligeramente entre los puntos, destacando C-03 como uno de los incrementos más notorios.

Figura 22

Comparación del OCH del suelo natural y del material mejorado con Lutita



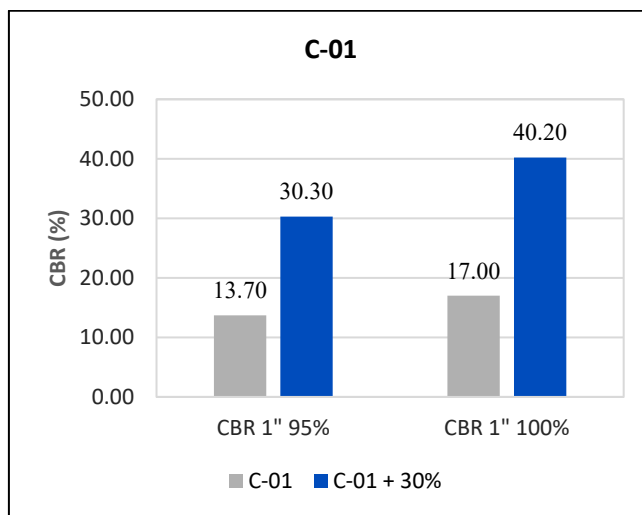
El gráfico evidencia que en las 3 calicatas hay diferencia consistente entre la muestra natural y la muestra mejorada, las muestras con adición de lutita presentan valores inferiores de OCH respecto a la muestra natural. De manera específica, en C-01 se observa una disminución de 11.36% a 8.20%, mientras que en C-02 la reducción es más pronunciada, pasando de 8.10% a 5.20%, por último, en la C-03, aunque también se mantiene la tendencia decreciente, la diferencia es ligeramente menor que las otras calicatas, pasando de 9.87% a 8.50%.

Ensayo CBR del suelo modificado

Comparación y Variación del CBR

Figura 23

Comparación del CBR entre suelo natural y material mejorado Calicata C-01

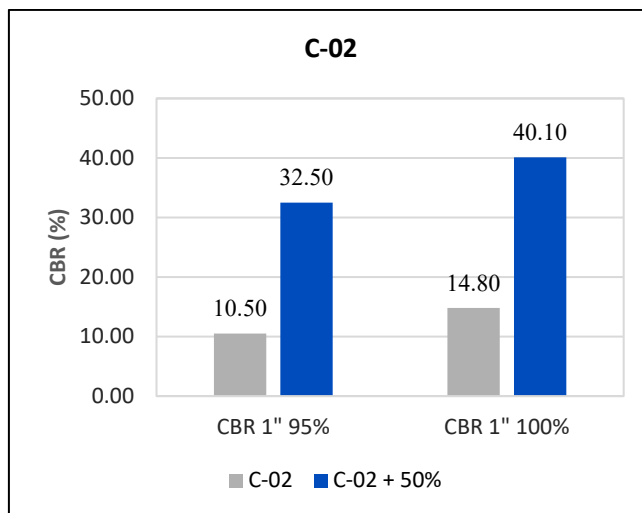


En el gráfico se muestra un incremento significativo del Índice CBR tras la adición del 30% de lutita. Para una compactación al 95% de la MDS, el CBR pasa de 13.70% en el suelo natural a 30.30%, lo que representa más del doble de la capacidad portante inicial. De manera similar, al 100% de la MDS, el CBR aumenta de 17.00% a 40.20%, evidenciando una mejora aún más pronunciada.

Este comportamiento evidencia que al adicionar la lutita no solo incrementa la resistencia del suelo, sino que también responde de manera favorable a mayores niveles de compactación. Tal resultado supone una adecuada interacción entre la lutita y la matriz del suelo, reduciendo vacíos y aumentando la rigidez estructural. En términos geotécnicos, el suelo pasa de una condición regular a una subrasante con buena capacidad de soporte, apta para estructuras de pavimento.

Figura 24

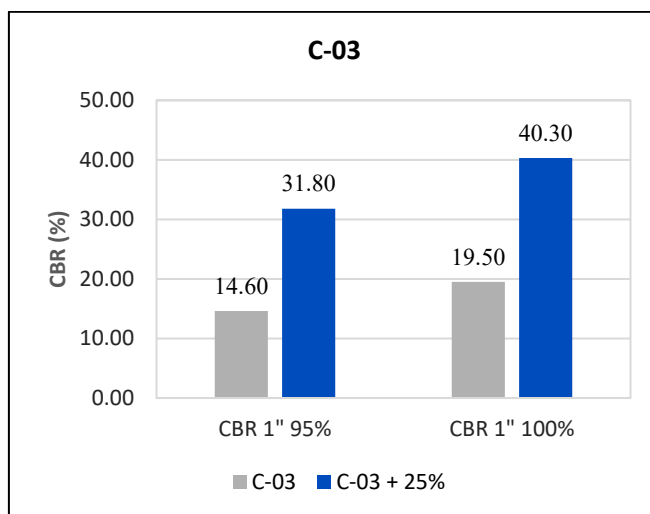
Comparación del CBR entre suelo natural y material mejorado Calicata C-02



Para la calicata C-02, se evidencia una mejora notable, el CBR inicial al 95% de la MDS es de 10.50%, incrementándose a 32.50% con la adición del 50% de lutita. Asimismo, al 100% de la MDS, el CBR pasa de 14.80% a 40.10%, confirmando la efectividad de la dosificación.

Figura 25

Comparación del CBR entre suelo natural y material mejorado Calicata C-03



En la figura correspondiente a la calicata C-03, se muestra la variación del valor de CBR del suelo natural y del suelo estabilizado con la adición de 25% de lutita, se puede notar que para una compactación al 95% de la MDS, el CBR del suelo natural es de 14.60%, mientras que el suelo mejorado alcanza un valor de 31.80%, evidenciando un incremento significativo de 17.20%. Además, para una compactación al 100% de la MDS, el CBR aumentó en 20.80%.

En las tres calicatas evaluadas, su muestra un incremento significativo del índice CBR posterior al proceso de estabilización, esto se explica por la mejora en la distribución granulométrica de la mezcla, generando una estructura más densa y con mejor intertrabazón entre partículas. La incorporación de lutita triturada reduce el contenido relativo de fracción fina plástica y aumenta la fracción granular, lo que incrementa la fricción interna y disminuye la deformabilidad bajo carga. En los tres casos los suelos inicialmente clasificados con comportamiento regular mejoran hasta alcanzar una condición considerada buena, lo que responde a la incorporación de lutita triturada en proporciones especificadas para cada muestra, los valores obtenidos para cada muestra mejorada presentan tendencia a la convergencia, lo que demuestra una homogenización en las propiedades mecánicas del material, lo cual indica que la adición de lutita contribuye a la mejora de las características granulométricas del suelo y optimiza el desempeño de la subrasante.

Evaluación del tramo de Prueba

Tabla 16

Características del tramo de prueba con adición de material local – (C-02+50%)

TRAMO DE PRUEBA		
Dosificación	C-02+50%	
Ancho	m	6.00
Largo	m	5.00
Área	m ²	30.00
Espesor	m	0.20
Densidad Seca (del ensayo)	gr/cm ³	2.28
Máxima densidad seca (del proctor)	gr/cm ³	2.32
Contenido de humedad (del ensayo)	%	5.90
Óptimo contenido de humedad (del proctor)	%	5.20
GRADO DE COMPACTACIÓN	%	98.34

El tramo experimental fue ejecutado en las inmediaciones de la calicata C-02, la cual presentó el valor más bajo de CBR del suelo natural, constituyendo así la condición más crítica del estudio.

Se aplicó una dosificación correspondiente a la adición del 50% de material local, porcentaje previamente determinado mediante ensayos de laboratorio, con el objetivo de mejorar las propiedades mecánicas del suelo.

Durante la ejecución, se obtuvo una densidad seca en campo de 2.282 gr/cm³, en comparación con una densidad seca máxima de 2.320 gr/cm³, alcanzando un grado de compactación de 98.34%. Este valor supera el mínimo requerido por las especificaciones técnicas para obras viales ($\geq 95\%$), lo que evidencia una adecuada compactación del material estabilizado.

Respecto a la humedad, se registró un valor de 5.90%, ligeramente superior a la humedad óptima de 5.20%, lo cual no afectó significativamente el proceso

de compactación ni la estabilidad del material, y está dentro del rango permitido de acuerdo a la normativa que rige la ejecución del ensayo.

Las condiciones de compactación y humedad alcanzadas en campo aseguran la representatividad del tramo experimental, permitiendo que los valores de CBR obtenidos reflejen de manera confiable el comportamiento del suelo mejorado.

Estos resultados permiten validar que la metodología constructiva aplicada en campo fue adecuada y consistente con los parámetros de diseño obtenidos en laboratorio.

4.1.5. Contrastación de hipótesis

Análisis estadístico – Prueba de rangos de signo de Wilcoxon.

Se utilizó la prueba no paramétrica de los rangos de signo de Wilcoxon para muestras emparejadas, dado el tamaño de la muestra, no asume la normalidad de las diferencias y es posible para tamaños de muestra que sean pequeños. El resultado de los ensayos hechos en laboratorio, demuestran que para las tres calicatas experimentaron incrementos en el índice CBR. La prueba de Wilcoxon arrojó un $p=0.016$ ($W=3$, $N=6$). Lo cual se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa.

Figura 26

Prueba estadística de rangos de signos de Wilcoxon en SPSS.

Estadísticos de prueba^a	
	MEJORADO - CBR
Z	-2,201 ^b
Sig. asintótica(bilateral)	,028
Significación exacta (bilateral)	,031
Significación exacta (unilateral)	,016
Probabilidad en el punto	,016

a. Prueba de rangos con signo de Wilcoxon

b. Se basa en rangos negativos.

Tabla 17

Análisis de mejora relativa del CBR por adición de lutita

Calicata	CBR Natural	CBR Modificado	Mejora Absoluta (p.p)	Mejora Relativa (%)
C-01	13.7	30.3	+16.6	+121.2%
C-02	10.5	32.5	+22.0	+209.5%
C-03	14.6	31.8	+17.2	+117.8%
Promedio	12.9	31.5	+18.6	+149.5%

Nota: Elaboración de los autores

El 100 % de las muestras mostró un aumento del CBR, según los resultados de la prueba de Wilcoxon aplicada a los datos emparejados (N=6). El análisis realizado mediante el método exacto para muestras pequeñas arroja un valor p unilateral de 0,016. Se concluye que existen indicios técnicos y estadístico significativos de que la adición de lutita mejora el índice CBR.

4.2.DISCUSIÓN

En relación al objetivo fijado en la presente investigación, orientado a determinar las propiedades físicas y mecánicas del material de la subrasante de la trocha carrozable Huacaschuque-Puchuvalle, los resultados obtenidos indican que el suelo en su estado natural presentan una capacidad de soporte adecuada, con valores de CBR comprendidos entre 14.80% y 19.50% y entre 10.50% y 14.60% al 100% y 95% de la máxima densidad seca (MDS), a 1" de penetración, lo cual evidencia que la subrasante cumple con los criterios mínimos para su uso en vías no pavimentadas, de acuerdo a lo establecido en la normativa técnica.

Los resultados obtenidos son consistentes con lo reportado por Jacinto (2021), quien mediante los ensayos de granulometría y límites de Atterberg, clasificó el suelo de la subrasante de su área de estudio como perteneciente al grupo A-4(2), según el sistema AASHTO, el suelo en mención también presentaba condiciones mecánicas aceptables con valores de CBR comprendidos entre 23.40% y 49.20% al 95% de la MDS, aunque no se encuentra en una condición crítica se optó por su mejoramiento con la finalidad de optimizar el comportamiento mecánico empleando materiales alternativos. Del mismo modo Antunes (2022), quien en su investigación obtuvo valores iniciales de CBR por encima del mínimo requerido, no obstante, el proceso de mejoramiento de las propiedades de la subrasante adicionando residuos de pizarra, obedece a un enfoque preventivo y de desempeño para incrementar la resistencia, durabilidad y vida útil de la vía dado que las condiciones de carga y clima afectan progresivamente a la estructura.

Respecto al material local, la roca lutita, utilizada en el presente proyecto, se trituroó hasta un tamaño máximo de 1", con la finalidad de evaluar su influencia en la

estabilización, basada en la modificación de la gradación del suelo. Bajo este enfoque, la granulometría resulta determinante para su desempeño, el comportamiento del material guarda relación con el estudio titulado “Estudos geotécnicos de resíduos sólidos industriais de ardósia visando seu emprego na pavimentação viária na região central de Minas Gerais” realizado por Antunes (2022), quien analizó el comportamiento de mezclas suelo- pizarra en la capa base y subbase con tamaño máximo de partícula de 1” y en la capa se subrasante una mezcla con tamaño máximo de 2”, evidenciando que suelos con capacidades de soporte moderados alcancen niveles de desempeño mecánico superiores mediante la optimización granulométrica. Del mismo modo Santos et al. (2019) en su artículo “Avaliação do efeito da adição de resíduo de ardósia no módulo de resiliência de misturas com solo argiloso” evaluaron mezclas de suelo arcilloso - pizarra con un tamaño máximo de partícula de 1”, el estudio demostró que la inclusión de estos fragmentos de roca en el suelo es lo que permite la mejora de las propiedades mecánicas, actuando como un esqueleto mineral que aumenta la estabilidad del conjunto.

En el presente estudio, los resultados obtenidos permiten evidenciar una variación positiva en la capacidad de soporte del suelo de la trocha carrozable Huacaschuque - Puchuvalle como consecuencia de la incorporación del material local, es decir, lutita. En las 3 calicatas evaluadas la adición de lutita permitió incrementar el índice CBR por encima de 30%, con lo que posiciona a la subrasante en la categoría de "Excelente" según la normativa del MTC, En la calicata C-02, que presentó el valor más crítico de CBR (10,50%), la adición de lutita permitió incrementar este índice hasta 30.50%, lo que representa un aumento de 190.48%, esto pone de manifiesto

no solo una mejora cuantitativa significativa, sino también un cambio sustancial en el comportamiento mecánico del material. Este resultado sugiere que la lutita modifica favorablemente la estructura interna del suelo, influyendo en parámetros como la distribución granulométrica, la densificación y la resistencia al esfuerzo de penetración. Al respecto, Arbieta (2022), en su investigación “Estabilización de subrasantes blandas con adición de lutita y cal, carretera Tamburco - Karkatera, Apurímac 2022”, con la finalidad de mejorar las propiedades de una subrasante blanda realizó 9 combinaciones de lutita y cal en diferentes proporciones, de las cuales concluyó que la proporción óptima es del 15% de lutita y cal (0.67 cal + 0.33 lutita) pues con esta dosificación logró incrementar el CBR de 5.40% a 9.00%, es decir 66.66%, por tanto el estudio concluye que la adición combinada de lutita y cal constituye una alternativa eficaz para la mejora de subrasantes blandas, sin embargo, la máxima densidad seca disminuyó de 2,07 a 1,97 g/cm³, mientras que el contenido óptimo de humedad aumentó hasta 10,12%, en contraste, en el presente estudio se observó un comportamiento inverso, es decir incremento de la MDS y disminución del OCH, estas diferencias pueden explicarse principalmente por el tipo de estabilización empleado, ya que el autor en mención, utilizó una combinación de lutita y cal, cuyas propiedades físico-químicas modifican la estructura del suelo mediante procesos de floculación y reacciones puzolánicas, incrementando la demanda de agua y reduciendo la densidad seca máxima alcanzable. Adicionalmente, las variaciones observadas también pueden estar relacionadas con los diferentes porcentajes de adición y gradación utilizados en ambas investigaciones, lo cual influye directamente en el comportamiento de compactación del suelo.

Por otro lado Mengjin et al. (2024), en su estudio titulado "Research on Road Performance of Carbonaceous Shale Subgrade Filler", dado el problema de la escasez de materiales convencionales para relleno de subrasantes evaluaron la lutita carbonosa como material alternativo, para ello diseñaron una mezcla de agregados con una distribución ideal de tamaños hasta 60 mm, usando un modelo matemático que buscó lograr la máxima compactación del material, realizaron ensayos de CBR tras ciclos de secado y humedad, visto el comportamiento del material, destacan la importancia de mejorar la distribución granulométrica y de implementar controles rigurosos de impermeabilización y humedad, con el fin de prevenir la pérdida de resistencia frente a la acción del agua, los autores concluyeron que es viable utilizar la lutita carbonosa como rellenos de subrasante ya que demostraron que la roca tenía un desempeño mecánico mayor en comparación a otras rocas blandas.

Así mismo Rabab'ah et al. (2023), en su estudio titulado "Effect of used Oil Shale Ash on geotechnical properties of cement-stabilized expansive suelo para pavimentos", demostraron que los derivados de la lutita poseen un alto potencial para estabilizar suelos y aumentar su capacidad de soporte. En su estudio, la adición de un 30% de ceniza de lutita (OSA) logró elevar el CBR de la subrasante de 2.1 % (CBR del suelo natural) a un 42.5%, lo que representó un incremento de aproximadamente 20 veces la resistencia original. Los resultados que se obtuvo en la presente investigación adicionando el material local, lutita triturada, en rangos similares validan la tendencia de que este material actúa como un agente estabilizador eficaz, incluso cuando se utiliza en su forma física triturada en lugar de ceniza. Rabab'ah et al. (2023) identifican mediante microscopía electrónica (SEM) que las partículas de lutita poseen una estructura angular y superficie rugosa, lo que genera un mayor entrelazamiento mecánico y una mayor resistencia por

fricción dentro de la matriz del suelo. Los resultados en el presente estudio con porcentajes de 25%, 30% y 50% de lutita representan una optimización del uso de este material, alineándose con la recomendación de los autores citados de maximizar el reemplazo de suelo natural por subproductos de lutita para promover la sostenibilidad en la infraestructura vial.

En el estudio realizado por Santos et al. (2019) los autores utilizaron residuos de pizarra para estabilizar un suelo arcilloso, logrando incrementar el CBR inicial de la subrasante del 17% hasta valores de 68%, 73% y 79% al emplear dosificaciones de 60%, 70% y 80% de residuo, respectivamente, aunque los porcentajes de adición respecto del presente proyecto son mayores, el estudio confirma que la inclusión de materiales pétreos granulares eleva sustancialmente la capacidad de soporte del suelo base. Un aspecto relevante de la comparación es el efecto "desplastificante" mencionado por los autores, quienes notaron que la adición de pizarra triturada redujo el Índice de Plasticidad y el Límite Líquido del suelo arcilloso, de manera consistente, en la calicata C-02 de la subrasante Huacaschuque – Puchuvalle, al realizar el ensayo CBR, se observó una disminución de la expansión de la muestra al adicionar lutita, lo que sugiere una reducción de la susceptibilidad del suelo a cambios volumétricos y una mejora en su estabilidad dimensional, asociada a la modificación de su estructura granular.

Por otro lado, Burga Vásquez (2023), determinó que la adición de polvo de piedra caliza (PPC) mejora el índice CBR al actuar como un agregado que fortalece la estructura del suelo y reduce su deformación bajo carga. En el estudio de referencia, el suelo en estado natural presentaba valores de CBR al 95% de la MDS de 3.3%, 5.7% y 3.8% para las calicatas 1, 2 y 3, respectivamente. Tras la estabilización con

un 30% de polvo de piedra Caliza, estos valores ascendieron a 6.3%, 8.9% y 6.6%, es decir, se logró mejorar el índice CBR en un 52.14%. En comparación, al adicionar lutita triturada, se obtuvo un incremento máximo de 190.48% en la calicata C-02, empleando un 50% de material triturado. Esta diferencia en los niveles de mejora puede atribuirse tanto a las características del suelo natural de cada subrasante como a la naturaleza de los materiales de adición, particularmente su granulometría, en este sentido, mientras que en un caso se utilizó polvo de piedra caliza, en el otro la lutita fue triturada hasta un tamaño máximo de 1". Otro punto de contraste relevante de la investigación de Burga (2023), es la influencia en las propiedades físicas, y es que el autor concluye que, aunque el PPC incrementa la densidad seca y reduce el Índice de plasticidad, no altera significativamente las características finas y cohesivas del suelo arcilloso.

Huatay Infante y Silva Arteaga (2023) en su estudio sobre ceniza de antracita, el suelo en estado natural presentaba un valor CBR por debajo del mínimo requerido, los autores evaluaron tres porcentajes, lograron incrementar el CBR de 1.04% a 10.04% al 95% de la MDS adicionando 15% de antracita, también se logró reducir significativamente la expansión promedio en el ensayo CBR, pasando de 5.99% a 3.33%, con la incorporación de lutita se produjo un efecto similar, disminuyendo el porcentaje de expansión de 4.8% a 0.04%, los resultados son comparables con Ruiz (2022) quien encontró que su suelo natural presentaba una expansión elevada de entre 9% y 10% debido a su alta plasticidad, al agregar 10% de polvo de piedra chancada se redujo hasta 4.95%, 4.87% y 4.01%, lo que representa una disminución de aproximadamente 50% respecto a su estado original, así también, con este porcentaje de adición se consiguió una caída drástica en el índice de plasticidad,

pasando de promedios de 26% a valores de entre 7.1% y 9.3% , cumpliendo incluso con los requisitos para materiales de afirmado. Asimismo, el autor reportó un incremento en la densidad máxima seca de 1.194 g/cm³ a 1.936 g/cm³ y una reducción en el óptimo contenido de humedad de 15.04% a 8.52%, los resultados de la presente investigación con lutita triturada presentan la misma tendencia en las 3 calicatas evaluadas. Respecto al óptimo porcentaje de adición, Ruiz (2022) concluyó que el 10% es el porcentaje óptimo en su estudio, ya que es el nivel donde se alcanzan los estándares más altos de calidad mecánica y física. No obstante, recalca que el CBR continúa incrementándose de manera constante sin formar una curva de descenso técnica en las dosis evaluadas, por su parte Huatay Infante y Silva Arteaga (2023), también observaron el mismo comportamiento con la Antracita al evaluar sus muestras con porcentajes de 5%, 10% y 15%, en este estudio a diferencia de los autores citados se empleó el método gráfico de combinación de agregados para definir un porcentaje de adición de lutita triturada específica para cada calicata según sus características granulométricas, siendo, 30%, 50% y 25% para la C-01, C-02 y C-03 respectivamente. Esta metodología permitió que, a pesar de las variaciones iniciales de cada muestra, los resultados finales convergieran hacia una misma tendencia del índice CBR, con valores entre 30.30% y 32.50% al 95% de la MDS, lo cual permite inferir que el diseño de mezclas personalizado no solo optimiza el uso del material, sino que garantiza una homogeneidad estructural en la subrasante a lo largo de todo el tramo evaluado.

CAPÍTULO V:
CONCLUSIONES Y
RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- Se concluye que la adición de material local permitió mejorar el índice CBR de la trocha carrozable Huacaschuque - Puchuvalle, evidenciándose un incremento respecto a las condiciones iniciales del suelo en estado natural, los incrementos porcentuales del CBR para las tres muestras fueron de 121.17%, 190.48% y 117.81%, lo que demuestra un aumento sustancial en la capacidad de soporte del suelo y confirma la efectividad del material local como estabilizante no convencional para la subrasante evaluada.
- Se determinaron las propiedades físicas de la lutita triturada mediante el ensayo de granulometría, los resultados obtenidos permitieron establecer que el material presenta una distribución granulométrica correspondiente a una grava bien graduada (GW) según el Sistema SUCS, y como A-1-a según el sistema AASHTO. Asimismo, el ensayo de límites de Atterberg evidenció la ausencia de límite líquido y límite plástico, lo que confirma el comportamiento no plástico del material.
- Se determinaron las propiedades físicas y mecánicas del suelo de la trocha carrozable Huacaschuque - Puchuvalle mediante los ensayos de granulometría, Proctor y CBR, estableciéndose que el material de las tres calicatas se clasifica como una arena limosa según la normativa AASHTO dentro del grupo A-2-4 (0), con máxima densidad seca de 1.999 gr/cm³, 2.250 gr/cm³ y 2.053 gr/cm³ y un óptimo contenido de humedad de 11.36%, 8.10% y 9.87% respectivamente. Asimismo, el valor de CBR obtenido fue de 13.70%, 10.50% y 14.60 al 95% de la MDS.

- Se concluye que el porcentaje de adición de lutita varía de acuerdo con las características granulométricas de cada suelo evaluado. Mediante el método gráfico de mezcla de dos suelos se determinaron porcentajes de 25 %, 30 % y 50 %, los cuales permitieron incrementar significativamente el índice CBR de las tres calicatas estudiadas, alcanzando valores superiores al 30 %. En consecuencia, la incorporación de lutita como material local mejora la capacidad de soporte del suelo de subrasante y representa una alternativa viable para el mejoramiento de la trocha carrozable Huacaschuque–Puchuvalle.

5.2. RECOMENDACIONES

- Se recomienda considerar el uso de la lutita como alternativa de estabilización para suelos similares al de la trocha carrozable Huacaschuque – Puchuvalle, ya que se ha demostrado que su incorporación mejora significativamente la capacidad de soporte.
- Se sugiere emplear los porcentajes de adición determinados en la presente investigación para suelos de características similares, Asimismo, se sugiere utilizar el método gráfico de combinación de agregados como herramienta preliminar para el diseño de mezclas, en función de las características granulométricas de cada suelo; no obstante, su aplicación debe ser validada mediante ensayos de laboratorio, como el CBR, para garantizar su efectividad.
- Para la aplicación en campo se recomienda realizar una adecuada trituración de la lutita hasta un tamaño máximo de 1", así como también controlar rigurosamente el contenido de humedad y la compactación del material, conforme a los resultados del ensayo Proctor. Además, el material no presenta límite líquido ni índice de plasticidad
- Para futuras investigaciones, se sugiere evaluar el comportamiento del material estabilizado a largo plazo, considerando factores como la variación climática, la saturación y el tráfico vehicular, a fin de validar la durabilidad de la mejora obtenida en el CBR.
- Se recomienda a las entidades locales y responsables de infraestructura vial considerar el aprovechamiento de materiales disponibles en la zona, como la

roca lutita, para la mejora de trochas carrozables, ya que esto puede representar una solución técnicamente viable, reduciendo costos asociados al transporte de materiales externos.

- Se recomienda realizar un mayor número de puntos de exploración a lo largo del tramo de la trocha carrozable, con la finalidad de obtener una caracterización más representativa y detallada de las variaciones del suelo natural, lo cual permitirá optimizar el diseño de las mezclas suelo-material de mejora y mejorar la confiabilidad de los resultados obtenidos.

CAPÍTULO VI:
REFERENCIAS
BIBLIOGRÁFICAS Y
VIRTUALES

- Aguirre, E., & Pastor, C. (2020). *ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON CENIZAS DE BAGAZO DE CAÑA DE AZUCAR PARA USO COMO SUBRASANTE MEJORADA PARA PAVIMENTOS DE CHIMBOTE* [Tesis de Grado]. Universidad Nacional del Santa. <https://hdl.handle.net/20.500.14278/3754>
- Angulo Roldan, M., & Zavaleta Papa, C. N. (2021). *Estabilización de suelos arcillosos con cal para el mejoramiento de las propiedades físico-mecánicas como capa de rodadura en la prolongación Navarro Cauper, distrito San Juan – Maynas – Iquitos, 2019* (Tesis de grado). Universidad Científica del Perú. <http://hdl.handle.net/20.500.14503/1220>.
- Antunes, M.A.G. (2022). *Estudios geotécnicos de residuos sólidos industriales de ardósia visando su emprego na pavimentação viária na região central de Minas Gerais* (Tese de Doutorado). Universidad Federal de Ouro Preto. <http://www.repositorio.ufop.br/jspui/handle/123456789/16123>
- Burga Vásquez, J. C. A. (2023). *Mejoramiento de subrasante arcillosa con la finalidad de incrementar propiedades físico-mecánicas adicionando polvo de piedra caliza, Chota-Cajamarca, 2023* [Tesis de Grado]. Universidad Nacional Federico Villarreal. <https://hdl.handle.net/20.500.13084/8312>
- Castro Gonzales, M. A., & Navarro Pereyra, J. D. (2019). *Análisis de mejora de suelos arcillosos de alta plasticidad a nivel de subrasante mediante adición de cemento Portland para disminuir el cambio volumétrico* [Trabajo de investigación para optar el grado de bachiller]. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas. <http://hdl.handle.net/10757/626119>
- Crespo Villalaz, C. (2004). *Mecánica de suelos y cimentaciones*. Limusa
- Deo, P., Wood, L. E., & Lovell, C. W., Jr. (1973). *Use of shale in embankments* (Technical Paper No. 14). Joint Highway Research Project, Purdue University, West Lafayette, IN.

-
- Duque, P.-G., & Escobar, C. E. (2002). *MECÁNICA DE LOS SUELOS I*. Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales. https://www.researchgate.net/publication/376620277_Mecanica_de_los-suelos_Book
- Hernán de Solminihaq, T., Echeverría, G., & Thenoux, G. (1989). Estabilización química de suelos: aplicaciones en la construcción de estructuras de pavimentos. *Revista de Ingeniería de Construcción*, (6), 53–78.
- Hilário, R. Q. (2020). *Estudo das faixas granulométricas no comportamento e vida útil do lastro ferroviário utilizando equipamento de ensaio dinâmico de lastro – EEDL* (Tese de doutorado). Universidade Federal de Ouro Preto. <http://www.repositorio.ufop.br/handle/123456789/13117>
- Huanca Rafaile, F. J. (2022). *Mejoramiento de suelos mediante adición de plástico reciclado molido PET en el trecho I de la vía Pallasca – Santiago de Chuco, Ancash, 2022* [Tesis de Grado]. Universidad Cesar Vallejo <https://hdl.handle.net/20.500.12692/96061>
- Huatay Infante, D., & Silva Arteaga, R.M (2023). *Mejoramiento del CBR en subrasante arcillosa mediante el uso de antracita en proporción de 5%, 10% y 15% en la carretera a Tartar Grande Baños del Inca – Cajamarca, 2023* [Tesis de Grado]. Universidad Privada del Norte. <https://hdl.handle.net/11537/37069>
- Ipanaqué Carrasco, E. D. (2022). *Influencia del aditivo aceite sulfonado para estabilización de subrasante en los accesos del puente Santa Rosa, ubicado en el distrito y provincia de Huanta. Huancavelica. Perú. 2021* [Tesis de Grado]. Universidad Nacional de Piura <https://repositorio.unp.edu.pe/handle/20.500.12676/3382>
- Jacinto Yovera, M. P. (2021). *Mejoramiento mecánico de suelos blandos en la sub rasante, utilizando residuos de bivalvos de La Bahía de Sechura. 2020* [Tesis de Grado]. Universidad Nacional de Piura. <https://repositorio.unp.edu.pe/handle/20.500.12676/2932>

-
- Juárez Badillo, E., & Rico Rodríguez, A. (1973). *Mecánica de suelos, Tomo I: Fundamentos de la Mecánica de Suelos*. Limusa.
- Lee, D. (1973). Review of aggregate blending techniques. In Highway Research Board, *Highway Research Record No. 441: Grading of concrete aggregates* (pp. 111–127). Washington, DC: National Research Council.
- López Meza, A. (2022). *Compactación inteligente de suelos* (Tesis de licenciatura). Universidad Nacional Autónoma de México.
- Martinefsky, C., Mocciaro, A., Irassar, EF y Tironi, A. (2023). Elaboración y caracterización tecnológica de agregados porosos a partir de lutitas de la provincia de Buenos Aires, Argentina. *Revista del Museo de La Plata*, 8 (2), 153-163. doi:10.24215/25456377e175
- Mengjin, Z., Yafei, H., Qian, W., Xuesong, M., Jianxun, Z., Xinyi, C. y Yueyue, W. (2024). Research on Road Performance of Carbonaceous Shale Subgrade Filler. *Journal of China & Foreign Highway*, 44(2), 9-17. <https://doi.org/10.14048/j.issn.1671-2579.2024.02.002>
- Ministerio de Transporte y Comunicaciones (2014). *Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos. Sección Suelos y Pavimentos*. Lima, Perú.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2013). Manual de carreteras: *Diseño Geométrico DG-2018*. Lima, Perú.
- Mosquera Gómez, S. (2019). *Métodos de optimización de muestras granulométricas utilizados en el diseño de mezcla de concreto simple hidráulico* [Tesis de Grado]. Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia
- Nurtayev, B. Kh., & Yusupov, Kh. R. (2025). Mineral and chemical composition in the oil shales of the Sangruntau deposit. *International Journal of Geology, Earth & Environmental Sciences*, 15, 73–76.

- Oti, J. E., Kinuthia, J. M., Snelson, D. G., & Bai, J. (2010, February). Applications of slate waste material in the UK. In Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Waste and Resource Management (Vol. 163, No. 1, pp. 9-15). Thomas Telford Ltd.
- Palomino Saldaña, Y. E. (2016). *Influencia de la adición de cloruro de sodio en el índice California Bearing Ratio (CBR) de un suelo arcilloso, Cajamarca 2016*.
- Ministerio de Transporte y Comunicaciones (2008). *Manual de Diseño de Carreteras no Pavimentadas de Bajo Volumen de Tránsito*. Lima, Perú.
- Popovics, S. (1973). Methods for the determination of required blending proportions for aggregates. In Highway Research Board, *Highway Research Record No. 441: Grading of concrete aggregates* (pp. 65–75). Washington, DC: National Research Council.
- Rabab'ah, S. R., Sharo, A. A., Alqudah, M. M., Ashteyat, A. M., & Saleh, H. O. (2023). Effect of using Oil Shale Ash on geotechnical properties of cement-stabilized expansive soil for pavement applications. *Case Studies in Construction Materials*, 19, e02508. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2023.e02508>
- Rivera, J. F., Aguirre, A. M., de Gutiérrez, R. M., & Orobio, A. (2020). Estabilización química de suelos: materiales convencionales y activados alcalinamente (revisión). *Informador Técnico*, 84(2), 202–226.
- Road Research Laboratory. (1950). *Design of concrete mixes* (Road Note No. 4, 2nd ed.). London, England: Her Majesty's Stationery Office.
- Ruiz Burga, F.Y (2022). *Evaluación de la incorporación de polvo de piedra chancada en la subrasante deteriorada por deformación, carretera Chota – Shitacucho* [Tesis de Grado]. Universidad Nacional Autónoma de Chota. <http://hdl.handle.net/20.500.14142/337>
- Santos, R. L. R., Camargo, V. A. F., de Souza Rodrigues, C., Simões, G. F., & Pereira, A. B. (2019). Avaliação do efeito da adição de resíduo de ardósia no módulo de resiliência de misturas com solo argiloso. *Transportes*, 27(4), 145-158. <https://doi.org/10.14295/transportes.v27i4.1824>

- Sanz, José. (1975). *Mecánica de suelos*. Reverete
- Singh, P., & Walia, G. S. (2014). Review of Optimization Methods for Aggregate Blending. *Civil, Structural, Environmental and Infrastructure Engineering and Developing*, 1(3), 1-8
- Terzaghi, K. (1943). *Theoretical Soil Mechanics*. New York and London: John Wiley & Sons, Inc.
- Terzaghi, K., & Peck, R. B. (1973). *Mecánica de Suelos en la Ingeniería Práctica* (Segunda ed.). (O. Moretto, Trad.) Barcelona, España: El Ateneo.
- Torres, D., Valdivia, W., Ramos, W., & Alván, A. (2021). *Geología del cuadrángulo de Pallasca (hojas 17h2, 17h3)* (Boletín Serie L: Actualización de la Carta Geológica Nacional N.º 10). Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET)
- Urdanivia Roque, H. (2019). *Relación entre el tipo de suelo (SUCS y AASHTO) y el asentamiento de suelos para determinar asentamientos diferenciales en cimientos de concreto armado*.
- Viana de Oliveira, R. F. (2011). *Análise de dois solos modificados com cimento para dimensionamento de pavimentos* (Dissertação de mestrado). Universidade Federal de Ouro Preto. <http://www.repositorio.ufop.br/handle/123456789/2382>
- Yaaton, D.H. (1962). Composición mineral de la lutita promedio. *Clay Minerals Bulletin*, 5 (27), 31-36. <https://doi.org/10.1180/claymin.1962.5.27.05>
- Zica, E.S. (2010). *Estudo comparativo entre energías de compactação do subleito para subsidiar projetos de pavimentação* (Dissertação de mestrado). Universidade Federal de Ouro Preto. <http://www.repositorio.ufop.br/handle/123456789/3082>

CAPÍTULO VII:

ANEXOS

ANEXO N° 1: MATRIZ DE CONSISTENCIA

TÍTULO	Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables
Mejoramiento del índice CBR de la trocha carrozable Huacaschuque-Puchuvalle con adición de material local en Pallasca-Ancash.	<i>Problema General</i>	<i>Objetivo General</i>	<i>Hipótesis General</i>	<i>Variable Independiente</i>
	¿Cómo mejora el material local (lutita) en el índice CBR de la trocha carrozable de Huacaschuque-Puchuvalle?	Mejorar el índice CBR de la trocha carrozable Huacaschuque-Puchuvalle adicionando material local (lutita).	El material local (lutita) mejora significativamente el índice CBR del suelo de la Trocha Carrozable Hucaschuque-Puchuvalle.	Material Local
	<i>Problemas Específicos</i>	<i>Objetivos Específicos</i>	<i>Hipótesis Específicas</i>	<i>Variable Dependiente</i>
	¿Cuáles son las propiedades físicas del material local (lutita)?	Determinar las propiedades físicas del material local (lutita).	El material local tiene propiedades físicas favorables para el suelo.	Índice CBR de la Trocha Carrozable Hucaschuque-Puchuvalle.
	¿Cuáles son las propiedades físicas y mecánicas del suelo de la trocha carrozable Huacaschuque-Puchuvalle?	Determinar las propiedades físicas y mecánicas del suelo de la Trocha Carrozable Hucaschuque-Puchuvalle.	La trocha carrozable tiene propiedades físicas y mecánicas desfavorables	
	¿Cuál es el porcentaje de adición de lutita con el fin de mejorar en el índice CBR de la trocha carrozable Huacaschuque-Puchuvalle?	Determinar el porcentaje de adición de lutita con el fin de mejorar el índice CBR de la Trocha Carrozable Hucaschuque-Puchuvalle.	La incorporación de lutita en proporciones determinadas mediante el método gráfico de mezcla de dos suelos, mejora significativamente el índice CBR del suelo de la trocha carrozable Huacaschuque-Puchuvalle.	

ANEXO N° 2: MATRIZ DE OPERACIONALIZACIÓN

Variables	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Herramientas	Escala
Variable Independiente: Material Local	El material local a utilizar es la lutita, la cual es una roca sedimentaria clástica, originada por compactación de partículas finas, que conduce a estructuras sólidas. (Deo, Wood & Lovell, 1973)	La lutita fue triturada manualmente y se utilizará todo lo que pasa por el tamiz malla 1" (25 mm ASTM). Este material triturado se adicionará en distintos porcentajes al material de la trocha carrozable.	Características granulométricas	Análisis granulométrico	Ensayo del análisis de granulometría con tamices (M.T.C. E 107) (N.T.P.339.128) (A.S.T.M. D 422)	Nominal
Variable Dependiente: Índice CBR de la Trocha Carrozable Huacaschuque-Puchuvalle	El índice CBR es un método utilizado para medir la resistencia y capacidad portante de una estructura (Day, 2008).	Se realizarán los ensayos Proctor y CBR con la muestra de control, con la finalidad de determinar su capacidad portante. Los resultados de la muestra de control se compararán con los obtenidos de la muestra mejorada con la adición de lutita en tres porcentajes distintos los cuales se determinarán de acuerdo a las características del suelo de la trocha carrozable.	Propiedades físicas del suelo	Análisis Granulométrico	Ensayo del análisis de granulometría con tamices (M.T.C. E 107) (N.T.P.339.128) (A.S.T.M. D 422)	Nominal
				Contenido de humedad	Ensayo para determinar el contenido de humedad (M.T.C. E 108) (A.S.T.M.D2216) (N.T.P. 339.127)	Nominal
			Propiedades mecánicas del suelo	Proctor Modificado	Ensayo de Proctor modificado (M.T.C 115) (N.T.P.339.141)	Nominal
				Ensayo CBR	Valor de soporte relativo C.B.R. (A.S.T.M. - D1883) (M.T.C. E 132) (N.T.P.339.145)	Nominal

ANEXO N°3: PRUEBA DE RANGOS CON SIGNO DE WILCOXON**Planteamiento de la prueba de hipótesis.**

Para evaluar el objetivo principal de la investigación, determinar si la adición de lutita mejora significativamente el índice CBR del material de la trocha carrozable, se plantearon las siguientes hipótesis estadísticas:

- Hipótesis Nula (H_0): la adición de lutita no produce mejora en el índice CBR.
- Hipótesis Alterna (H_1): La adición de lutita sí produce mejora en el índice CBR.

El nivel de significancia establecido para la prueba es $\alpha = 0.05$ (95% de confianza).

Selección de la prueba estadística.

La selección de la prueba estadística se fundamentó en las siguientes consideraciones metodológicas:

Tabla A7.

Análisis de mejora individual por adición de lutita

Criterio	Condición del estudio	Implicancia
Tamaño muestral	N=6 pares de datos (3 calicatas por dos pares de ensayo)	Muestra pequeña ($N < 30$), estadísticamente se puede determinar con pruebas no paramétricas.
Independencia de observaciones	Muestras pareadas (misma calicata antes y después de adición de lutita.)	Cada observación de calicata no es independiente, cada una tiene su propio control.
Distribución de diferencias	Desconocida, con N=6, la prueba de normalidad no es concluyente.	No se puede asumir normalidad
Naturaleza de la variable	Continua (porcentaje CBR)	Pruebas paramétricas o no paramétricas aplicables

En función de lo anterior, se seleccionó la prueba de rangos con signo de Wilcoxon para muestras pareadas, por las siguientes razones:

1. No se asume distribución normal de las diferencias, condición inverificable con $N=6$.
2. Es aplicable a tamaños muestrales pequeños ($N > 5$).
3. Es robusta frente a valores atípicos, lo que la hace adecuada para ensayos geotécnicos donde puede existir variabilidad experimental.

4. Constituye la alternativa no paramétrica a la prueba T de Student para muestras pareadas.

Si bien con muestras igual a tres, la potencia estadística es limitada, el estadístico de Wilcoxon permite calcular un p-valor exacto mediante distribución binomial, lo cual otorga validez al análisis inferencial dentro de las restricciones muestrales del estudio.

Datos de entrada para el análisis

Los resultados de los ensayos de CBR al 95% de la Máxima Densidad Seca (MDS) y 0.1" de penetración, correspondientes a las tres calicatas evaluadas en estado natural y con adición de lutita triturada, se presentan en la siguiente tabla.

Tabla A2.

Valores de CBR obtenidos en condiciones natural y modificada

Calicata	CBR Natural (%)	Adición de lutita (%)	CBR Modificado (%)
C-01	13.7	30	30.3
C-01 (R)	13.7	30	30.6
C-02	10.5	50	32.5
C-02 (R)	10.5	50	32.4
C-03	14.6	25	31.8
C-03 (R)	14.6	25	32.0

A partir de estos valores, se calcularon las diferencias pareadas para cada unidad experimental (calicata), las cuales constituyen la variable de interés para la prueba de hipótesis.

Tabla A3.
Diferencias pareadas de CBR (Modificado-Natural)

Par (Calicata)	CBR Natural (%)	CBR Modificado (%)	Diferencia (di)
1 (C-01)	13.7	30.3	+16.6
2 (C-01) R	13.7	30.6	+16.9
3 (C-02)	10.5	32.5	+22.0
4 (C-02) R	10.5	32.4	+21.9
5 (C-03)	14.6	31.8	+17.2
6 (C-03) R	14.6	32.0	+17.4

Ejecución de la prueba de Wilcoxon

a. Procedimiento de cálculo

La prueba de Rangos con Signo de Wilcoxon se ejecutó siguiendo el procedimiento estándar:

Paso 1: Se calcularon las diferencias absolutas $|d_i|$ para cada par.

Paso 2: Se ordenaron las diferencias absolutas de menor a mayor y se asignaron rangos (R_i) de 1 a N.

Paso 3: Se identificó el signo de cada diferencia original (+ o -) para clasificar los rangos.

Paso 4: Se calculó la suma de los rangos correspondientes a las diferencias positivas (W^+) y negativas (W^-).

Tabla A4.
Asignación de rangos para la prueba de Wilcoxon

Calicata	Diferencia (d_i)	$ d_i $	Diferencia (di)
C-01	+16.6	16.6	1
C-01 (R)	+16.9	16.9	2
C-02	+22.0	22.0	6
C-02 (R)	+21.9	21.9	5
C-03	+17.2	17.2	3
C-03 (R)	+17.4	17.4	4

Fuente: Propia elaboración, resultados obtenidos en laboratorio.

De la tabla se obtienen los siguientes valores:

- **Suma de rangos positivos (W^+)** = $1 + 2 + 6 + 5 + 3 + 4 = 21$
- **Suma de rangos negativos (W^-)** = 0

El estadístico de prueba de Wilcoxon (W) corresponde al menor valor entre W^+ y W^- . Para una prueba unilateral derecha, se utiliza W^+ . Por lo tanto:

$$W^+_{\text{calculado}} = 21$$

$$W^-_{\text{calculado}} = 0$$

b. Regla de decisión

Para rechazar la hipótesis nula con $\alpha = 0.05$, el $W_{\text{calculado}}$ debe ser menor o igual que el $W_{\text{crítico}}$

Formalmente:

$$\text{Si } W_{\text{calculado}}^{-} \leq W_{\text{crítico}} \rightarrow \text{Rechazar } H_0$$

$$\text{Si } W_{\text{calculado}}^{-} > W_{\text{crítico}} \rightarrow \text{Aceptar } H_0$$

Para obtener el valor crítico, se obtiene a través de tablas:

Tabla A5.

Tabla con valores críticos de la prueba de Wilcoxon.

N	W crítico (significancia bilateral = 0.05)	W crítico (significancia unilateral = 0.05)	Suma total de rangos
3	-	-	6
4	-	-	10
5	0	1	15
6	1	3	21
7	2	4	28
8	4	6	36
9	6	9	45
10	8	11	55

Nota: Wilcoxon, F. (1945). *Individual comparisons by ranking methods*. Biometrics Bulletin, 80-83.

En este caso:

$$W_{\text{calculado}}^{-} = 0$$

$$W_{\text{critico}} = 3$$

Debido a estos resultados ($W^-_{\text{calculado}} \leq W_{\text{critico}}$), se rechaza la hipótesis nula.

c. Determinación del Valor Crítico y P-Valor

La determinación del p valor, se sabe que, la variable aleatoria es el estadístico de prueba W calculado antes, asumiendo como verdad la hipótesis nula (H_0).

La estructura probabilística se define como una distribución de probabilidad con procesos de Bernoulli, más precisamente una distribución binomial, para ello se define una variable aleatoria.

X: número de pares con diferencia significativa.

Entonces, si la hipótesis nula es verdadera, cada par tiene una probabilidad:

$$P(\text{diferencia positiva}) = P(\text{diferencia negativa}) = 0.5$$

Por lo tanto:

$$X \sim \text{Binomial} (n = 6, p = 0.5)$$

- $n=6$, es el número de ensayos independientes que se hicieron.
- $p=0.5$, es la probabilidad de éxito (mejora o no mejora) bajo H_0

La función de distribución de probabilidad binomial es como sigue:

$$P(X = x) = \binom{n}{x} \cdot p^x \cdot (1 - p)^{n-x}$$

En los ensayos realizados, se corrobora que en los 6 pares de muestras (natural y alterada) han tenido mejoras, asumiendo la hipótesis nula como cierta, se plantea la siguiente pregunta: “¿Cuál es la probabilidad de obtener un resultado extremo que el obtenido?”

Para una prueba unilateral derecha, significa que $W^+ \geq 21$ o equivalente a $X \geq 6$.

Para calcularlo se aplica la distribución binomial:

$$X \sim \text{Binomial} (n = 6, p = 0.5)$$

$$P(X \geq 6) = 1 - P(X < 6)$$

$$P(X \geq 6) = 1 - [P(X = 5) + P(X = 4) + \dots + P(X = 0)]$$

$$P(X \geq 6) = 1 - \sum_{i=0}^5 \binom{n}{i} \cdot p^i \cdot (1-p)^{n-i}$$

$$P(X \geq 6) = 1 - \sum_{i=0}^5 \binom{6}{i} \cdot (0.5)^i \cdot (0.5)^{6-i}$$

$$P(X = 5) = 0.09375$$

$$P(X = 4) = 0.23438$$

$$P(X = 3) = 0.31250$$

$$P(X = 2) = 0.23438$$

$$P(X = 1) = 0.09675$$

$$P(X = 0) = 0.01563$$

$$P(X \geq 6) = 1 - (0.09375 + 0.23438 + 0.31250 + 0.23438 + 0.09675 + 0.01563)$$

$$P(X \geq 6) = 1 - 0.984375$$

$$P(X \geq 6) = 0.15625$$

Se concluye que no puede haber valores más extremos en la cola derecha.

$$p_{\text{unilateral}} = P(X \geq 6) = 0.15625$$

$$p_{\text{unilateral}} = 0.15625$$

Comparando con el nivel de significancia:

$$p_{unilateral} < \alpha$$

$$p_{unilateral} < 0.05$$

$$0.0156 < 0.05$$

Se rechaza la hipótesis nula.

Prueba de rangos de Wilcoxon en SPSS

		Rangos		
		N	Rango promedio	Suma de rangos
MEJORADO - CBR	Rangos negativos	0 ^a	,00	,00
	Rangos positivos	6 ^b	3,50	21,00
	Empates	0 ^c		
	Total	6		

a. MEJORADO < CBR

b. MEJORADO > CBR

c. MEJORADO = CBR

Estadísticos de prueba^a

	MEJORADO - CBR
Z	-2,201 ^b
Sig. asintótica(bilateral)	,028
Significación exacta (bilateral)	,031
Significación exacta (unilateral)	,016
Probabilidad en el punto	,016

a. Prueba de rangos con signo de Wilcoxon

b. Se basa en rangos negativos.

a. Análisis complementario

A continuación, se muestran tablas comparativas de los resultados.

Tabla A6.

Análisis de mejora individual por adición de lutita

Calicata	CBR Natural	CBR Modificado	Mejora Absoluta (p.p)	Mejora Relativa (%)
C-01	13.7	30.3	+16.6	+121.2%
C-01 (R)	13.7	30.6	+16.9	+123.4%
C-02	10.5	32.5	+22.0	+209.5%
C-02 (R)	10.5	32.4	+21.9	+208.6%
C-03	14.6	31.8	+17.2	+117.8%
C-03 (R)	14.6	32.0	+17.4	+119.2%
Promedio	12.93	31.60	+18.67	+149.9%

Tabla A7.

Análisis de mejora por cada calicata con adición de lutita

Calicata	CBR Natural	CBR Modificado promedio	Mejora Absoluta (p.p)	Mejora Relativa (%)
C-01	13.7	30.45	+16.75	+122.3%
C-02	10.5	32.45	+21.95	+209.0%
C-03	14.6	31.90	+17.30	+118.5%

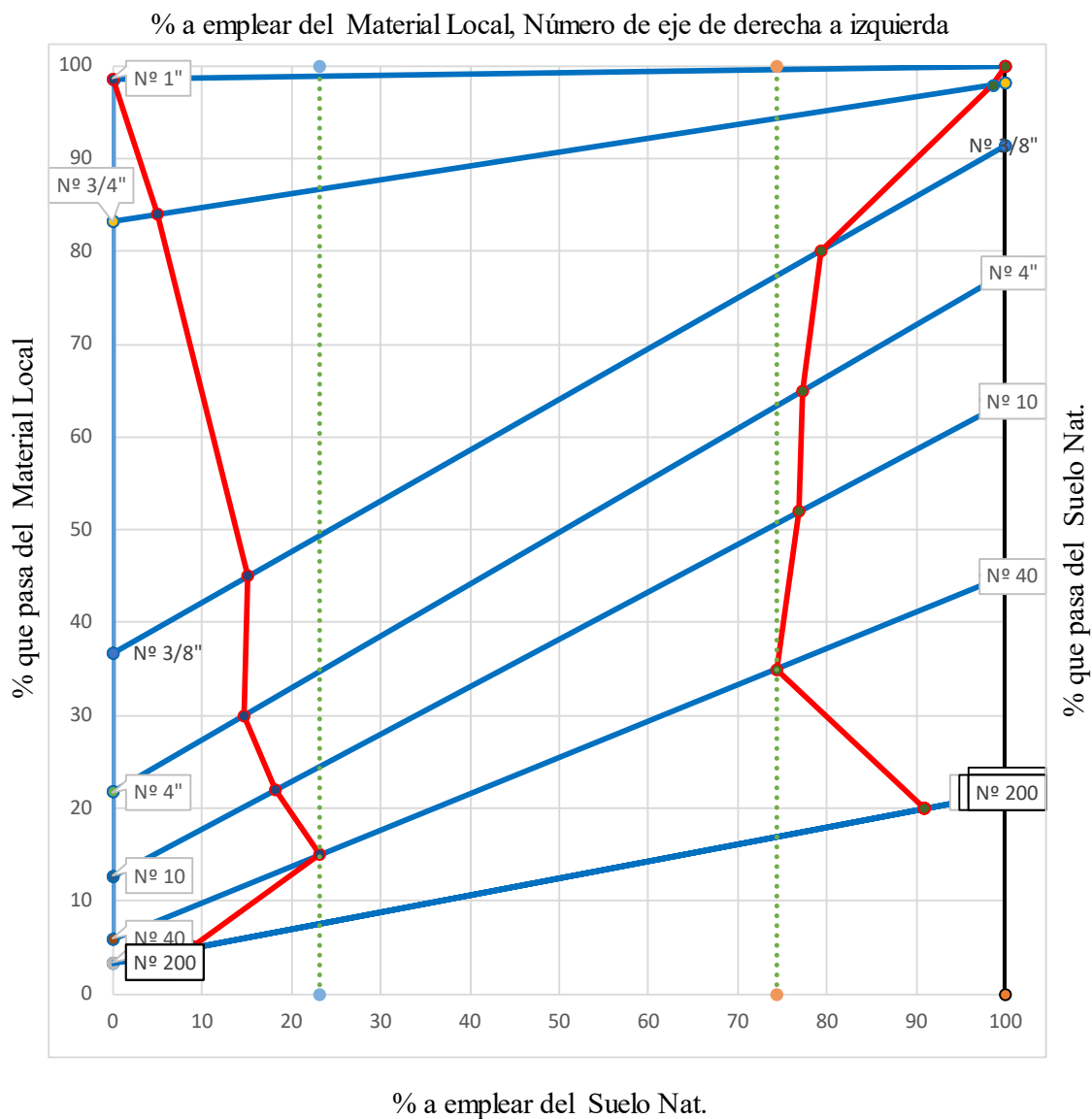
Los hallazgos descriptivos más relevantes son:

- 1. Consistencia direccional:** El 100% de las muestras experimentaron un incremento sustancial en el valor de CBR tras la adición de lutita.
- 2. Magnitud del efecto:** La mejora relativa promedio fue de +149.9%, lo que implica que el CBR se multiplicó aproximadamente por 2.5 respecto al valor natural.
- 3. Relevancia técnica:** Incrementos superiores al 100% representan un cambio de categoría geotécnica del material. Valores de CBR que originalmente clasificaban como Subrasante Regular-Buena (10-20%) pasaron a clasificar como Subrasante Muy Buena (>30%), según la normativa peruana MTC.

ANEXO N°4: MÉTODO GRÁFICO PARA MEZCLA DE DOS SUELOS

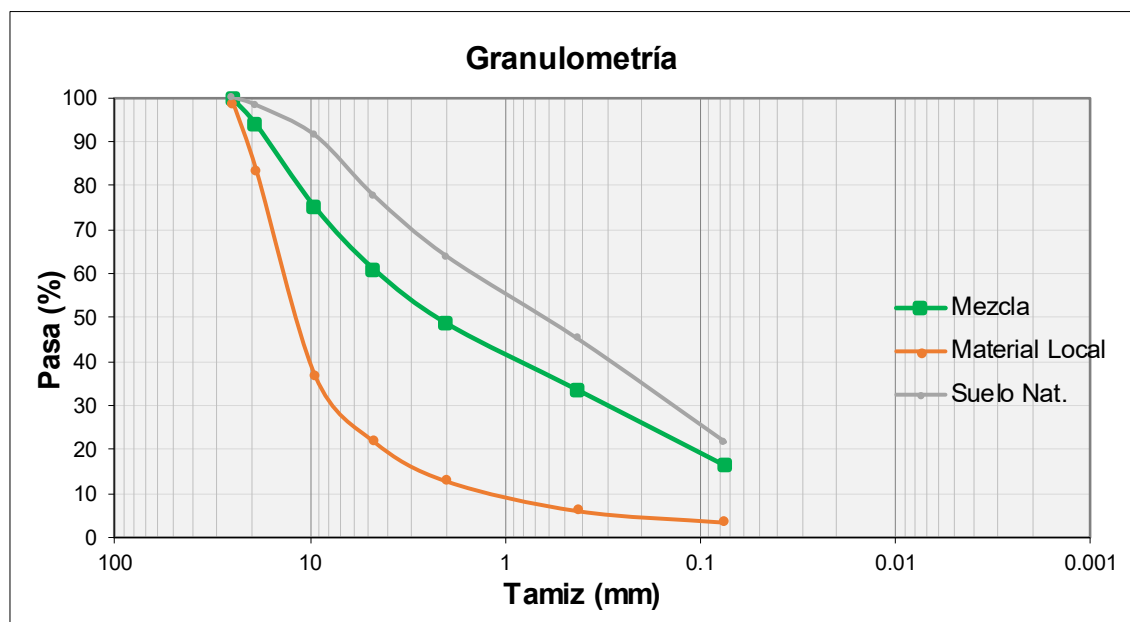
Determinación de porcentaje de adición Calicata 01

GRADACION DE LOS MATERIALES DISPONIBLES					
Tamiz		Porcentaje que pasa Mayores % / Menores %		Especificaciones	
mm	Nombre	Material Local	Suelo Nat.	Desde C ↑→	←↑ Desde D
25	N° 1"	98.57	100	98.57	100
19	N° 3/4"	83.24	98.21	84	98
9.5	N° 3/8"	36.7	91.35	45	80
4.75	N° 4"	21.75	77.67	30	65
2	N° 10	12.7	63.8	22	52
0.425	N° 40	5.98	45.03	15	35
0.075	N° 200	3.38	21.65	5	20



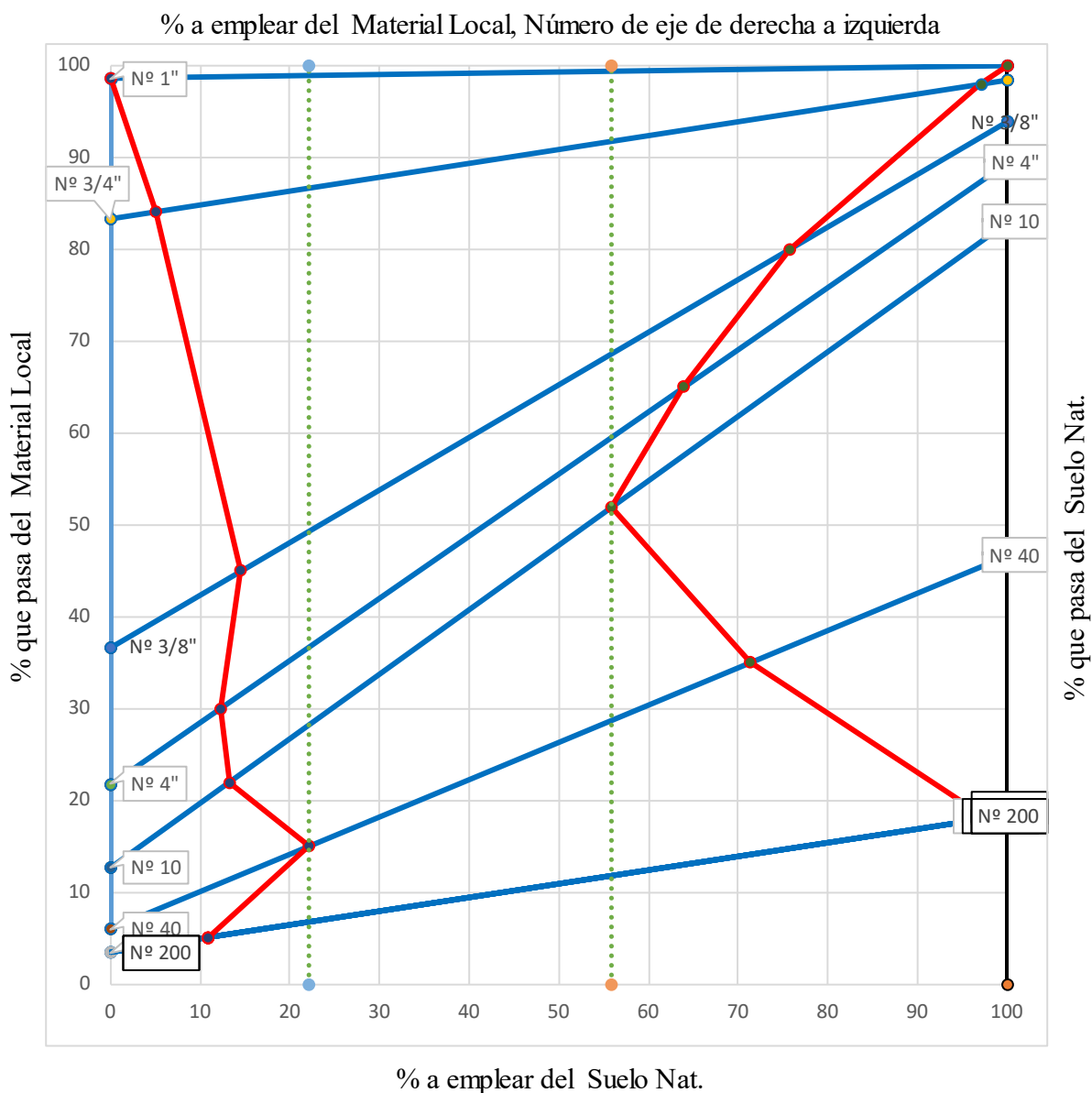
% para la mezcla de los materiales	
Material Local	Suelo Nat.
25.69 - 76.9	23.1 - 74.31
30.0%	70.0%

RESULTADOS DE LA MEZCLA DE LOS MATERIALES							
Tamiz	Material Local	Suelo Nat.	Aporte		Mezcla Final	Cumple	
			30% Material Local	70% Suelo Nat.		Si	No
Nº 1"	98.57	100	29.571	70	99.571	SI	
Nº 3/4"	83.24	98.21	24.972	68.747	93.719	SI	
Nº 3/8"	36.7	91.35	11.01	63.945	74.955	SI	
Nº 4"	21.75	77.67	6.525	54.369	60.894	SI	
Nº 10	12.7	63.8	3.81	44.66	48.47	SI	
Nº 40	5.98	45.03	1.794	31.521	33.315	SI	
Nº 200	3.38	21.65	1.014	15.155	16.169	SI	



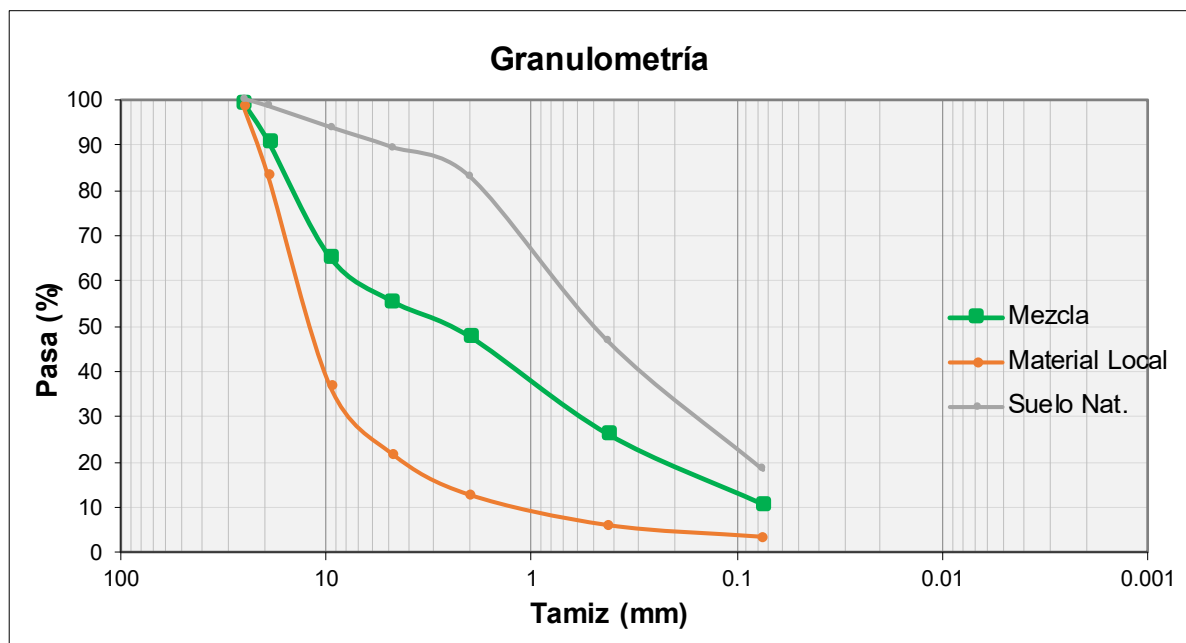
Determinación de porcentaje de adición Calicata 02

GRADACION DE LOS MATERIALES DISPONIBLES					
Tamiz		Porcentaje que pasa Mayores % / Menores %		Especificaciones	
mm	Nombre	Material Local	Suelo Nat.	Desde C $\uparrow \rightarrow$	$\leftarrow \uparrow$ Desde D
25	Nº 1"	98.57	100	98.57	100
19	Nº 3/4"	83.24	98.45	84	98
9.5	Nº 3/8"	36.7	93.81	45	80
4.75	Nº 4"	21.75	89.4	30	65
2	Nº 10	12.7	82.98	22	52
0.425	Nº 40	5.98	46.65	15	35
0.075	Nº 200	3.38	18.33	5	18



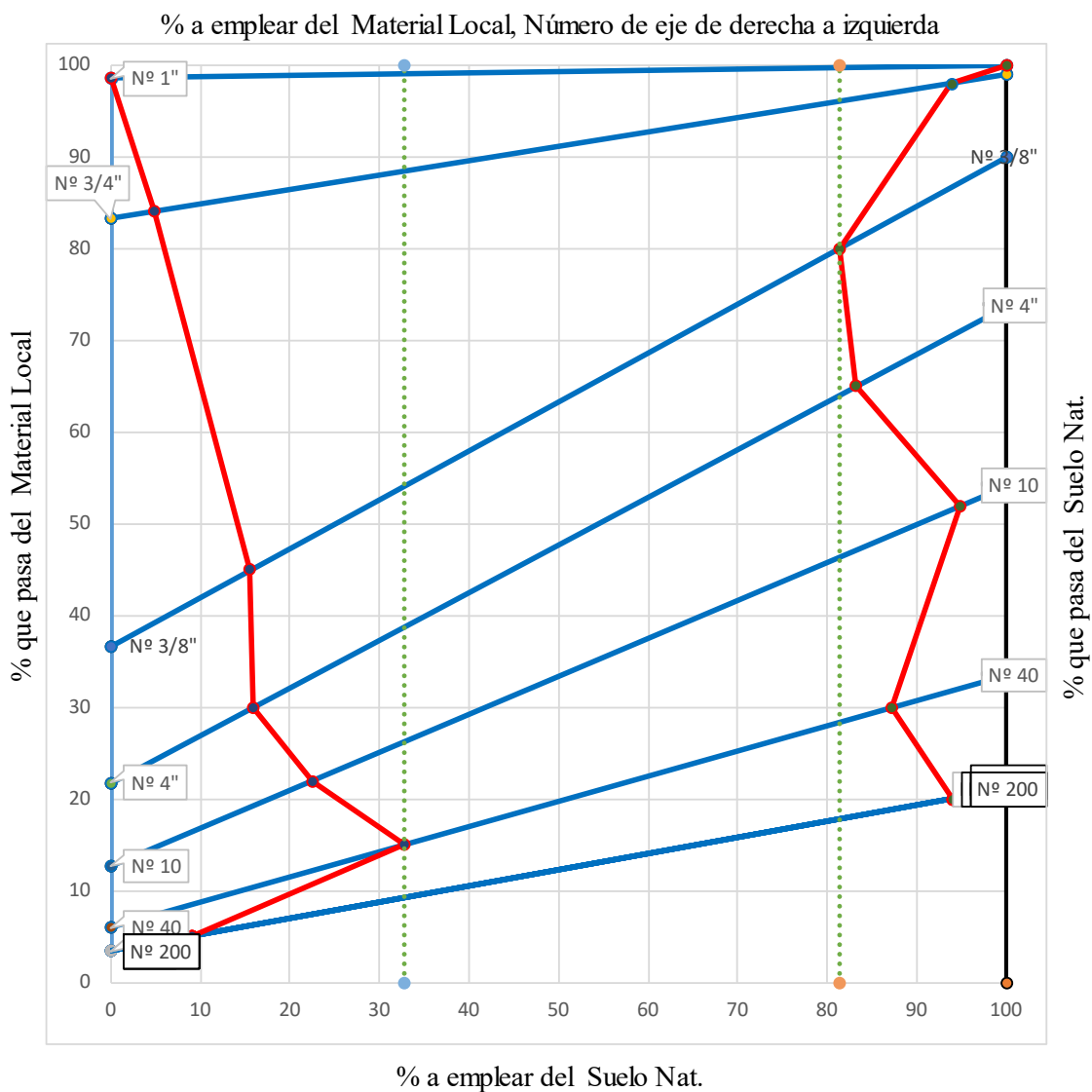
% para la mezcla de los materiales	
0	0
44.08 - 77.82	22.18 - 55.92
50.0%	50.0%

RESULTADOS DE LA MEZCLA DE LOS MATERIALES							
Tamiz	Material Local	Suelo Nat.	Aporte		Mezcla Final	Cumple	
			50% Material Local	50% Suelo Nat.		Si	No
Nº 1"	98.57	100	49.285	50	99.285	SI	
Nº 3/4"	83.24	98.45	41.62	49.225	90.845	SI	
Nº 3/8"	36.7	93.81	18.35	46.905	65.255	SI	
Nº 4"	21.75	89.4	10.875	44.7	55.575	SI	
Nº 10	12.7	82.98	6.35	41.49	47.84	SI	
Nº 40	5.98	46.65	2.99	23.325	26.315	SI	
Nº 200	3.38	18.33	1.69	9.165	10.855	SI	



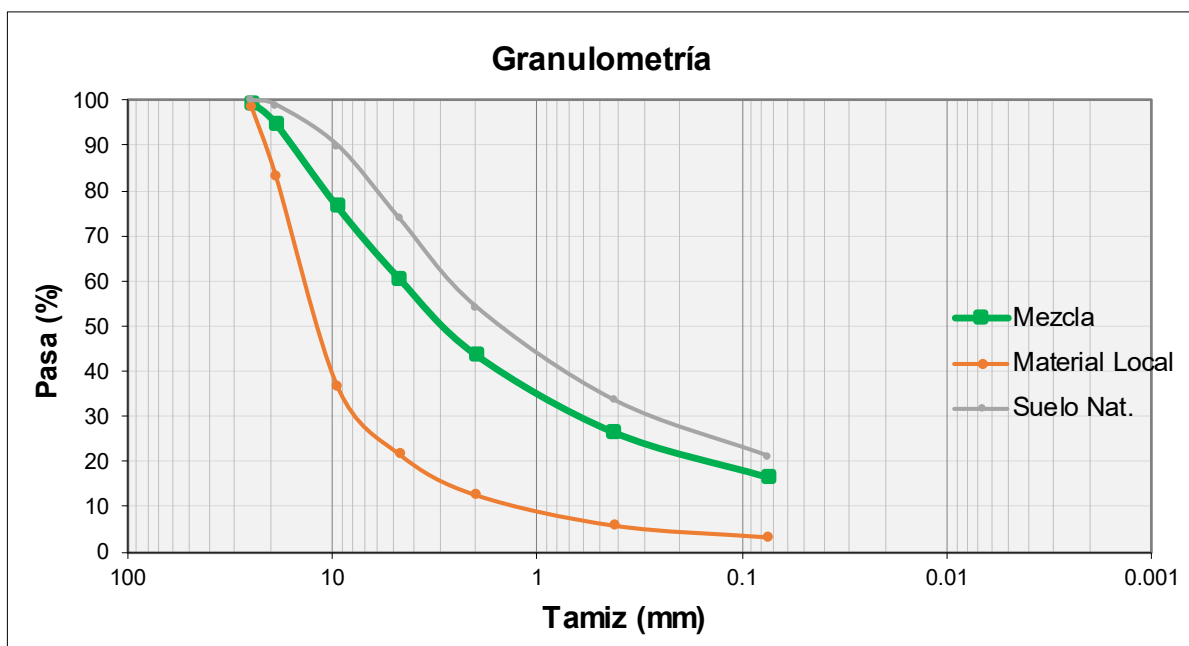
Determinación de porcentaje de adición Calicata 03

GRADACION DE LOS MATERIALES DISPONIBLES					
Tamiz		Porcentaje que pasa Mayores % / Menores %		Especificaciones	
mm	Nombre	Material Local	Suelo Nat.	Desde C ↑→	←↑ Desde D
25	Nº 1"	98.57	100	98.57	100
19	Nº 3/4"	83.24	98.97	84	98
9.5	Nº 3/8"	36.7	89.96	45	80
4.75	Nº 4"	21.75	73.77	30	65
2	Nº 10	12.7	54.14	22	52
0.425	Nº 40	5.98	33.49	15	30
0.075	Nº 200	3.38	21.04	5	20



% para la mezcla de los materiales	
0	0
18.7 - 67.21	32.79 - 81.3
25.0%	75.0%

RESULTADOS DE LA MEZCLA DE LOS MATERIALES							
Tamiz	Material Local	Suelo Nat.	Aporte		Mezcla Final	Cumple	
			25% Material Local	75% Suelo Nat.		Si	No
Nº 1"	98.57	100	24.6425	75	99.6425	SI	
Nº 3/4"	83.24	98.97	20.81	74.2275	95.0375	SI	
Nº 3/8"	36.7	89.96	9.175	67.47	76.645	SI	
Nº 4"	21.75	73.77	5.4375	55.3275	60.765	SI	
Nº 10	12.7	54.14	3.175	40.605	43.78	SI	
Nº 40	5.98	33.49	1.495	25.1175	26.6125	SI	
Nº 200	3.38	21.04	0.845	15.78	16.625	SI	

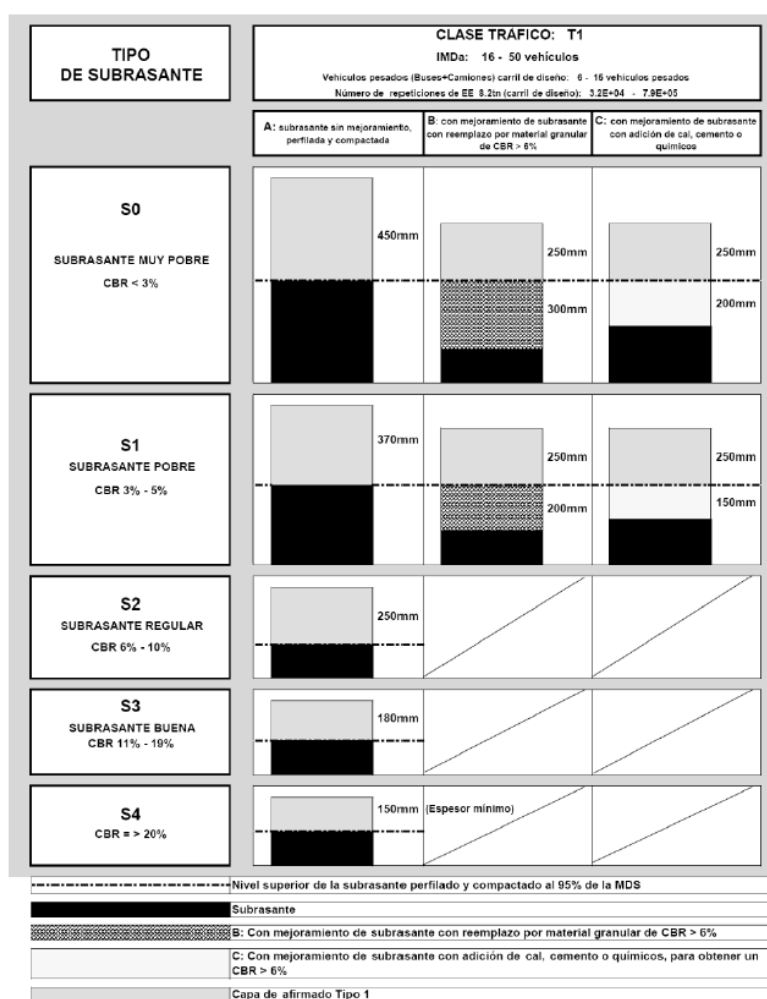


ANEXO N°5: DEDUCCIÓN DE ECUACIÓN DE DOSIFICACIÓN POR MASA

Se deduce la ecuación de dosificación para la capa de mejoramiento con lutita, asumiendo un espesor de 20 cm de espesor. El espesor elegido, es debido a la norma del MTC, manual de diseño de carreteras no pavimentadas de bajo volumen de tránsito, para mejoramiento de subrasante.

Figura A1

Tipos de espesores usados para mejoramiento de subrasante.



Nota: Imagen obtenida del manual de diseño de carreteras no pavimentadas MTC

Sabiendo que el ancho y la longitud de la carretera son constantes, entonces se deduce la siguiente ecuación considerando las siguientes variables:

- B = ancho de vía (m)
- L = longitud del tramo (m)
- H = espesor total de capa (m)
- p = porcentaje de lutita (en decimales)
- γ_L = densidad seca de lutita (kg/m^3)
- γ_s = densidad seca del suelo natural (kg/m^3)

Las variables que necesitamos encontrar son los espesores del suelo natural y el espesor del material local (lutita) correspondiente a su respectivo porcentaje de mejoramiento de la subrasante:

- h_L = espesor de lutita (m)
- h_s = espesor de suelo natural (m)

Se sabe, por las condiciones del problema, la suma de los espesores, da el espesor total del mejoramiento, que se ha planteado a 20 cm de la subrasante.

$$h_L + h_s = H$$

Se deduce a continuación el porcentaje de la lutita, en función de las densidades:

- W_L = peso seco de la lutita.
- W_s = peso seco del suelo natural.
- W_T = peso seco total de la mezcla.

$$W_L + W_s = W_T$$

El porcentaje de la lutita, se define como:

$$\gamma_L = \frac{W_L}{W_T} \times 100$$

Reemplazando W_T :

$$p_L = \frac{W_L}{W_L + W_s} \times 100 \dots (1)$$

Relación de peso, volumen y densidad:

$$W = \gamma V$$

Donde:

- γ : densidad seca del material
- V : volumen ocupado

Entonces:

Peso en función de la densidad para la lutita:

$$W_L = \gamma_L V_L$$

Peso en función de la densidad para la suelo natural:

$$W_s = \gamma_s V_s$$

Ambos resultados, se sustituyen en la ecuación 1:

$$p_L = \frac{\gamma_L V_L}{\gamma_L V_L + \gamma_s V_s} \times 100 \dots (2)$$

Para una sección transversal, deducimos las ecuaciones del volumen, para las variables que se habían definido al principio:

$$V_L = BLh_L$$

$$V_s = BLh_s$$

Reemplazando las ecuaciones del volumen, para la lutita y suelo natural respectivamente en la ecuación 2:

$$p_L = \frac{\gamma_L B L h_L}{\gamma_L B L h_L + \gamma_s B L h_s} \times 100$$

Factorizando las variables ancho (B) y largo (L):

$$p_L = \frac{\gamma_L h_L}{\gamma_L h_L + \gamma_s h_s} \times 100$$

Del espesor total para excavación, se sabe que es la suma, del espesor del terreno natural y el espesor de cantidad de lutita que se utilizará para el mejoramiento, entonces:

$$h_s = H - h_L$$

Se sustituye en la ecuación anterior:

$$p_L = \frac{\gamma_L h_L}{\gamma_L h_L + \gamma_s (H - h_L)} \times 100$$

Dado que el porcentaje en la ecuación estará expresado en decimales, no es necesario que se multiplique por cien:

$$p = \frac{\gamma_L h_L}{\gamma_L h_L + \gamma_s (H - h_L)}$$

Desarrollando la ecuación para despejar el espesor de la lutita:

$$p[\gamma_L h_L + \gamma_s (H - h_L)] = \gamma_L h_L$$

$$p\gamma_L h_L + p\gamma_s (H - h_L) = \gamma_L h_L$$

$$p\gamma_L h_L + p\gamma_s H - p\gamma_s h_L = \gamma_L h_L$$

$$p\gamma_s H = \gamma_L h_L + p\gamma_s h_L - p\gamma_L h_L$$

$$p\gamma_s H = [\gamma_L + p\gamma_s - p\gamma_L] h_L$$

$$p\gamma_s H = [\gamma_L(1 - p) + p\gamma_s] h_L$$

$$h_L = \frac{p\gamma_s H}{\gamma_L(1-p) + p\gamma_s}$$

El espesor de lutita para una sección transversal para el mejoramiento de lutita es el siguiente:

$$h_L = \frac{p\gamma_s H}{\gamma_L(1-p) + p\gamma_s}$$

Reemplazando los valores de la ecuación para una densidad de lutita de 2.2 kg/m³ y densidad de suelo natural de 1.89 kg/m³, se obtiene los siguientes resultados:

Tabla A5.

Espesor de capa de material local calculado de acuerdo a la ecuación deducida.

Porcentaje de Lutita	Espesor de capa de lutita (m)	Espesor de capa de suelo natural (m)	Espesor de capa de lutita en campo (m)	Espesor de capa de suelo natural en campo (m)
30%	0.0538	0.1462	0.06	0.14
50%	0.0924	0.1076	0.10	0.10
25%	0.0445	0.1555	0.05	0.15

Para fines de aplicación práctica, los espesores se calcularon proporcionalmente utilizando una aproximación volumétrica.

ANEXO N°6: ENSAYOS DE LABORATORIO

PROYECTO: MEJORAMIENTO DEL ÍNDICE CBR DE LA TROCHA CARROZABLE HUACASCHUQUE-PUCHUVALLE CON ADICIÓN DE MATERIAL LOCAL EN PALLASCA-ANCASH-2023

UBICACION: HUACASCHUQUE - PALLASCA - ANCASH

FECHA: Mayo - 2025

Calicata: C-01

Profundidad: 1.40 m

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

MTC E 107 - 2000, Basado en la Norma ASTM D-422 y AASHTO T-88

Antes del lavado

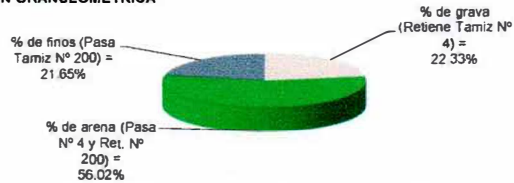
Peso de la Muestra Seca total= **1420.00 gr**

Peso final de la Muestra = **1424.70 gr**

% de Error en Peso = **-0.33%** Ok!

TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gr)	PESO QUE PASA (gr)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
4"	100	0.00	1424.70	0.00%	0.00%	100.00%
3"	75	0.00	1424.70	0.00%	0.00%	100.00%
2"	50	0.00	1424.70	0.00%	0.00%	100.00%
1½"	37.5	0.00	1424.70	0.00%	0.00%	100.00%
1"	25	0.00	1424.70	0.00%	0.00%	100.00%
¾"	19	25.50	1399.20	1.79%	1.79%	98.21%
⅜"	9.5	97.80	1326.90	6.86%	8.65%	91.35%
Nº 4	4.75	194.90	1229.80	13.68%	22.33%	77.67%
Nº 10	2	197.60	1227.10	13.87%	36.20%	63.80%
Nº 20	0.850	150.60	1274.10	10.57%	46.77%	53.23%
Nº 40	0.425	116.70	1308.00	8.19%	54.97%	45.03%
Nº 60	0.250	92.00	1332.70	6.46%	61.42%	38.58%
Nº 100	0.150	103.60	1321.10	7.27%	68.70%	31.30%
Nº 200	0.075	137.60	1287.10	9.66%	78.35%	21.65%
Cazoleta		308.40	1116.30	21.65%	100.00%	0.00%
Peso total después del lavado =		1424.70		100.00%		

PROPORCIÓN GRANULOMÉTRICA



% de grava (Retiene Tamiz Nº 4) = 22.33%

% de arena (Pasa Nº 4 y Ret. Nº 200) = 56.02%

% de finos (Pasa Tamiz Nº 200) = 21.65%

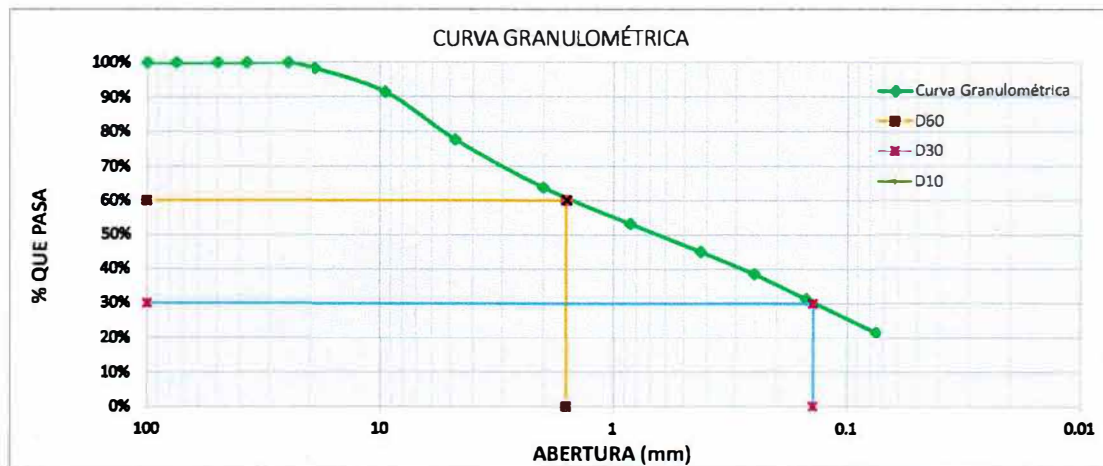
Total: 100.00%

Fracción Gruesa

% de grava = 28.50%

% de arena = 71.50%

Total = 100.00%



D60 = 1.59 mm
D30 = 0.14 mm
D10 = -

Cu = -
Cc = -

JEFATURA
 Jefe de Laboratorio
 Ms. Julio Cesar Rivasplata Diaz

TÉCNICO DE LABORATORIO
 Bach. Javier Ramos Paredes



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS



PROYECTO: MEJORAMIENTO DEL ÍNDICE CBR DE LA TROCHA CARROZABLE HUACASCHUQUE-PUCHUVALLE CON ADICIÓN DE MATERIAL LOCAL EN PALLASCA-ANCASH-2023

UBICACION: HUACASCHUQUE - PALLASCA . ANCASH

FECHA: Junio 2025

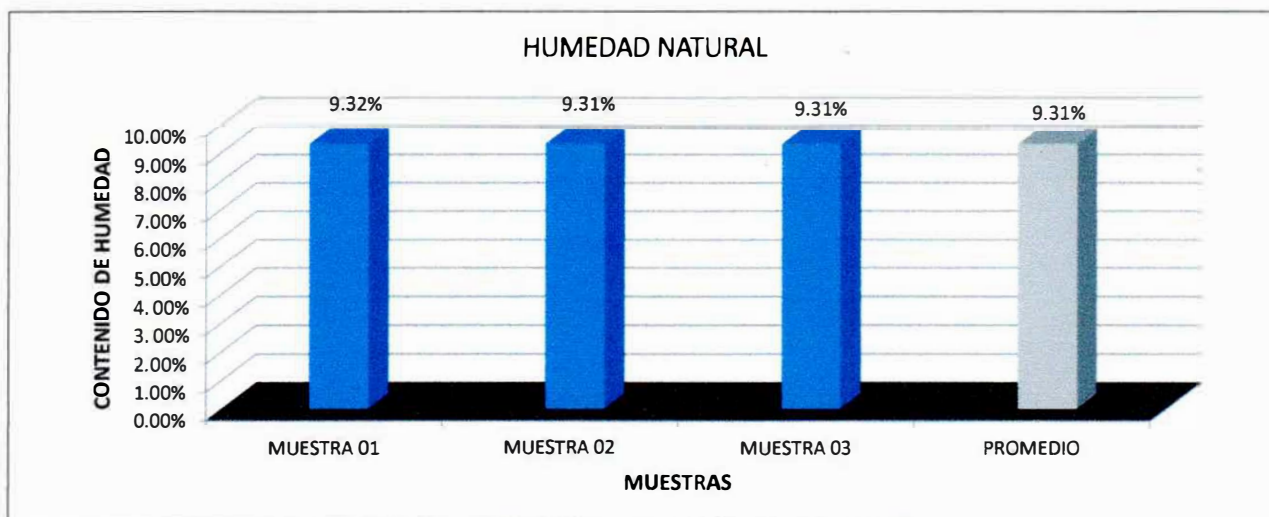
Calicata: C-01

Profundidad: 1.40 m

HUMEDAD NATURAL

NTP - 339.127, Basado en la Norma ASTM D-2216

DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03
Peso de Capsula (gr)	27.79	27.99	28.79
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	51.47	63.40	55.39
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	49.46	60.38	53.13
Peso del Agua (gr)	2.02	3.02	2.27
Peso de la Muestra Seca (gr)	21.66	32.39	24.34
Contenido de Humedad	9.32%	9.31%	9.31%



CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL = 9.31%

JEFE DE LABORATORIO
Ms. Julio Cesar Rivasplata Diaz



TÉCNICO DE LABORATORIO
Bach. Javier Ramos Paredes



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS



PROYECTO: MEJORAMIENTO DEL ÍNDICE CBR DE LA TROCHA CARROZABLE HUACASCHUQUE-PUCHUVALLE CON ADICIÓN DE MATERIAL LOCAL EN PALLASCA-ANCASH-2023

UBICACION: HUACASCHUQUE - PALLASCA - ANCASH

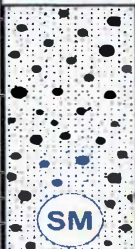
FECHA: Mayo - 2025

Calicata: C-01

Profundidad: 1.40 m

SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS (SUCS)

ASTM D-2487

DATOS PARA CLASIFICACIÓN		CRITERIOS PARA LA ASIGNACIÓN DE SÍMBOLOS DE GRUPO Y NOMBRE DE GRUPO CON EL USO DE ENSAYOS DE LABORATORIO				SÍMBOLO	NOMBRE DE GRUPO			
De Granulometría		SM ARENA LIMOSA (Sand with silt) 	GRAVAS LIMPIAS		$Cu \geq 4$ y $1 \leq Cc \leq 3$	GW	Grava bien graduada			
% de Gruesos = 78.35%	Menos del 5% pasa la malla Nº 200		$Cu < 4$ ó $1 > Cc > 3$	GP	Grava mal graduada					
% de Finos = 21.65%	GRAVAS Más del 50% de la fracción gruesa es retenida en la malla Nº 4		GRAVAS CON FINOS Mas del 12% pasa la malla Nº 200		$IP < 4$ ó abajo de la línea "A" en la carta de plasticidad	GM	Grava limosa			
Total = 100.00%			$IP > 7$ y arriba de la línea "A" en la carta de plasticidad		GC	Grava arcillosa				
% de Grava = 22.33%			$4 \leq IP \leq 7$ y arriba de la línea "A" en la carta de plasticidad		GC - GM	Grava limosa arcillosa				
% de Arena = 56.02%			Cumple los criterios para GW y GM		GW - GM	Grava bien graduada con limo				
Total = 78.35%	SUELOS DE PARTÍCULAS GRUESAS Más del 50% es retenido en la malla Nº 200		GRAVAS LIMPIAS Y CON FINOS Entre el 5 y 12% pasa malla Nº 200		Cumple los criterios para GW y GC o para GW y GC - GM	GW - GC	Grava bien graduada con arcilla			
Fracción Gruesa			Cumple los criterios para GP y GM		GP - GM	Grava mal graduada con limo				
% de Grava = 28.50%			Cumple los criterios para GP y GC o para GP y GC - GM		GP - GC	Grava mal graduada con arcilla				
% de Arena = 71.50%										
Total = 100.00%	ARENAS El 50% o más de la fracción gruesa pasa la malla Nº 4		ARENAS LIMPIAS Menos del 5% pasa la malla Nº 200		$Cu \geq 6$ y $1 \leq Cc \leq 3$	SW	Arena bien graduada			
Coefficientes			$Cu < 6$ ó $1 > Cc > 3$		SP	Arena mal graduada				
Cu = -			ARENAS CON FINOS Mas del 12% pasa la malla Nº 200		$IP < 4$ ó abajo de la línea "A" en la carta de plasticidad	SM	Arena limosa			
Cc = -					$IP > 7$ y arriba de la línea "A" en la carta de plasticidad		SC	Arena arcillosa		
De Límites de Consistencia		$4 \leq IP \leq 7$ y arriba de la línea "A" en la carta de plasticidad			SC - SM	Arena limosa arcillosa				
		Cumple los criterios para SW y SM			SW - SM	Arena bien graduada con limo				
		Cumple los criterios para SW y SC o para SW y SC - SM		SW - SC	Arena bien graduada con arcilla					
		Cumple los criterios para SP y SM		SP - SM	Arena mal graduada con limo					
Otros Datos Tipo = Inorgánico		ARENAS LIMPIAS Y CON FINOS Entre el 5 y 12% pasa malla Nº 200		Cumple los criterios para SP y SC o para SP y SC - SM	SP - SC	Arena mal graduada con arcilla				
		SUELOS DE PARTÍCULAS FINAS El 50% o más pasa la malla Nº 200		$IP < 4$ ó abajo de la línea "A" en la carta de plasticidad		ML	Limo de baja plasticidad			
				$IP > 7$ y arriba de la línea "A" en la carta de plasticidad		CL	Arcilla de baja plasticidad			
				$4 \leq IP \leq 7$ y arriba de la línea "A" en la carta de plasticidad		CL - ML	Arcilla limosa			
$\frac{\text{Límite Líquido secado al horno}}{\text{Límite Líquido no secado}} < 0.75$				OL	Limo orgánico					
		LIMOS Y ARCILLAS Límite Líquido menor que 50		Inorgánicos	Se grafica en la carta de plasticidad abajo de la línea "A"		MH	Limo de alta plasticidad		
		Se grafica en la carta de plasticidad arriba de la línea "A"			CH	Arcilla de alta plasticidad				
				LIMOS Y ARCILLAS Límite Líquido 50 o mayor		Orgánicos	$\frac{\text{Límite Líquido secado al horno}}{\text{Límite Líquido no secado}} < 0.75$		OH	Limo orgánico
								Arcilla orgánica		
		SUELOS ALTAMENTE ORGÁNICOS		Principalmente materia orgánica de color oscuro		Pt	Turba			

SM = Arena limosa con grava

JEFE DE LABORATORIO
Ms. Julio Cesar Rivas Plata Diaz

TÉCNICO DE LABORATORIO
Bach. Javier Ramos Paredes



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS



PROYECTO: MEJORAMIENTO DEL ÍNDICE CBR DE LA TROCHA CARROZABLE HUACASCHUQUE-PUCHUVALLE CON ADICIÓN DE MATERIAL LOCAL EN PALLASCA-ANCASH-2023

UBICACION: HUACASCHUQUE - PALLASCA - ANCASH

FECHA: Mayo - 2025

Calicata: C-01

Profundidad: 1.40 m

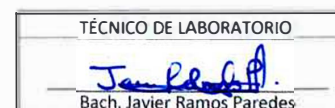
CLASIFICACIÓN DE SUELOS SEGÚN AASHTO

AASHTO M-145

DATOS PARA CLASIFICACIÓN		
De Granulometría	De Límites de Consistencia	Otros Datos
% que pasa el tamiz Nº 10 = 63.80%	LL = NO PRESENTA	-
% que pasa el tamiz Nº 40 = 45.03%	LP = NO PRESENTA	-
% que pasa el tamiz Nº 200 = 21.65%	IP = NO PRESENTA	

CLASIFICACIÓN GENERAL	MATERIALES GRANULARES (35% o menos pasa el tamiz Nº 200)							MATERIALES LIMO - ARCILLOSOS (más del 35% pasa el tamiz Nº 200)			
GRUPOS	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
SUB - GRUPOS	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5 A-7-6
% que pasa el tamiz: Nº 10	50 máx.										
Nº 40	30 máx.	50 máx.	51 mín.								
Nº 200	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	36 mín.	36 mín.	36 mín.	36 mín.
Características del material que pasa el tamiz Nº 40											
Límite Líquido			No Plástico	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.
Índice de Plasticidad	6 máx.	6 máx.		10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.
Índice de Grupo	0	0	0	0	0	4 máx.	4 máx.	8 máx.	12 máx.	16 máx.	20 máx.
Tipos de Material	Fragmentos de piedra grava y arena		Arena fina	Gravas, arenas limosas y arcillosas				Suelos limosos		Suelos arcillosos	

A-2-4 (0) Arena con limos



ENSAYO PROCTOR MODIFICADO

NTP 339.141, basada en la Norma ASTM D1557.

PROYECTO: MEJORAMIENTO DEL ÍNDICE CBR DE LA TROCHA CARROZABLE HUACASCHUQUE-PUCHUVALLE
CON ADICIÓN DE MATERIAL LOCAL EN PALLASCA-ANCASH-2023

UBICACION: HUACASCHUQUE -PALLASCA-ANCASH

FECHA: Junio 2025

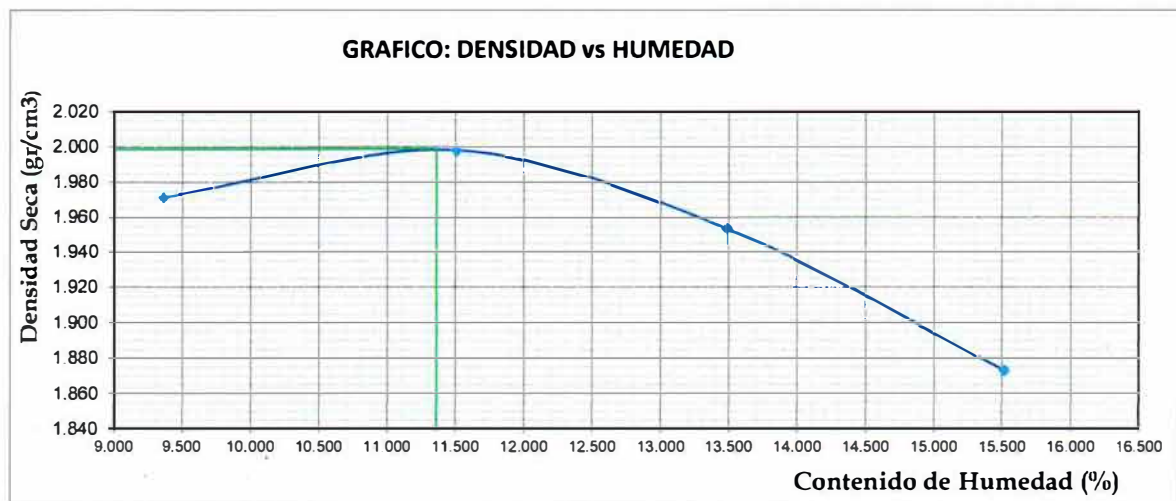
Calicata: C-01

Método: C

PUNTO No.		I	II	III	IV
MOLDE No.		1	1	1	1
1	Volumen del molde (cm^3)	2124.000	2124.000	2124.000	2124.000
2	Peso del molde (gr)	5973.300	5973.300	5973.300	5973.300
3	Peso del molde + muestra húmeda (gr)	10553.400	10706.000	10682.000	10569.100
4	Peso de la muestra húmeda (gr)	4580.100	4732.700	4708.700	4595.800
5	Densidad húmeda de la muestra (gr/cm^3)	2.156	2.228	2.217	2.164

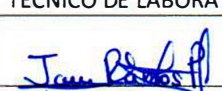
CONTENIDO DE HUMEDAD Y DENSIDAD SECA

6	Peso de la tara (gr)	28.255	27.122	26.650	27.448
7	Peso de la tara + suelo húmedo (gr)	58.147	60.315	69.378	69.499
8	Peso de la tara + suelo seco (gr)	55.587	56.889	64.298	63.851
9	Peso del agua (gr)	2.560	3.426	5.080	5.648
10	Peso del suelo seco (gr)	27.332	29.767	37.648	36.403
11	Contenido de humedad (%)	9.366	11.509	13.493	15.515
12	Densidad seca de la muestra (gr/cm^3)	1.972	1.998	1.953	1.873



Máxima Densidad Seca:	1.999 gr/cm^3
Óptimo Contenido de Humedad:	11.36 %


JEFE DE LABORATORIO
 Ms. Julio César Rivasplata Díaz

TÉCNICO DE LABORATORIO

 Bach. Javier Ramos Paredes



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS



ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)

ASTM D1883

Proyecto : MEJORAMIENTO DEL ÍNDICE CBR DE LA TROCHA CARROZABLE
HUACASCHUQUE-PUCHUVALLE CON ADICIÓN DE MATERIAL LOCAL
EN PALLASCA-ANCASH-2023

Ubicación : HUACASCHUQUE -PALLASCA-ANCASH

Fecha de Ejecución : Junio 2025

Calicata : C-01

Clasificación SUCS : SM

Muestra : M-P01

Clasificación AASHTO : A-2-4

Prof. (m) : 0.00-1.40

Método de Compactación : C

Compactación : Próctor modificado ASTM D1557

Sobrepeso : 4.54 kg

COMPACTACIÓN			
Molde N°	M-C-001	M-C-002	M-C-003
Capas N°	5	5	5
Golpes por capa N°	56	26	12
Condición de la muestra	NO SATURADO	NO SATURADO	NO SATURADO
Peso de molde + Suelo húmedo (g)	8936.4	8668.0	8443.8
Peso de molde (g)	4214.7	4200.3	4206.2
Peso del suelo húmedo (g)	4721.7	4467.7	4237.6
Volumen del molde (cm³)	2120.6	2114.0	2111.0
Densidad húmeda (g/cm³)	2.2	2.1	2.0
Tara (N°)	T/C/023	T/C/021	T/C/016
Peso suelo húmedo + tara (g)	146.3	124.9	155.2
Peso suelo seco + tara (g)	134.1	115.0	142.2
Peso de tara (g)	27.5	27.9	27.8
Peso de agua (g)	12.1	9.9	13.0
Peso de suelo seco (g)	106.6	87.1	114.5
Contenido de humedad (%)	11.4	11.3	11.3
Densidad seca (g/cm³)	1.999	1.898	1.803

EXPANSIÓN											
FECHA	HORA	TIEMPO	DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN	
				mm	%		mm	%		mm	%
16/06/2025	10:00	24	0.00	0.00	0.00	0.20	0.20	0.16	0.30	0.30	0.24
17/06/2025	10:00	48	0.10	0.10	0.08	0.20	0.20	0.16	0.40	0.40	0.31
18/06/2025	10:00	72	0.20	0.20	0.16	0.30	0.30	0.24	0.50	0.50	0.39
19/06/2025	10:00	96	0.25	0.25	0.20	0.50	0.50	0.39	0.80	0.80	0.63

PENETRACIÓN										
Penetración	Carga estándar	Molde nro. M-C-001			Molde nro. M-C-002			Molde nro. M-C-003		
		Carga	Corrección		Carga	Corrección		Carga	Corrección	
(mm)	psi	psi	psi	CBR (%)	psi	psi	CBR (%)	psi	psi	CBR (%)
0.000		0.0			0.0			0.0		
0.635		45.3			31.9			21.6		
1.270		89.6			83.3			45.3		
1.905		133.1			114.5			63.7		
2.540	1000.0	177.4	169.6	16.9559	134.3	136.7	13.66761	85.0	83.0	8.3018785
3.810		231.6			187.7			111.9		
5.080	1500.0	274.7	277.9	18.52637	210.3	218.7	14.57956	136.0	135.7	9.0433657
7.620		335.6			261.0			166.5		
10.160		380.3			288.9			180.1		
12.700		395.1			297.4			192.9		

JEFE DE LABORATORIO
Ms. Julio César Rivasplata Diaz

TÉCNICO DE LABORATORIO
Bach. Javier Ramos Paredes



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS



ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)

ASTM D1883

Proyecto : MEJORAMIENTO DEL ÍNDICE CBR DE LA TROCHA CARROZABLE
HUACASCHUQUE-PUCHUVALLE CON ADICIÓN DE MATERIAL LOCAL
EN PALLASCA-ANCASH-2023

Ubicación : HUACASCHUQUE -PALLASCA-ANCASH

Fecha de Ejecución : Junio 2025

Calicata : C-01

Clasificación SUCS : SM

Muestra : M-P01

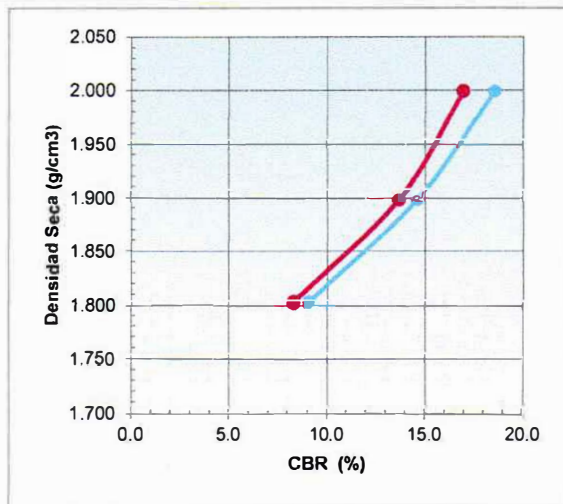
Clasificación AASHTO : A-2-4

Prof. (m) : 0.00-1.40

Método de Compactación : C

Compactación : Próctor modificado ASTM D1557

Sobrepeso : 4.54 kg



Máxima Densidad Seca (g/cm³) : 1.999

Óptimo Contenido de Humedad (%) : 11.36

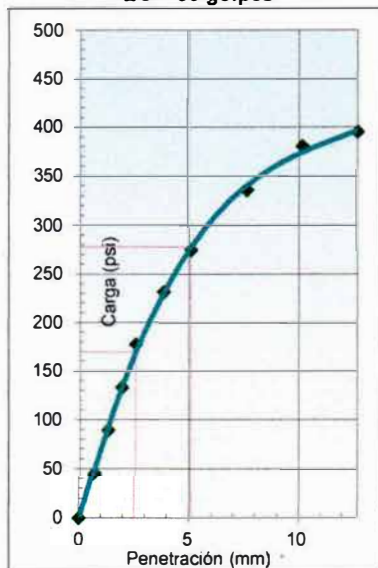
95% máxima densidad seca (g/cm³) : 1.899

RESULTADOS :

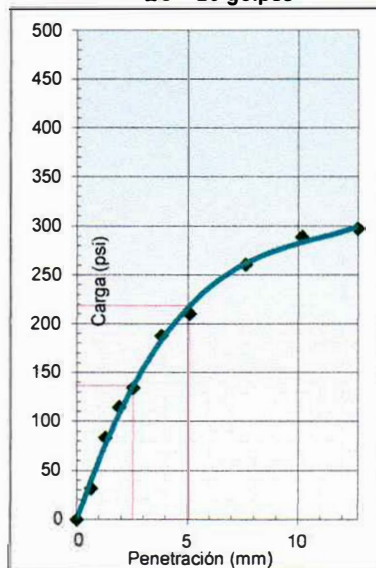
Valor de C.B.R. al 100% de la M.D.S. 0.1": 17.0 ; 0.2": 18.5

Valor de C.B.R. al 95% de la M.D.S. 0.1": 13.7 ; 0.2": 14.6

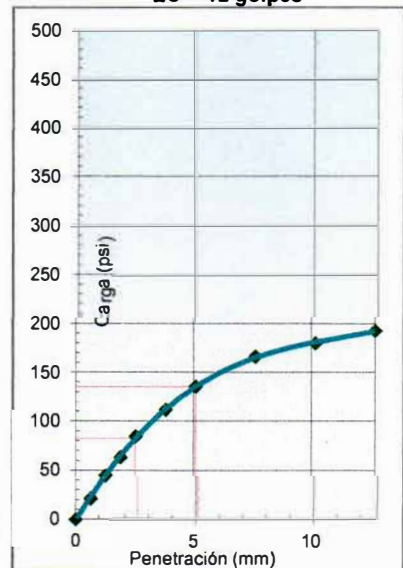
EC = 56 golpes



EC = 26 golpes



EC = 12 golpes



JEFE DE LABORATORIO

Ms. Julio Cesar Rivasplata Diaz

TÉCNICO DE LABORATORIO

Bach. Javier Ramos Paredes

ENSAYO PROCTOR MODIFICADO

NTP 339.141, basada en la Norma ASTM D1557.

PROYECTO: MEJORAMIENTO DEL ÍNDICE CBR DE LA TROCHA CARROZABLE HUACASCHUQUE-PUCHUVALLE CON ADICIÓN DE MATERIAL LOCAL EN PALLASCA-ANCASH-2023

UBICACION: HUACASCHUQUE -PALLASCA-ANCASH

FECHA: Julio 2025

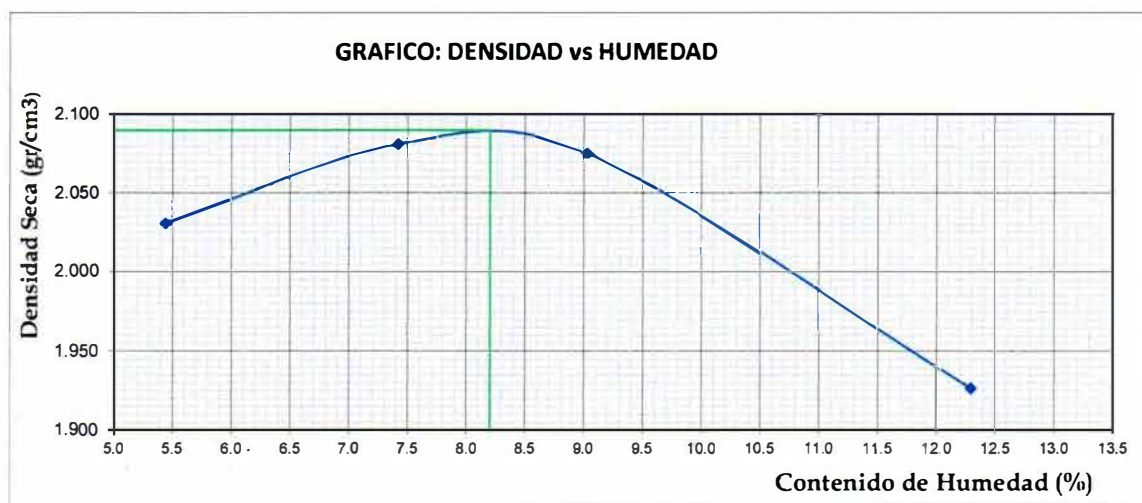
Calicata: C-01+30%L

Método: C

PUNTO No.		I	II	III	IV
MOLDE No.		1	1	1	1
1	Volumen del molde (cm ³)	2123.600	2123.600	2123.600	2123.600
2	Peso del molde (gr)	5973.600	5973.600	5973.600	5973.600
3	Peso del molde + muestra húmeda (gr)	10521.500	10721.900	10779.100	10568.100
4	Peso de la muestra húmeda (gr)	4547.900	4748.300	4805.500	4594.500
5	Densidad húmeda de la muestra (gr/cm ³)	2.142	2.236	2.263	2.164

CONTENIDO DE HUMEDAD Y DENSIDAD SECA

6	Peso de la tara (gr)	26.662	28.037	27.130	26.664
7	Peso de la tara + suelo húmedo (gr)	131.221	132.987	128.950	137.562
8	Peso de la tara + suelo seco (gr)	125.821	125.734	120.516	125.422
9	Peso del agua (gr)	5.400	7.253	8.434	12.140
10	Peso del suelo seco (gr)	99.159	97.697	93.386	98.758
11	Contenido de humedad (%)	5.446	7.424	9.031	12.293
12	Densidad seca de la muestra (gr/cm ³)	2.031	2.081	2.075	1.927



Máxima Densidad Seca:	2.09 gr/cm ³
Optimo Contenido de Humedad:	8.20 %

JEFE DE LABORATORIO

Ms. Julio Cesar Rivasplata Diaz

TÉCNICO DE LABORATORIO

Bach. Javier Ramos Paredes



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS



ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)

ASTM D1883

Proyecto : MEJORAMIENTO DEL ÍNDICE CBR DE LA TROCHA CARROZABLE
HUACASCHUQUE-PUCHUVALLE CON ADICIÓN DE MATERIAL LOCAL
EN PALLASCA-ANCASH-2023

Ubicación : HUACASCHUQUE -PALLASCA-ANCASH

Fecha de Ejecución : Nov- 2025

Calicata : C-01 + 30%

Clasificación SUCS : --

Muestra : M-01

Clasificación AASHTO : --

Prof. (m) : 0.00-1.40

Método de Compactación : C

Compactación : Próctor modificado ASTM D1557

Sobrepeso : 4.54 kg

COMPACTACIÓN			
Molde N°	M-C-001	M-C-002	M-C-003
Capas N°	5	5	5
Golpes por capa N°	56	26	12
Condición de la muestra	NO SATURADO	NO SATURADO	NO SATURADO
Peso de molde + Suelo húmedo (g)	9069.8	8730.2	8497.8
Peso de molde (g)	4204.4	4186.7	4191.5
Peso del suelo húmedo (g)	4865.4	4543.5	4306.3
Volumen del molde (cm ³)	2151.1	2111.0	2114.0
Densidad húmeda (g/cm ³)	2.3	2.2	2.0
Tara (N°)	T/C/023	T/C/021	T/C/016
Peso suelo húmedo + tara (g)	132.6	156.1	149.2
Peso suelo seco + tara (g)	123.5	146.3	140.0
Peso de tara (g)	12.2	27.8	28.0
Peso de agua (g)	9.1	9.7	9.2
Peso de suelo seco (g)	111.3	118.5	112.0
Contenido de humedad (%)	8.2	8.2	8.2
Densidad seca (g/cm ³)	2.090	1.989	1.883

EXPANSIÓN											
FECHA	HORA	TIEMPO	DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN	
				mm	%		mm	%		mm	%
03/11/2025	10:30	24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
04/11/2025	10:30	48	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
05/11/2025	10:30	72	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
06/11/2025	10:30	96	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

PENETRACIÓN										
Penetración	Carga estándar	Molde nro. M-C-001			Molde nro. M-C-002			Molde nro. M-C-003		
		Carga	Corrección		Carga	Corrección		Carga	Corrección	
(mm)	psi	psi	psi	CBR (%)	psi	psi	CBR (%)	psi	psi	CBR (%)
0.000		0.0			0.0			0.0		
0.635		111.2			71.6			55.4		
1.270		190.1			104.1			90.8		
1.905		286.8			248.5			138.9		
2.540	1000.0	433.9	402.3	40.22835	305.0	306.9	30.69409	183.0	175.0	17.502159
3.810		606.6			471.3			271.4		
5.080	1500.0	747.8	753.0	50.19815	606.9	592.3	39.48681	336.5	343.5	22.902679
7.620		1006.7			827.1			509.8		
10.160		1359.6			1039.7			609.0		
12.700		1522.7			1205.6			693.2		

JEFE DE LABORATORIO

Ms. Julio Cesar Rivasplata Diaz



TÉCNICO DE LABORATORIO

Bach. Javier Ramos Paredes

ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)

ASTM D1883

Proyecto : MEJORAMIENTO DEL ÍNDICE CBR DE LA TROCHA CARROZABLE
HUACASCHUQUE-PUCHUVALLE CON ADICIÓN DE MATERIAL LOCAL
EN PALLASCA-ANCASH-2023

Ubicación : HUACASCHUQUE -PALLASCA-ANCASH

Fecha de Ejecución : Nov- 2025

Calicata : C-01 + 30%

Clasificación SUCS : --

Muestra : M-01

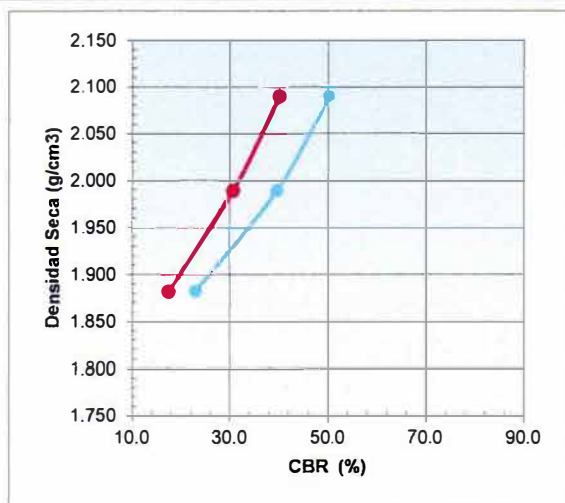
Clasificación AASHTO : --

Prof. (m) : 0.00-1.40

Método de Compactación : C

Compactación : Próctor modificado ASTM D1557

Sobrepeso : 4.54 kg



Máxima Densidad Seca (g/cm³) : 2.090

Óptimo Contenido de Humedad (%) : 8.20

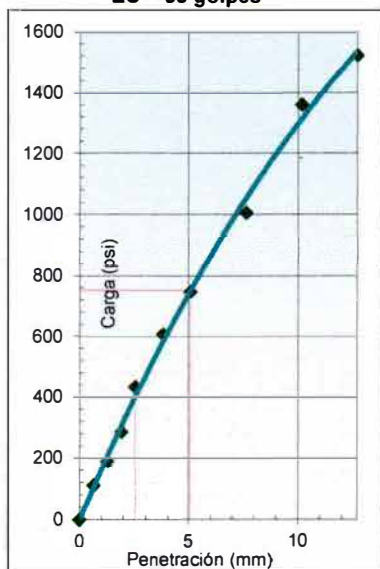
95% máxima densidad seca (g/cm³) : 1.986

RESULTADOS :

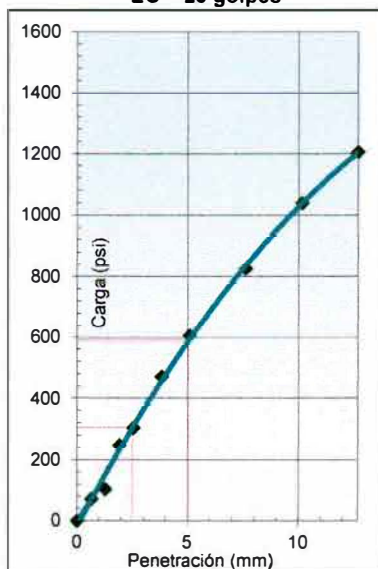
Valor de C.B.R. al 100% de la M.D.S. 0.1' 40.2 ; 0.2": 50.2

Valor de C.B.R. al 95% de la M.D.S. 0.1' 30.3 ; 0.2": 39.1

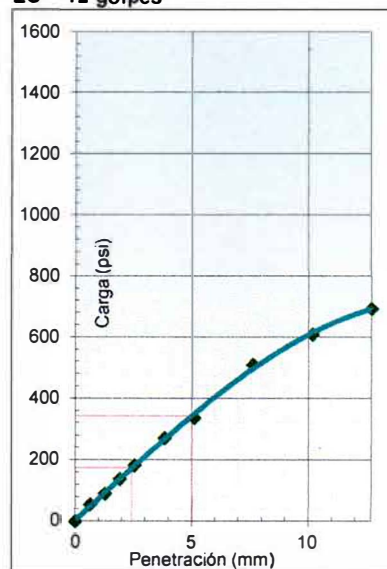
EC = 56 golpes



EC = 26 golpes



EC = 12 golpes



JEFE DE LABORATORIO

Ms. Julio Cesar Rivasplata Diaz

TÉCNICO DE LABORATORIO

Bach. Javier Ramos Paredes



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS



ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)

ASTM D1883

Proyecto : MEJORAMIENTO DEL ÍNDICE CBR DE LA TROCHA CARROZABLE
HUACASCHUQUE-PUCHUVALLE CON ADICIÓN DE MATERIAL LOCAL
EN PALLASCA-ANCASH-2023

Ubicación : HUACASCHUQUE -PALLASCA-ANCASH

Fecha de Ejecución : Dic- 2025

Calicata : C-01 + 30%

Clasificación SUCS : --

Muestra : M-01(R)

Clasificación AASHTO : --

Prof. (m) : 0.00-1.40

Método de Compactación : C

Compactación : Próctor modificado ASTM D1557

Sobrepeso : 4.54 kg

COMPACTACIÓN			
Molde N°	M-C-001	M-C-002	M-C-003
Capas N°	5	5	5
Golpes por capa N°	56	26	12
Condición de la muestra	NO SATURADO	NO SATURADO	NO SATURADO
Peso de molde + Suelo húmedo (g)	9066.9	8728.7	8499.7
Peso de molde (g)	4204.4	4186.7	4191.5
Peso del suelo húmedo (g)	4862.5	4542.0	4308.2
Volumen del molde (cm ³)	2151.1	2111.0	2114.0
Densidad húmeda (g/cm ³)	2.3	2.2	2.0
Tara (N°)	T/C/023	T/C/021	T/C/016
Peso suelo húmedo + tara (g)	162.5	159.4	172.1
Peso suelo seco + tara (g)	152.2	149.4	161.2
Peso de tara (g)	26.7	28.0	27.1
Peso de agua (g)	10.3	10.0	11.0
Peso de suelo seco (g)	125.5	121.4	134.0
Contenido de humedad (%)	8.2	8.2	8.2
Densidad seca (g/cm ³)	2.089	1.989	1.884

EXPANSIÓN											
FECHA	HORA	TIEMPO	DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN	
				mm	%		mm	%		mm	%
01/12/2025	11:00	24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
02/12/2025	11:00	48	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
03/12/2025	11:00	72	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
04/12/2025	11:00	96	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

PENETRACIÓN										
Penetración	Carga estándar	Molde nro. M-C-001			Molde nro. M-C-002			Molde nro. M-C-003		
		Carga	Corrección		Carga	Corrección		Carga	Corrección	
(mm)	psi	psi	psi	CBR (%)	psi	psi	CBR (%)	psi	psi	CBR (%)
0.000		0.0			0.0			0.0		
0.635		111.9			70.9			54.0		
1.270		189.3			102.7			92.9		
1.905		288.2			251.4			137.4		
2.540	1000.0	436.7	398.3	39.83477	304.3	309.4	30.93592	184.5	182.9	18.290909
3.810		615.1			469.1			272.8		
5.080	1500.0	749.9	750.5	50.03115	607.6	592.2	39.47959	340.0	352.5	23.496917
7.620		1007.4			820.0			514.1		
10.160		1360.3			1035.5			607.6		
12.700		1522.0			1204.1			687.5		

JEFE DE LABORATORIO

Ms. Julio Cesar Rivasplata Diaz

TÉCNICO DE LABORATORIO

Bach. Javier Ramos Paredes



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS



ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)

ASTM D1883

Proyecto : MEJORAMIENTO DEL ÍNDICE CBR DE LA TROCHA CARROZABLE
HUACASCHUQUE-PUCHUVALLE CON ADICIÓN DE MATERIAL LOCAL
EN PALLASCA-ANCASH-2023

Ubicación : HUACASCHUQUE -PALLASCA-ANCASH

Fecha de Ejecución : Dic- 2025

Calicata : C-01 + 30%

Clasificación SUCS : --

Muestra : M-01(R)

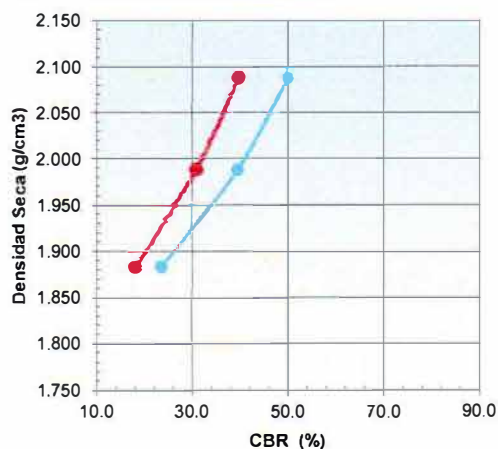
Clasificación AASHTO : --

Prof. (m) : 0.00-1.40

Método de Compactación : C

Compactación : Próctor modificado ASTM D1557

Sobrepeso : 4.54 kg

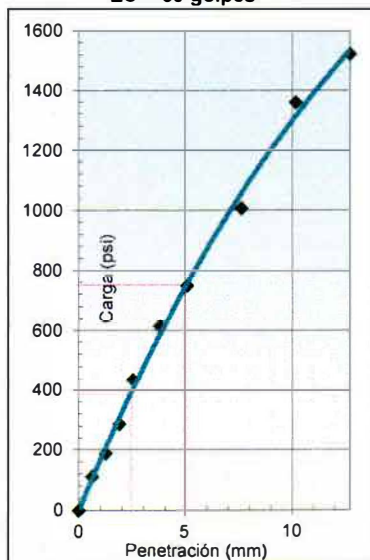


Máxima Densidad Seca (g/cm³) : 2.090
Óptimo Contenido de Humedad (%) : 8.20
95% máxima densidad seca (g/cm³) : 1.986

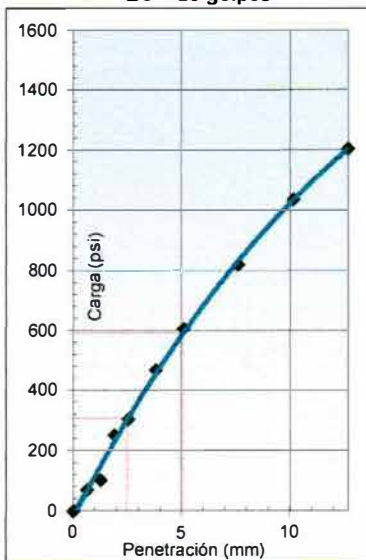
RESULTADOS :

Valor de C.B.R. al 100% de la M.D.S.	0.1" 39.9 ; 0.2" 50.1
Valor de C.B.R. al 95% de la M.D.S.	0.1" 30.6 ; 0.2" 39.0

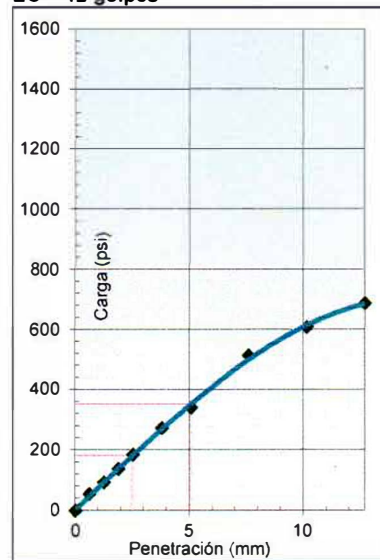
EC = 56 golpes



EC = 26 golpes



EC = 12 golpes



JEFE DE LABORATORIO
Ms. Julio Cesar Rivasplata Diaz

TÉCNICO DE LABORATORIO
Bach. Javier Ramos Paredes

PROYECTO: MEJORAMIENTO DEL ÍNDICE CBR DE LA TROCHA CARROZABLE HUACASCHUQUE-PUCHUVALLE CON ADICIÓN DE MATERIAL LOCAL EN PALLASCA-ANCASH-2023

UBICACION: HUACASCHUQUE - PALLASCA - ANCASH

FECHA: Mayo - 2025

Calicata: C-02

Profundidad: 1.56 m

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

MTC E 107 - 2000, Basado en la Norma ASTM D-422 y AASHTO T-88

Antes del lavado

Peso de la Muestra Seca total= **1678.20 gr**

Peso final de la Muestra = **1676.60 gr**

% de Error en Peso = **0.10%** **Ok!**

TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gr)	PESO QUE PASA (gr)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
4"	100	0.00	1676.60	0.00%	0.00%	100.00%
3"	75	0.00	1676.60	0.00%	0.00%	100.00%
2"	50	0.00	1676.60	0.00%	0.00%	100.00%
1½"	37.5	0.00	1676.60	0.00%	0.00%	100.00%
1"	25	0.00	1676.60	0.00%	0.00%	100.00%
¾"	19	26.00	1650.60	1.55%	1.55%	98.45%
⅜"	9.5	77.70	1598.90	4.63%	6.19%	93.81%
Nº 4	4.75	74.10	1602.50	4.42%	10.60%	89.40%
Nº 10	2	107.60	1569.00	6.42%	17.02%	82.98%
Nº 20	0.850	276.50	1400.10	16.49%	33.51%	66.49%
Nº 40	0.425	332.60	1344.00	19.84%	53.35%	46.65%
Nº 60	0.250	195.00	1481.60	11.63%	64.98%	35.02%
Nº 100	0.150	146.80	1529.80	8.76%	73.74%	26.26%
Nº 200	0.075	133.00	1543.60	7.93%	81.67%	18.33%
Cazoleta		307.30	1369.30	18.33%	100.00%	0.00%

Peso total después del lavado = **1676.60**

% de grava (Retiene Tamiz Nº 4) = **10.60%**

% de arena (Pasa Nº 4 y Ret. Nº 200) = **71.07%**

% de finos (Pasa Tamiz Nº 200) = **18.33%**

Total: 100.00%

Fracción Gruesa

% de grava = **12.98%**

% de arena = **87.02%**

Total: 100.00%

PROPORCIÓN GRANULOMÉTRICA

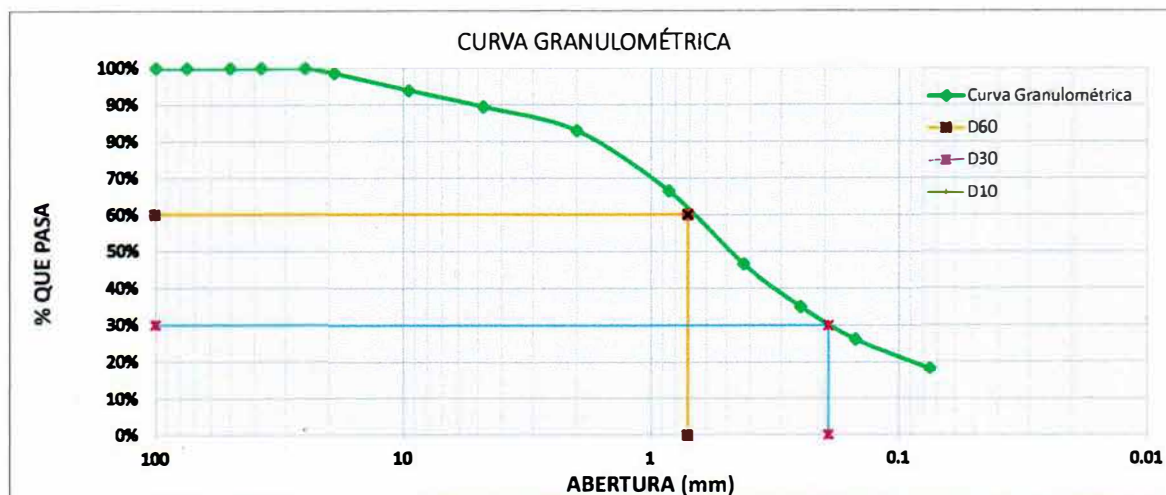
% de finos (Pasa Tamiz Nº 200) = **18.33%**



% de grava (Retiene Tamiz Nº 4) = **10.60%**

% de arena (Pasa Nº 4 y Ret. Nº 200) = **71.07%**

CURVA GRANULOMÉTRICA



D60 = 0.71 mm

D30 = 0.19 mm

D10 = -

Cu = -

Cc = -



JEFE DE LABORATORIO

Ms. Julio Cesar Rivasplata Diaz

TÉCNICO DE LABORATORIO

Bach. Javier Ramos Paredes

PROYECTO: MEJORAMIENTO DEL ÍNDICE CBR DE LA TROCHA CARROZABLE HUACASCHUQUE-PUCHUVALLE CON ADICIÓN DE MATERIAL LOCAL EN PALLASCA-ANCASH-2023

UBICACION: HUACASCHUQUE - PALLASCA . ANCASH

FECHA: Junio 2025

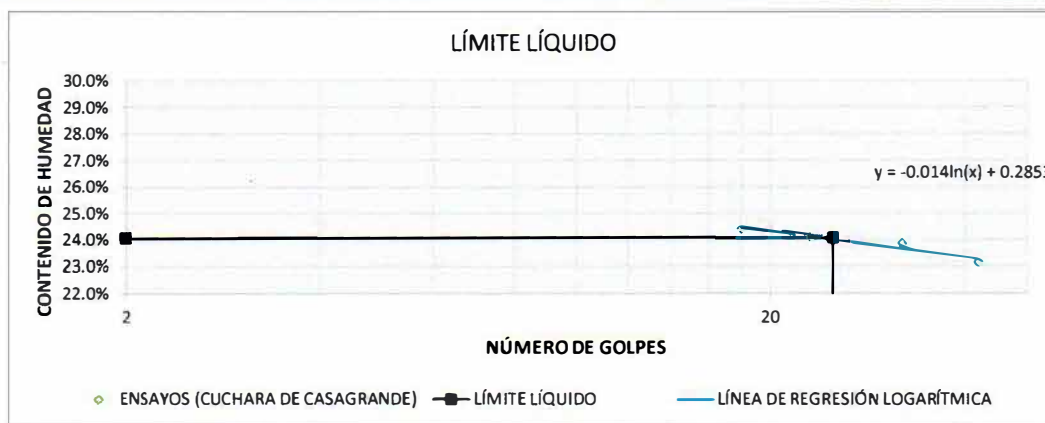
Calicata: C-02

Profundidad: 1.56m

LÍMITE LÍQUIDO

MTC E 110 - 2000, Basado en la Norma ASTM D-4318 y AASHTO T-89

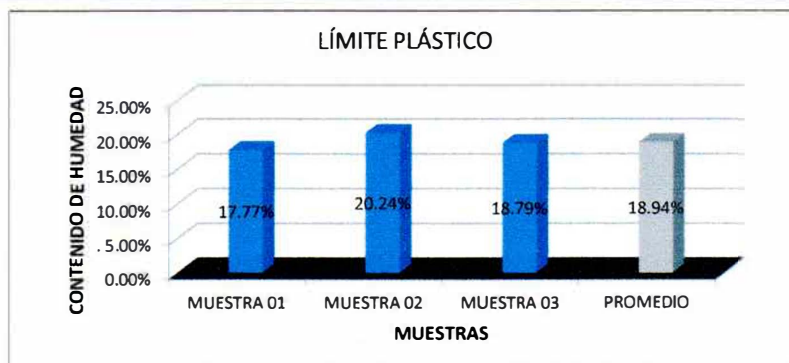
DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03	MUESTRA 04
Peso de Capsula (gr)	28.85	28.04	29.49	27.57
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	40.23	39.34	39.87	36.13
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	38.00	37.15	37.87	34.52
Peso del Agua (gr)	2.24	2.20	2.00	1.61
Peso de la Muestra Seca (gr)	9.15	9.11	8.37	6.95
Contenido de Humedad	24.42%	24.12%	23.89%	23.15%
Número de Golpes	18	23	32	42



LÍMITE PLÁSTICO

MTC E 111 - 2000, Basado en la Norma ASTM D-4318 y AASHTO T-90

DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03
Peso de Capsula (gr)	27.48	28.54	28.12
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	30.25	31.31	33.37
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	29.83	30.85	32.54
Peso del Agua (gr)	0.42	0.47	0.83
Peso de la Muestra Seca (gr)	2.35	2.31	4.42
Contenido de Humedad	17.77%	20.24%	18.79%



LÍMITE LÍQUIDO = 24.00%
LÍMITE PLÁSTICO = 19.00%
ÍNDICE DE PLASTICIDAD = 5.00%

JEFE DE LABORATORIO
Ms. Julio César Rivasplata Díaz

TÉCNICO DE LABORATORIO
Bach. Javier Ramos Paredes



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS



PROYECTO: MEJORAMIENTO DEL ÍNDICE CBR DE LA TROCHA CARROZABLE HUACASCHUQUE-PUCHUVALLE CON ADICIÓN DE MATERIAL LOCAL EN PALLASCA-ANCASH-2023

UBICACION: HUACASCHUQUE - PALLASCA . ANCASH

FECHA: Junio 2025

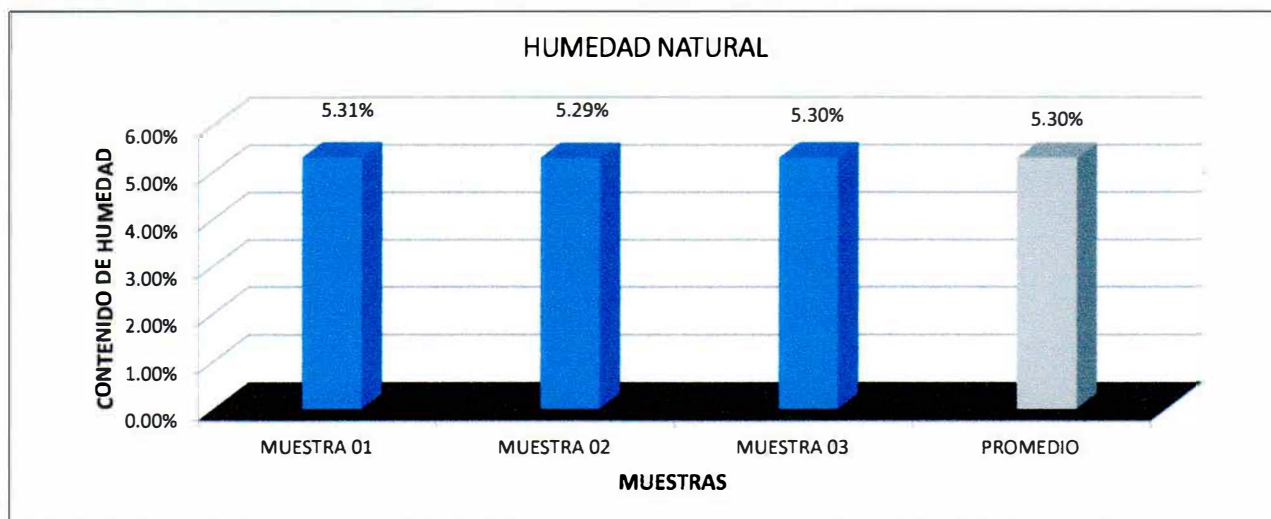
Calicata: C-02

Profundidad: 1.56 m

HUMEDAD NATURAL

NTP - 339.127, Basado en la Norma ASTM D-2216

DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03
Peso de Capsula (gr)	27.78	27.98	28.79
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	76.75	96.03	85.86
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	74.28	92.61	82.99
Peso del Agua (gr)	2.47	3.42	2.87
Peso de la Muestra Seca (gr)	46.50	64.63	54.20
Contenido de Humedad	5.31%	5.29%	5.30%



CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL = 5.30%

JEFE DE LABORATORIO

Ms. Julio Cesar Rivasplata Diaz

TÉCNICO DE LABORATORIO

Bach. Javier Ramos Paredes



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS



PROYECTO: MEJORAMIENTO DEL ÍNDICE CBR DE LA TROCHA CARROZABLE HUACASCHUQUE-PUCHUVALLE CON ADICIÓN DE MATERIAL LOCAL EN PALLASCA-ANCASH-2023

UBICACION: HUACASCHUQUE - PALLASCA - ANCASH

FECHA: Mayo - 2025

Calicata: C-02

Profundidad: 1.56 m

SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS (SUCS)

ASTM D-2487

DATOS PARA CLASIFICACIÓN		CRITERIOS PARA LA ASIGNACIÓN DE SÍMBOLOS DE GRUPO Y NOMBRE DE GRUPO CON EL USO DE ENSAYOS DE LABORATORIO		SÍMBOLO	NOMBRE DE GRUPO
De Granulometría		GRAVAS LIMPIAS		$Cu \geq 4$ y $1 \leq Cc \leq 3$	Grava bien graduada
% de Gruesos = 81.67%		Menos del 5% pasa la malla Nº 200		$Cu < 4$ ó $1 > Cc > 3$	Grava mal graduada
% de Finos = 18.33%		GRAVAS CON FINOS		IP < 4 ó abajo de la línea "A" en la carta de plasticidad	Grava limosa
Total = 100.00%		Mas del 12% pasa la malla Nº 200		IP > 7 y arriba de la línea "A" en la carta de plasticidad	Grava arcillosa
% de Grava = 10.60%		GRAVAS LIMPIAS Y CON FINOS		$4 \leq IP \leq 7$ y arriba de la línea "A" en la carta de plasticidad	Grava limosa arcillosa
% de Arena = 71.07%		Entre el 5 y 12% pasa malla Nº 200		Cumple los criterios para GW y GM	Grava bien graduada con limo
Total = 81.67%		ARENAS LIMPIAS		Cumple los criterios para GW y GC o para GW y GC - GM	Grava bien graduada con arcilla
Fracción Gruesa		Entre el 5 y 12% pasa malla Nº 200		Cumple los criterios para GP y GM	Grava mal graduada con limo
% de Grava = 12.98%		ARENAS CON FINOS		Cumple los criterios para GP y GC o para GP y GC - GM	Grava mal graduada con arcilla
% de Arena = 87.02%		Mas del 12% pasa la malla Nº 200		$Cu \geq 6$ y $1 \leq Cc \leq 3$	Arena bien graduada
Total = 100.00%		ARENAS LIMPIAS Y CON FINOS		$Cu < 6$ ó $1 > Cc > 3$	Arena mal graduada
Coeficientes		Entre el 5 y 12% pasa malla Nº 200		IP < 4 ó abajo de la línea "A" en la carta de plasticidad	Arena limosa
Cu = -		ARENAS CON FINOS		IP > 7 y arriba de la línea "A" en la carta de plasticidad	Arena arcillosa
Cc = -		Mas del 12% pasa la malla Nº 200		$4 \leq IP \leq 7$ y arriba de la línea "A" en la carta de plasticidad	Arena limosa arcillosa
De Límites de Consistencia		ARENAS LIMPIAS Y CON FINOS		Cumple los criterios para SW y SM	Arena bien graduada con limo
LL = 23.60%		Entre el 5 y 12% pasa malla Nº 200		Cumple los criterios para SW y SC o para SW y SC - SM	Arena bien graduada con arcilla
LP = 18.60%		ARENAS LIMPIAS Y CON FINOS		Cumple los criterios para SP y SM	Arena mal graduada con limo
IP = 5.00%		Entre el 5 y 12% pasa malla Nº 200		Cumple los criterios para SP y SC o para SP y SC - SM	Arena mal graduada con arcilla
Otros Datos		LIMOS Y ARCILLAS		IP < 4 ó abajo de la línea "A" en la carta de plasticidad	Limo de baja plasticidad
Tipo = Inorgánico		Inorgánicos		IP > 7 y arriba de la línea "A" en la carta de plasticidad	Arcilla de baja plasticidad
		Límite Líquido menor que 50		$4 \leq IP \leq 7$ y arriba de la línea "A" en la carta de plasticidad	Arcilla limosa
		Orgánicos		$\frac{\text{Límite Líquido seco al horno}}{\text{Límite Líquido no seco al horno}} < 0.75$	Limo orgánico
		Límite Líquido 50 o mayor		Se grafica en la carta de plasticidad abajo de la línea "A"	Arcilla orgánica
		Orgánicos		Se grafica en la carta de plasticidad arriba de la línea "A"	Limo de alta plasticidad
		Límite Líquido seco al horno		$\frac{\text{Límite Líquido seco al horno}}{\text{Límite Líquido no seco al horno}} < 0.75$	Arcilla de alta plasticidad
		Límite Líquido no seco al horno			Limo orgánico
		Principalmente materia orgánica de color oscuro			Arcilla orgánica
				Pt	Turba

SC - SM = Arena limosa arcillosa

JEFE DE LABORATORIO

Ms. Julio Cesar Rivasplata Diaz

TÉCNICO DE LABORATORIO

Bach. Javier Ramos Paredes

PROYECTO: MEJORAMIENTO DEL ÍNDICE CBR DE LA TROCHA CARROZABLE HUACASCHUQUE-PUCHUVALLE CON ADICIÓN DE MATERIAL LOCAL EN PALLASCA-ANCASH-2023

UBICACION: HUACASCHUQUE - PALLASCA - ANCASH

FECHA: Mayo - 2025

Calicata: C-02

Profundidad: 1.56 m

CLASIFICACIÓN DE SUELOS SEGÚN AASHTO

AASHTO M-145

DATOS PARA CLASIFICACIÓN		
De Granulometría	De Límites de Consistencia	Otros Datos
% que pasa el tamiz Nº 10 = 82.98%	LL = 23.60%	
% que pasa el tamiz Nº 40 = 46.65%	LP = 18.60%	
% que pasa el tamiz Nº 200 = 18.33%	IP = 5.00%	

CLASIFICACIÓN GENERAL	MATERIALES GRANULARES (35% o menos pasa el tamiz Nº 200)							MATERIALES LIMO - ARCILLOSOS (más del 35% pasa el tamiz Nº 200)			
GRUPOS	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
SUB - GRUPOS	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5
											A-7-6
% que pasa el tamiz:											
Nº 10	50 máx.										
Nº 40	30 máx.	50 máx.	51 mín.								
Nº 200	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	36 mín.	36 mín.	36 mín.	36 mín.
Características del material que pasa el tamiz Nº 40											
Límite Líquido			No Plástico	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.
Índice de Plasticidad	6 máx.	6 máx.		10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.
Índice de Grupo	0	0	0	0	0	4 máx.	4 máx.	8 máx.	12 máx.	16 máx.	20 máx.
Tipos de Material	Fragmentos de piedra grava y arena		Arena fina	Gravas, arenas limosas y arcillosas				Suelos limosos		Suelos arcillosos	

A-2-4 (0)

JEFE DE LABORATORIO

Ms. Julio Cesar Rivasplata Diaz

TÉCNICO DE LABORATORIO

Bach. Javier Ramos Paredes

ENSAYO PROCTOR MODIFICADO

NTP 339.141, basada en la Norma ASTM D1557.

PROYECTO: MEJORAMIENTO DEL ÍNDICE CBR DE LA TROCHA CARROZABLE HUACASCHUQUE-PUCHUVALLE CON ADICIÓN DE MATERIAL LOCAL EN PALLASCA-ANCASH-2023

UBICACION: HUACASCHUQUE - PALLASCA-ANCASH

FECHA: Junio 2025

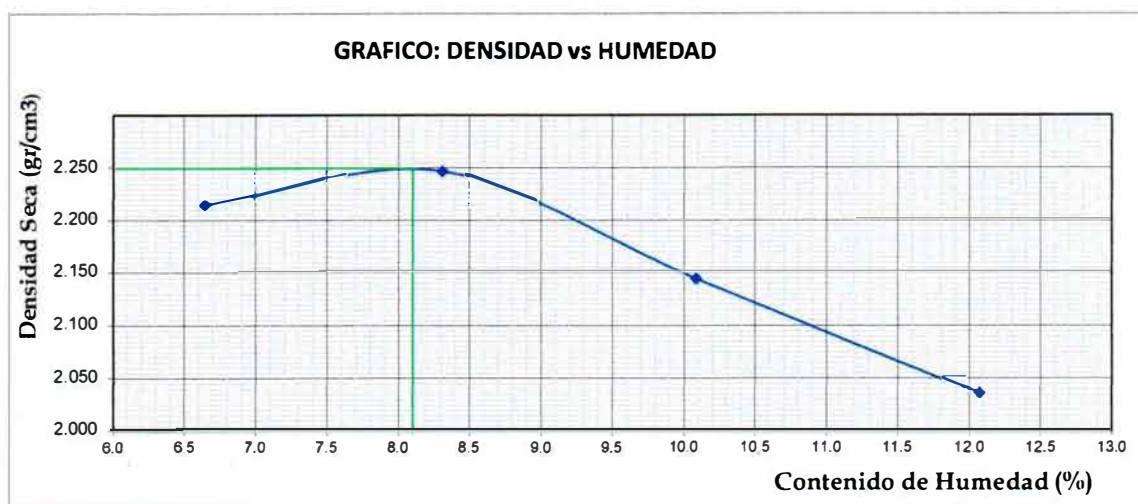
Calicata: C-02

Método: C

PUNTO No.		I	II	III	IV
MOLDE No.		1	1	1	1
1	Volumen del molde (cm^3)	2124.040	2124.040	2124.040	2124.040
2	Peso del molde (gr)	5999.000	5999.000	5999.000	5999.000
3	Peso del molde + muestra húmeda (gr)	11012.800	11168.900	11013.800	10843.100
4	Peso de la muestra húmeda (gr)	5013.800	5169.900	5014.800	4844.100
5	Densidad húmeda de la muestra (gr/cm^3)	2.361	2.434	2.361	2.281

CONTENIDO DE HUMEDAD Y DENSIDAD SECA

6	Peso de la tara (gr)	27.467	26.662	28.610	28.262
7	Peso de la tara + suelo húmedo (gr)	93.102	93.966	104.283	79.974
8	Peso de la tara + suelo seco (gr)	89.010	88.802	97.351	74.401
9	Peso del agua (gr)	4.092	5.164	6.932	5.573
10	Peso del suelo seco (gr)	61.543	62.140	68.741	46.139
11	Contenido de humedad (%)	6.649	8.310	10.084	12.079
12	Densidad seca de la muestra (gr/cm^3)	2.213	2.247	2.145	2.035



Máxima Densidad Seca:	2.25 gr/cm^3
Optimo Contenido de Humedad:	8.10 %

JEFE DE LABORATORIO

Ms. Julio Cesar Rivasplata Diaz

TÉCNICO DE LABORATORIO

Bach. Javier Ramos Paredes



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS



ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)

MTC E 132

Proyecto : MEJORAMIENTO DEL ÍNDICE CBR DE LA TROCHA CARROZABLE
HUACASCHUQUE-PUCHUVALLE CON ADICIÓN DE MATERIAL LOCAL
EN PALLASCA-ANCASH-2023

Ubicación : HUACASCHUQUE -PALLASCA-ANCASH

Fecha de Ejecución : Junio 2025

Calicata : C-02

Clasificación SUCS : SC-SM

Muestra : M-P02

Clasificación AASHTO : A-2-4

Prof. (m) : 0.00-1.56

Método de Compactación : C

Compactación : Próctor modificado ASTM D1557

Sobrepeso : 4.54 kg

COMPACTACIÓN			
Molde N°	M-C-001	M-C-002	M-C-003
Capas N°	5	5	5
Golpes por capa N°	56	26	12
Condición de la muestra	NO SATURADO	NO SATURADO	NO SATURADO
Peso de molde + Suelo húmedo (g)	11916.0	12260.0	11631.0
Peso de molde (g)	6758.0	7340.0	6982.0
Peso del suelo húmedo (g)	5158.0	4920.0	4649.0
Volumen del molde (cm³)	2120.6	2114.0	2111.0
Densidad húmeda (g/cm³)	2.4	2.3	2.2
Tara (N°)	T/C/023	T/C/021	T/C/016
Peso suelo húmedo + tara (g)	177.1	186.8	165.4
Peso suelo seco + tara (g)	164.8	173.8	154.0
Peso de tara (g)	12.9	12.6	12.4
Peso de agua (g)	12.3	13.1	11.4
Peso de suelo seco (g)	151.9	161.1	141.6
Contenido de humedad (%)	8.1	8.1	8.1
Densidad seca (g/cm³)	2.250	2.153	2.038

EXPANSIÓN											
FECHA	HORA	TIEMPO	DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN	
				mm	%		mm	%		mm	%
03/06/2025	11:00	24	2.80	2.80	2.20	3.20	3.20	2.52	13.00	13.00	10.24
04/06/2025	11:00	48	5.00	5.00	3.94	7.20	7.20	5.67	17.00	17.00	13.39
05/06/2025	11:00	72	5.10	5.10	4.02	11.00	11.00	8.66	17.00	17.00	13.39
06/06/2025	11:00	96	6.10	6.10	4.80	11.00	11.00	8.66	17.00	17.00	13.39

PENETRACIÓN										
Penetración	Carga estándar	Molde nro. M-C-001			Molde nro. M-C-002			Molde nro. M-C-003		
		Carga	Corrección		Carga	Corrección		Carga	Corrección	
(mm)	psi	psi	psi	CBR (%)	psi	psi	CBR (%)	psi	psi	CBR (%)
0.000		0.0			0.0			0.0		
0.635		40.7			26.4			9.8		
1.270		75.6			67.4			24.4		
1.905		110.0			88.9			54.3		
2.540	1000.0	140.9	147.9	14.787	111.4	109.7	10.9681	70.6	76.9	7.6890438
3.810		212.6			149.1			117.9		
5.080	1500.0	255.1	251.6	16.7765	190.3	191.5	12.7679	148.3	149.9	9.9940163
7.620		316.2			254.4			209.9		
10.160		368.3			302.2			248.9		
12.700		407.2			340.1			280.6		

JEFE DE LABORATORIO

Ms. Julio Cesar Rivasplata Diaz

TÉCNICO DE LABORATORIO

Bach. Javier Ramos Paredes



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS



ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)

ASTM D1883

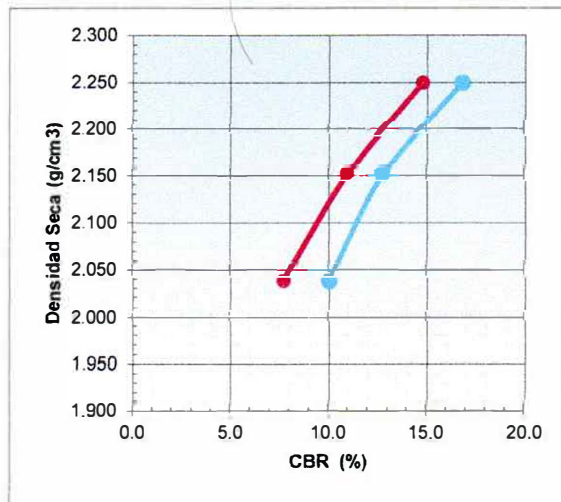
Proyecto : MEJORAMIENTO DEL ÍNDICE CBR DE LA TROCHA CARROZABLE
HUACASCHUQUE-PUCHUVALLE CON ADICIÓN DE MATERIAL LOCAL
EN PALLASCA-ANCASH-2023

Ubicación : HUACASCHUQUE -PALLASCA-ANCASH

Fecha de Ejecución : Junio 2025

Calicata : C-02
Muestra : M-P02
Prof. (m) : 0.00-1.56
Compactación : Próctor modificado ASTM D1557

Clasificación SUCS : SC-SM
Clasificación AASHTO : A-2-4
Método de Compactación : C
Sobrepeso : 4.54 kg

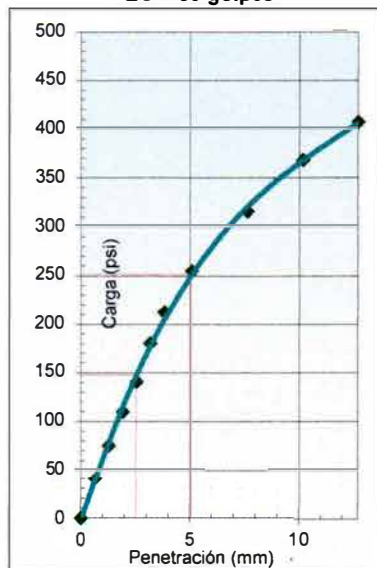


Máxima Densidad Seca (g/cm³) : 2.250
Óptimo Contenido de Humedad (%) : 8.1
95% máxima densidad seca (g/cm³) : 2.138

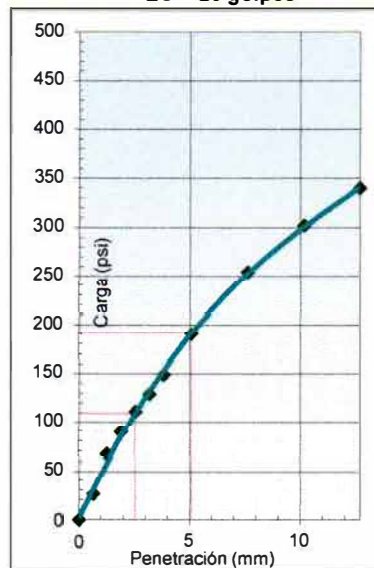
RESULTADOS :

Valor de C.B.R. al 100% de la M.D.S.	0.1": 14.8 ; 0.2": 16.8
Valor de C.B.R. al 95% de la M.D.S.	0.1": 10.5 ; 0.2": 12.3

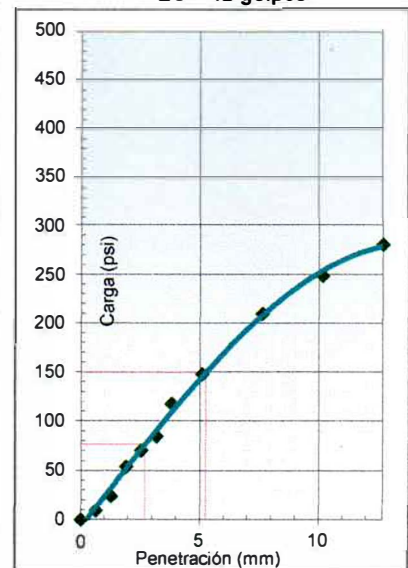
EC = 56 golpes



EC = 26 golpes



EC = 12 golpes



JEFE DE LABORATORIO

Ms. Julio Cesar Rivasplata Diaz

TÉCNICO DE LABORATORIO

Bach. Javier Ramos Paredes



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS



ENSAYO PROCTOR MODIFICADO

NTP 339.141, basada en la Norma ASTM D1557.

PROYECTO: MEJORAMIENTO DEL ÍNDICE CBR DE LA TROCHA CARROZABLE HUACASCHUQUE-PUCHUVALLE
CON ADICIÓN DE MATERIAL LOCAL EN PALLASCA-ANCASH-2023

UBICACION: HUACASCHUQUE -PALLASCA-ANCASH

FECHA: Julio 2025

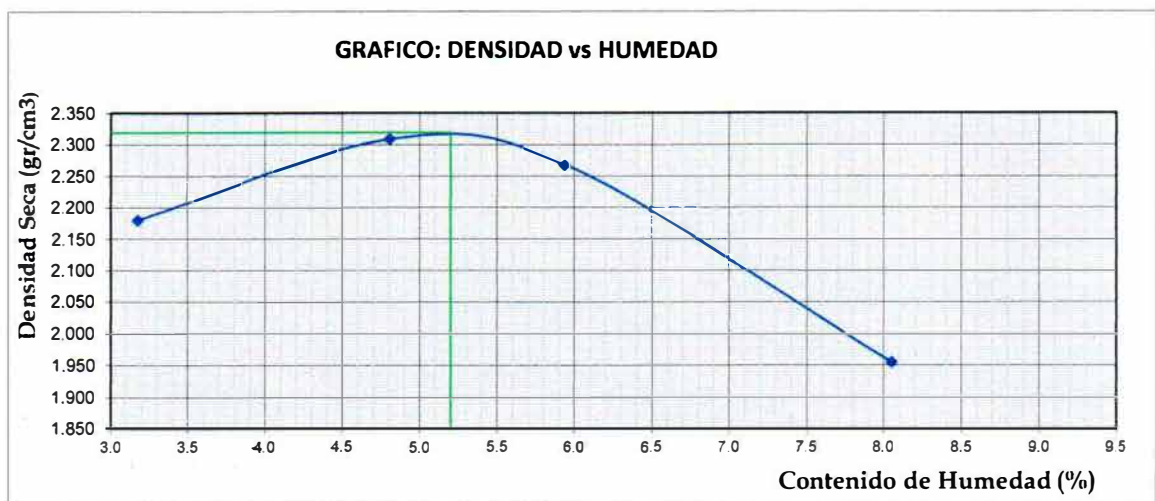
Calicata: C-02+50%L

Método: C

PUNTO No.		I	II	III	IV
MOLDE No.		1	1	1	1
1	Volumen del molde (cm^3)	2134.300	2134.300	2134.300	2134.300
2	Peso del molde (gr)	6231.000	6231.000	6231.000	6231.000
3	Peso del molde + muestra húmeda (gr)	11032.800	11396.900	11361.800	10741.100
4	Peso de la muestra húmeda (gr)	4801.800	5165.900	5130.800	4510.100
5	Densidad húmeda de la muestra (gr/cm^3)	2.250	2.420	2.404	2.113

CONTENIDO DE HUMEDAD Y DENSIDAD SECA

6	Peso de la tara (gr)	28.031	27.620	27.793	28.745
7	Peso de la tara + suelo húmedo (gr)	151.620	121.897	132.697	129.608
8	Peso de la tara + suelo seco (gr)	147.817	117.575	126.814	122.094
9	Peso del agua (gr)	3.803	4.322	5.883	7.514
10	Peso del suelo seco (gr)	119.786	89.955	99.021	93.349
11	Contenido de humedad (%)	3.175	4.805	5.941	8.049
12	Densidad seca de la muestra (gr/cm^3)	2.181	2.309	2.269	1.956



Máxima Densidad Seca:	2.32 gr/cm^3
Óptimo Contenido de Humedad:	5.20 %

JEFE DE LABORATORIO

Ms. Julio Cesar Rivasplata Diaz

TÉCNICO DE LABORATORIO

Bach. Javier Ramos Paredes



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS



ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)

ASTM D1883

Proyecto : MEJORAMIENTO DEL ÍNDICE CBR DE LA TROCHA CARROZABLE
HUACASCHUQUE-PUCHUVALLE CON ADICIÓN DE MATERIAL LOCAL
EN PALLASCA-ANCASH-2023

Ubicación : HUACASCHUQUE -PALLASCA-ANCASH

Fecha de Ejecución : Nov- 2025

Calicata : C-02 + 50%

Clasificación SUCS : -

Muestra : M-02

Clasificación AASHTO : -

Prof. (m) : 0.00-1.56

Método de Compactación : C

Compactación : Próctor modificado ASTM D1557

Sobrepeso : 4.54 kg

COMPACTACIÓN			
Molde N°	M-C-001	M-C-002	M-C-003
Capas N°	5	5	5
Golpes por capa N°	56	26	12
Condición de la muestra	NO SATURADO	NO SATURADO	NO SATURADO
Peso de molde + Suelo húmedo (g)	9454.4	9093.0	8740.8
Peso de molde (g)	4204.4	4186.7	4191.5
Peso del suelo húmedo (g)	5250.0	4906.3	4549.3
Volumen del molde (cm³)	2151.1	2111.0	2114.0
Densidad húmeda (g/cm³)	2.4	2.3	2.2
Tara (N°)	T/C/023	T/C/021	T/C/016
Peso suelo húmedo + tara (g)	128.5	117.0	125.7
Peso suelo seco + tara (g)	122.7	112.6	120.9
Peso de tara (g)	12.2	27.8	28.0
Peso de agua (g)	5.7	4.4	4.8
Peso de suelo seco (g)	110.5	84.8	92.9
Contenido de humedad (%)	5.2	5.2	5.2
Densidad seca (g/cm³)	2.320	2.209	2.046

EXPANSIÓN											
FECHA	HORA	TIEMPO	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION	
				mm	%		mm	%		mm	%
10/11/2025	9:30	24	0.00	0.00	0.00	0.50	0.50	0.39	0.60	0.60	0.47
11/11/2025	9:30	48	0.05	0.05	0.04	0.50	0.50	0.00	0.60	0.60	0.47
12/11/2025	9:30	72	0.05	0.05	0.04	0.70	0.70	0.00	0.80	0.80	0.63
13/11/2025	9:30	96	0.05	0.05	0.04	0.80	0.80	0.00	1.00	1.00	0.79

PENETRACIÓN										
Penetración	Carga estándar	Molde nro. M-C-001			Molde nro. M-C-002			Molde nro. M-C-003		
		Carga	Corrección		Carga	Corrección		Carga	Corrección	
(mm)	psi	psi	psi	CBR (%)	psi	psi	CBR (%)	psi	psi	CBR (%)
0.000		0.0			0.0			0.0		
0.635		103.5			64.0			49.1		
1.270		184.4			115.4			75.1		
1.905		276.4			173.7			107.0		
2.540	1000.0	419.7	400.3	40.0261	292.7	329.2	32.9179	140.8	147.1	14.71016
3.810		587.6			508.8			246.8		
5.080	1500.0	846.3	765.4	51.0239	654.9	650.9	43.3948	282.6	290.6	19.372165
7.620		1063.0			919.9			456.5		
10.160		1355.6			1176.0			571.4		
12.700		1640.1			1421.3			758.5		

JEFE DE LABORATORIO

Ms. Julio Cesar Rivas Plata Diaz

JEFATURA

TÉCNICO DE LABORATORIO

Bach. Javier Ramos Paredes



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS



ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)

ASTM D1883

Proyecto : MEJORAMIENTO DEL ÍNDICE CBR DE LA TROCHA CARROZABLE
HUACASCHUQUE-PUCHUVALLE CON ADICIÓN DE MATERIAL LOCAL
EN PALLASCA-ANCASH-2023

Ubicación : HUACASCHUQUE -PALLASCA-ANCASH

Fecha de Ejecución : Nov- 2025

Calicata : C-02 + 50%

Clasificación SUCS : -

Muestra : M-02

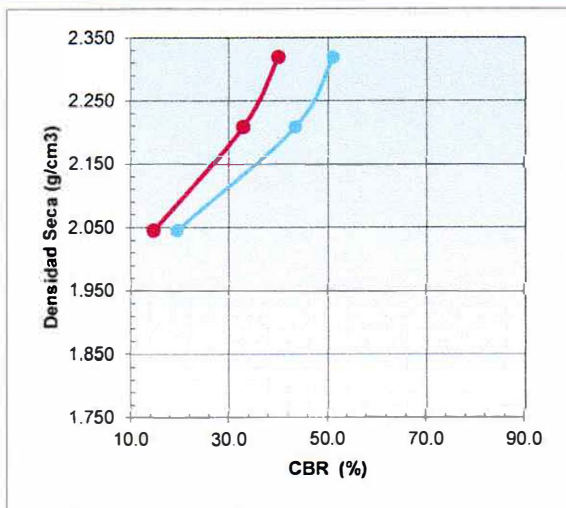
Clasificación AASHTO : -

Prof. (m) : 0.00-1.56

Método de Compactación : C

Compactación : Próctor modificado ASTM D1557

Sobrepeso : 4.54 kg



Máxima Densidad Seca (g/cm³) : 2.320

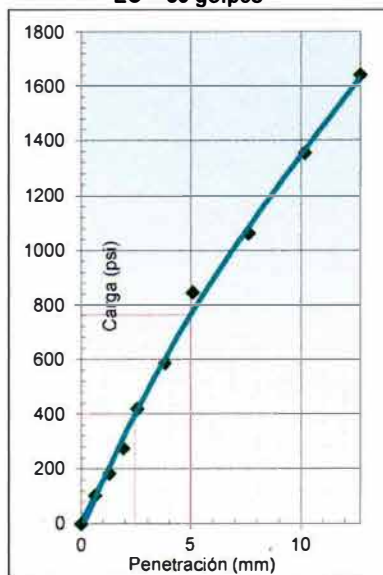
Óptimo Contenido de Humedad (%) : 5.20

95% máxima densidad seca (g/cm³) : 2.204

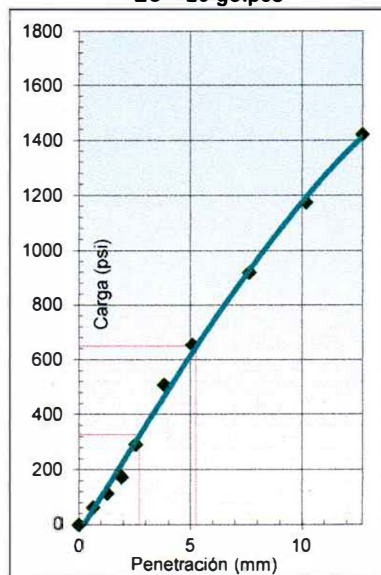
RESULTADOS :

Valor de C.B.R. al 100% de la M.D.S.	0.1'	40.1	0.2"	51.0
Valor de C.B.R. al 95% de la M.D.S.	0.1'	32.5	0.2"	42.8

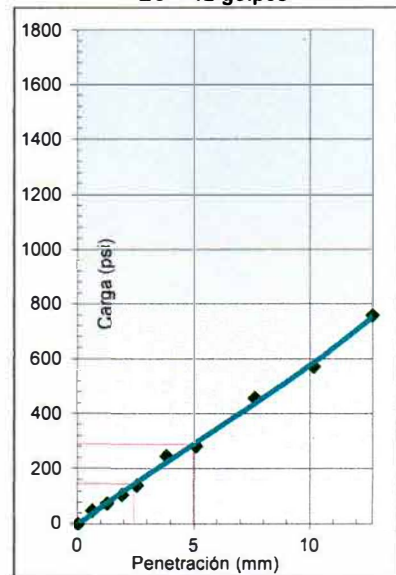
EC = 56 golpes



EC = 26 golpes



EC = 12 golpes



JEFE DE LABORATORIO

Ms. Julio Cesar Rivasplata Diaz

TÉCNICO DE LABORATORIO

Bach. Javier Ramos Paredes



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS



ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)

ASTM D1883

Proyecto : MEJORAMIENTO DEL ÍNDICE CBR DE LA TROCHA CARROZABLE
HUACASCHUQUE-PUCHUVALLE CON ADICIÓN DE MATERIAL LOCAL
EN PALLASCA-ANCASH-2023

Ubicación : HUACASCHUQUE -PALLASCA-ANCASH

Fecha de Ejecución : Nov- 2025

Calicata : C-02 + 50%

Clasificación SUCS : -

Muestra : M-02 (R)

Clasificación AASHTO : -

Prof. (m) : 0.00-1.56

Método de Compactación : C

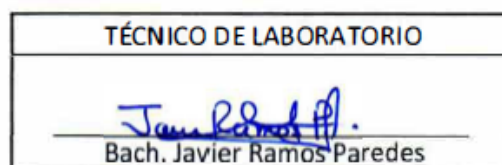
Compactación : Próctor modificado ASTM D1557

Sobrepeso : 4.54 kg

COMPACTACIÓN			
Molde N°	M-C-001	M-C-002	M-C-003
Capas N°	5	5	5
Golpes por capa N°	56	26	12
Condición de la muestra	NO SATURADO	NO SATURADO	NO SATURADO
Peso de molde + Suelo húmedo (g)	9454.8	9088.1	8845.1
Peso de molde (g)	4204.4	4186.7	4191.5
Peso del suelo húmedo (g)	5250.4	4901.4	4653.6
Volumen del molde (cm³)	2151.1	2111.0	2114.0
Densidad húmeda (g/cm³)	2.4	2.3	2.2
Tara (N°)	T/C/023	T/C/021	T/C/016
Peso suelo húmedo + tara (g)	135.5	134.6	152.6
Peso suelo seco + tara (g)	130.1	129.3	146.5
Peso de tara (g)	26.7	27.1	28.0
Peso de agua (g)	5.4	5.3	6.2
Peso de suelo seco (g)	103.4	102.2	118.4
Contenido de humedad (%)	5.2	5.2	5.2
Densidad seca (g/cm³)	2.320	2.208	2.092

EXPANSIÓN											
FECHA	HORA	TIEMPO	DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN	
				mm	%		mm	%		mm	%
17/11/2025	10:00	24	0.00	0.00	0.00	0.50	0.50	0.39	0.50	0.50	0.39
18/11/2025	10:00	48	0.00	0.00	0.00	0.50	0.50	0.00	0.80	0.80	0.63
19/11/2025	10:00	72	0.03	0.03	0.02	0.50	0.50	0.00	0.80	0.80	0.63
20/11/2025	10:00	96	0.03	0.03	0.02	0.50	0.50	0.00	0.80	0.80	0.63

PENETRACIÓN										
Penetración (mm)	Carga estándar psi	Molde nro. M-C-001			Molde nro. M-C-002			Molde nro. M-C-003		
		Carga psi	Corrección psi	CBR (%)	Carga psi	Corrección psi	CBR (%)	Carga psi	Corrección psi	CBR (%)
0.000		0.0			0.0			0.0		
0.635		102.1			61.2			48.4		
1.270		185.1			113.2			75.8		
1.905		272.8			172.3			104.9		
2.540	1000.0	417.6	404.1	40.40562	285.6	327.7	32.77274	135.2	150.9	15.086965
3.810		586.2			496.7			241.8		
5.080	1500.0	842.7	772.6	51.50337	661.9	648.4	43.22656	305.3	297.6	19.838024
7.620		1055.9			912.8			443.1		
10.160		1277.7			1168.9			552.3		
12.700		1427.6			1416.3			683.5		





UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS



ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)

ASTM D1883

Proyecto : MEJORAMIENTO DEL ÍNDICE CBR DE LA TROCHA CARROZABLE
HUACASCHUQUE-PUCHUVALLE CON ADICIÓN DE MATERIAL LOCAL
EN PALLASCA-ANCASH-2023

Ubicación : HUACASCHUQUE -PALLASCA-ANCASH

Fecha de Ejecución : Nov- 2025

Calicata : C-02 + 50%

Clasificación SUCS : -

Muestra : M-02 (R)

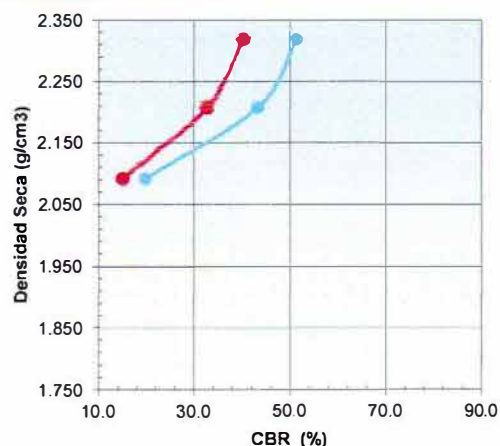
Clasificación AASHTO : -

Prof. (m) : 0.00-1.56

Método de Compactación : C

Compactación : Próctor modificado ASTM D1557

Sobrepeso : 4.54 kg

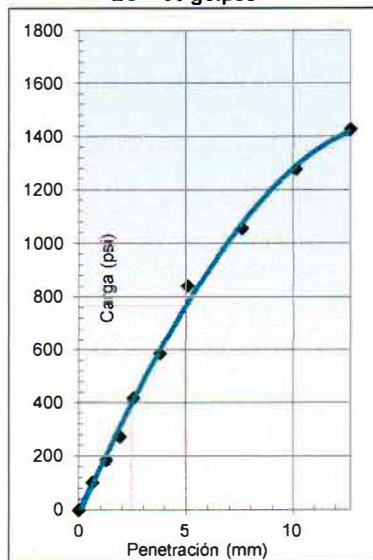


Máxima Densidad Seca (g/cm³) : 2.320
Óptimo Contenido de Humedad (%) : 5.20
95% máxima densidad seca (g/cm³) : 2.204

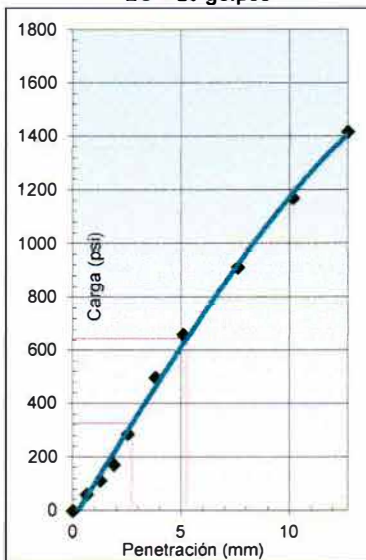
RESULTADOS :

Valor de C.B.R. al 100% de la M.D.S.	0.1' 40.4 ; 0.2": 51.6
Valor de C.B.R. al 95% de la M.D.S.	0.1' 32.4 ; 0.2": 42.8

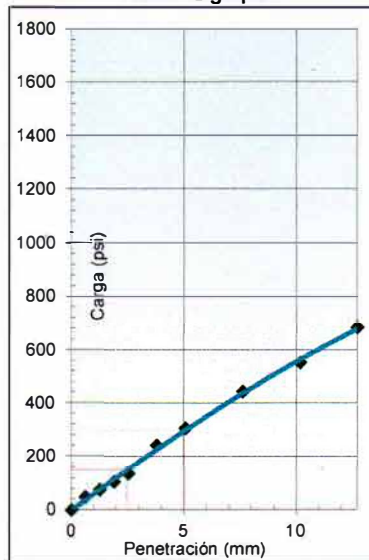
EC = 56 golpes



EC = 26 golpes



EC = 12 golpes



JEFE DE LABORATORIO
Ms. Julio Cesar Rivasplata Diaz

TÉCNICO DE LABORATORIO
Bach. Javier Ramos Paredes

PROYECTO: MEJORAMIENTO DEL ÍNDICE CBR DE LA TROCHA CARROZABLE HUACASCHUQUE-PUCHUVALLE CON ADICIÓN DE MATERIAL LOCAL EN PALLASCA-ANCASH-2023

UBICACION: HUACASCHUQUE - PALLASCA - ANCASH

FECHA: Mayo - 2025

Calicata: C-03

Profundidad: 1.50 m

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

MTC E 107 - 2000, Basado en la Norma ASTM D-422 y AASHTO T-88

Antes del lavado

Peso de la Muestra Seca total= **2092.10 gr**

Peso final de la Muestra = **2087.50 gr**

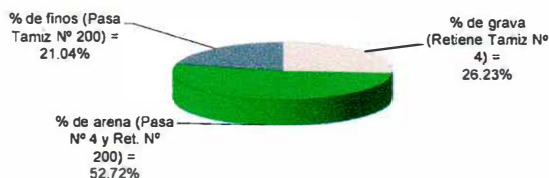
% de Error en Peso = **0.22%** Ok!

TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gr)	PESO QUE PASA (gr)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
4"	100	0.00	2087.50	0.00%	0.00%	100.00%
3"	75	0.00	2087.50	0.00%	0.00%	100.00%
2"	50	0.00	2087.50	0.00%	0.00%	100.00%
1½"	37.5	0.00	2087.50	0.00%	0.00%	100.00%
1"	25	0.00	2087.50	0.00%	0.00%	100.00%
¾"	19	21.40	2066.10	1.03%	1.03%	98.97%
⅜"	9.5	188.10	1899.40	9.01%	10.04%	89.96%
Nº 4	4.75	338.10	1749.40	16.20%	26.23%	73.77%
Nº 10	2	409.70	1677.80	19.63%	45.86%	54.14%
Nº 20	0.850	272.70	1814.80	13.06%	58.92%	41.08%
Nº 40	0.425	158.40	1929.10	7.59%	66.51%	33.49%
Nº 60	0.250	94.00	1993.50	4.50%	71.01%	28.99%
Nº 100	0.150	77.70	2009.80	3.72%	74.74%	25.26%
Nº 200	0.075	88.10	1999.40	4.22%	78.96%	21.04%
Cazoleta		439.30	1648.20	21.04%	100.00%	0.00%

Peso total después del lavado = **2087.50**

100.00%

PROPORCIÓN GRANULOMÉTRICA



% de grava (Retiene Tamiz Nº 4) = 26.23%

% de arena (Pasa Nº 4 y Ret. Nº 200) = 52.72%

% de finos (Pasa Tamiz Nº 200) = 21.04%

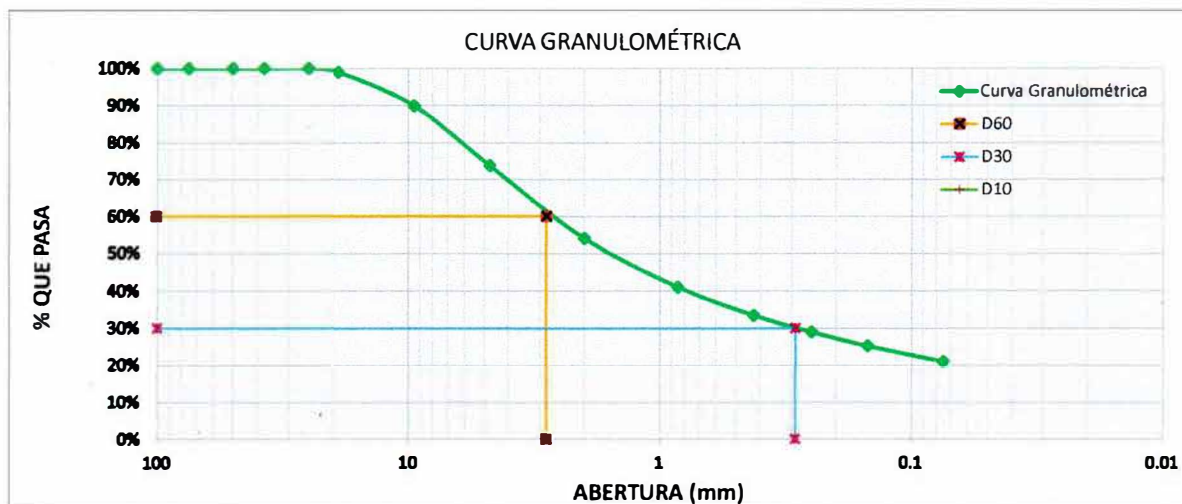
Total: 100.00%

Fracción Gruesa

% de grava = 26.23%

% de arena = 52.72%

Total = 100.00%



D60 = 2.82 mm
D30 = 0.29 mm
D10 = -

Cu = -
Cc = -



JEFE DE LABORATORIO

Ms. Julio Cesar Rivasplata Diaz

TÉCNICO DE LABORATORIO

Bach. Javier Ramos Paredes



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS



PROYECTO: MEJORAMIENTO DEL ÍNDICE CBR DE LA TROCHA CARROZABLE HUACASCHUQUE-PUCHUVALLE CON ADICIÓN DE MATERIAL LOCAL EN PALLASCA-ANCASH-2023

UBICACION: HUACASCHUQUE - PALLASCA . ANCASH

FECHA: Junio 2025

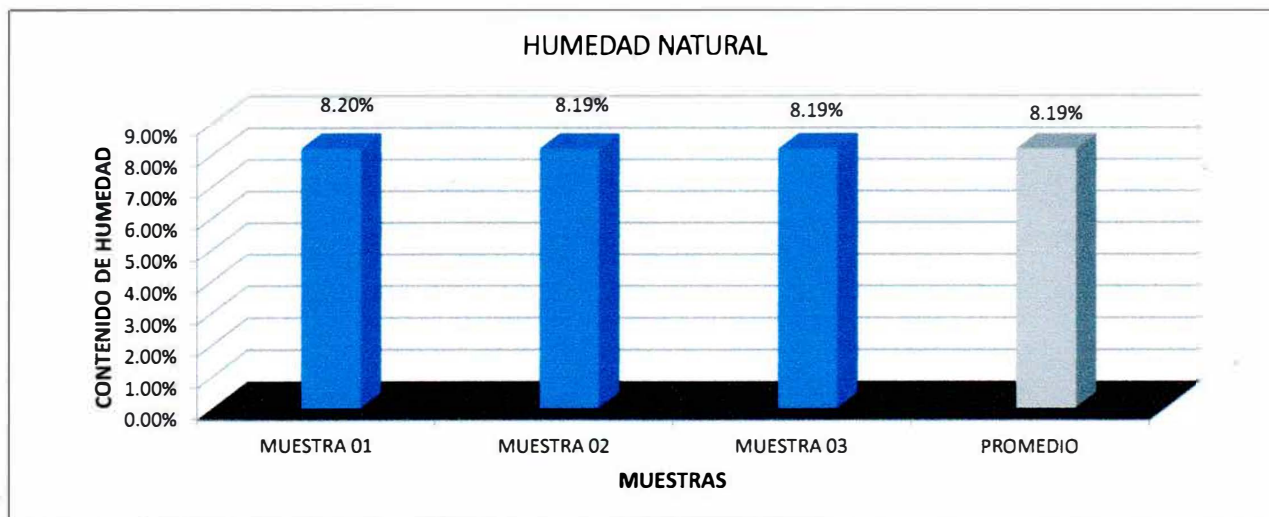
Calicata: C-03

Profundidad: 1.50 m

HUMEDAD NATURAL

NTP - 339.127, Basado en la Norma ASTM D-2216

DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03
Peso de Capsula (gr)	28.25	26.65	27.10
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	77.57	85.21	77.49
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	73.83	80.78	73.67
Peso del Agua (gr)	3.74	4.43	3.81
Peso de la Muestra Seca (gr)	45.58	54.13	46.57
Contenido de Humedad	8.20%	8.19%	8.19%



CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL = 8.19%

JEFE DE LABORATORIO

Ms. Julio Cesar Rivasplata Diaz

TÉCNICO DE LABORATORIO

Bach. Javier Ramos Paredes



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS



PROYECTO: MEJORAMIENTO DEL ÍNDICE CBR DE LA TROCHA CARROZABLE HUACASCHUQUE-PUCHUVALLE CON ADICIÓN DE MATERIAL LOCAL EN PALLASCA-ANCASH-2023

UBICACION: HUACASCHUQUE - PALLASCA - ANCASH

FECHA: Mayo - 2025

Calicata: C-03

Profundidad: 1.50 m

SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS (SUCS)

ASTM D-2487

DATOS PARA CLASIFICACIÓN	SM ARENA LIMOSA (Sand with silt)	CRITERIOS PARA LA ASIGNACIÓN DE SÍMBOLOS DE GRUPO Y NOMBRE DE GRUPO CON EL USO DE ENSAYOS DE LABORATORIO		SÍMBOLO	NOMBRE DE GRUPO
De Granulometría		GRAVAS LIMPIAS			
% de Gruesos = 78.96%		Menos del 5% pasa la malla Nº 200		GW	Grava bien graduada
% de Finos = 21.04%				GP	Grava mal graduada
Total = 100.00%		GRAVAS CON FINOS		GM	Grava limosa
% de Grava = 26.23%		Mas del 12% pasa la malla Nº 200		GC	Grava arcillosa
% de Arena = 52.72%				GC - GM	Grava limosa arcillosa
Total = 78.96%		GRAVAS LIMPIAS Y CON FINOS		GW - GM	Grava bien graduada con limo
Fracción Gruesa		Entre el 5 y 12% pasa malla Nº 200		GW - GC	Grava bien graduada con arcilla
% de Grava = 33.22%				GP - GM	Grava mal graduada con limo
% de Arena = 66.78%				GP - GC	Grava mal graduada con arcilla
Total = 100.00%		ARENAS LIMPIAS		SW	Arena bien graduada
Coefficientes		Menos del 5% pasa la malla Nº 200		SP	Arena mal graduada
Cu = -		ARENAS CON FINOS		SM	Arena limosa
Cc = -		Mas del 12% pasa la malla Nº 200		SC	Arena arcillosa
De Límites de Consistencia				SC - SM	Arena limosa arcillosa
LL = NO PRESENTA		ARENAS LIMPIAS Y CON FINOS		SW - SM	Arena bien graduada con limo
LP = NO PRESENTA		Entre el 5 y 12% pasa malla Nº 200		SW - SC	Arena bien graduada con arcilla
IP = NO PRESENTA				SP - SM	Arena mal graduada con limo
Otros Datos				SP - SC	Arena mal graduada con arcilla
Tipo = Inorgánico		SUELOS DE PARTÍCULAS FINAS		ML	Limo de baja plasticidad
		El 50% o más pasa la malla Nº 200		CL	Arcilla de baja plasticidad
		LIMOS Y ARCILLAS		CL - ML	Arcilla limosa
		Limite Líquido menor que 50		OL	Limo orgánico
					Arcilla orgánica
		LIMOS Y ARCILLAS		MH	Limo de alta plasticidad
		Limite Líquido 50 o mayor		CH	Arcilla de alta plasticidad
				OH	Limo orgánico
					Arcilla orgánica
		SUELOS ALTAMENTE ORGÁNICOS		Pt	Turba

SM = Arena limosa con grava

JEFATURA
Ms. Julio Cesar Rivasplata Diaz

TÉCNICO DE LABORATORIO
Bach. Javier Ramos Paredes



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS



PROYECTO: MEJORAMIENTO DEL ÍNDICE CBR DE LA TROCHA CARROZABLE HUACASCHUQUE-PUCHUVALLE CON ADICIÓN DE MATERIAL LOCAL EN PALLASCA-ANCASH-2023
UBICACION: HUACASCHUQUE - PALLASCA - ANCASH
FECHA: Mayo - 2025
Calicata: C-03

Profundidad: 1.50 m

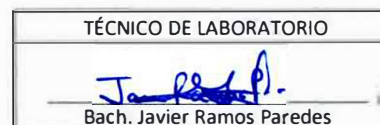
CLASIFICACIÓN DE SUELOS SEGÚN AASHTO

AASHTO M-145

DATOS PARA CLASIFICACIÓN		
De Granulometría	De Límites de Consistencia	Otros Datos
% que pasa el tamiz Nº 10 = 54.14%	LL = NO PRESENTA	
% que pasa el tamiz Nº 40 = 33.49%	LP = NO PRESENTA	
% que pasa el tamiz Nº 200 = 21.04%	IP = NO PRESENTA	

CLASIFICACIÓN GENERAL	MATERIALES GRANULARES (35% o menos pasa el tamiz Nº 200)							MATERIALES LIMO - ARCILLOSOS (más del 35% pasa el tamiz Nº 200)			
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
GRUPOS	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5
SUB - GRUPOS	A-1-a	A-1-b	A-3	A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7	A-4	A-5	A-6	A-7-6
% que pasa el tamiz:											
Nº 10	50 máx.										
Nº 40	30 máx.	50 máx.	51 mín.								
Nº 200	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	36 mín.	36 mín.	36 mín.	36 mín.
Características del material que pasa el tamiz Nº 40											
Límite Líquido			No Plástico	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.
Índice de Plasticidad	6 máx.	6 máx.		10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.
Índice de Grupo	0	0	0	0	0	4 máx.	4 máx.	8 máx.	12 máx.	16 máx.	20 máx.
Tipos de Material	Fragmentos de piedra grava y arena		Arena fina	Gravas, arenas limosas y arcillosas				Suelos limosos		Suelos arcillosos	

A-2-4 (0) Arena con limos



ENSAYO PROCTOR MODIFICADO

NTP 339.141, basada en la Norma ASTM D1557.

PROYECTO: MEJORAMIENTO DEL ÍNDICE CBR DE LA TROCHA CARROZABLE HUACASCHUQUE-PUCHUVALLE CON ADICIÓN DE MATERIAL LOCAL EN PALLASCA-ANCASH-2023

UBICACION: HUACASCHUQUE -PALLASCA-ANCASH

FECHA: Junio 2025

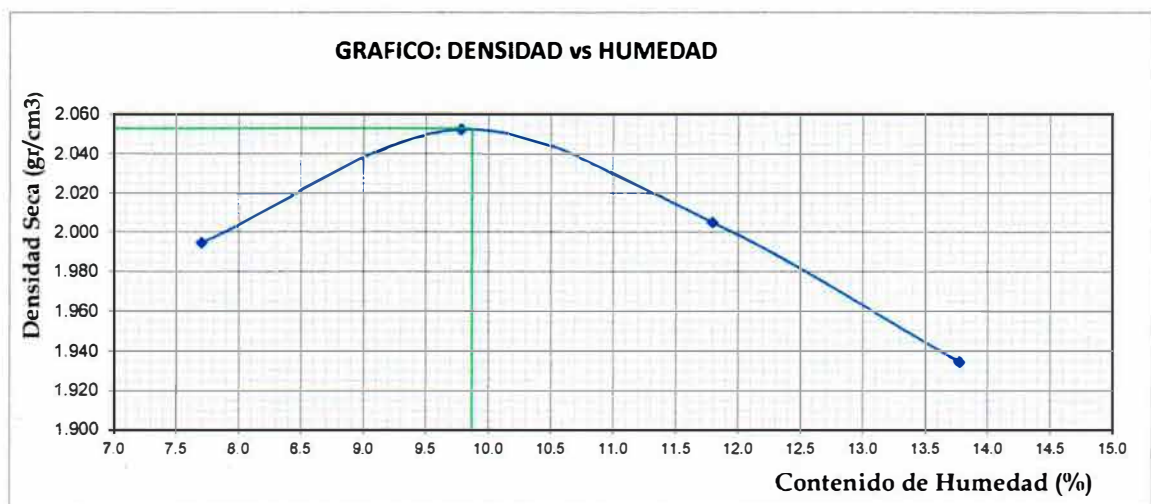
Calicata: C-03

Método: C

PUNTO No.		I	II	III	IV
MOLDE No.		1	1	1	1
1	Volumen del molde (cm^3)	2123.600	2123.600	2123.600	2123.600
2	Peso del molde (gr)	5973.600	5974.600	5973.600	5973.600
3	Peso del molde + muestra húmeda (gr)	10535.900	10759.500	10733.900	10647.800
4	Peso de la muestra húmeda (gr)	4562.300	4784.900	4760.300	4674.200
5	Densidad húmeda de la muestra (gr/cm^3)	2.148	2.253	2.242	2.201

CONTENIDO DE HUMEDAD Y DENSIDAD SECA

6	Peso de la tara (gr)	27.095	27.996	28.789	27.797
7	Peso de la tara + suelo húmedo (gr)	83.468	72.762	75.695	83.852
8	Peso de la tara + suelo seco (gr)	79.437	68.774	70.746	77.066
9	Peso del agua (gr)	4.031	3.988	4.949	6.786
10	Peso del suelo seco (gr)	52.342	40.778	41.957	49.269
11	Contenido de humedad (%)	7.701	9.780	11.795	13.773
12	Densidad seca de la muestra (gr/cm^3)	1.995	2.052	2.005	1.935



Máxima Densidad Seca:	2.053 gr/cm^3
Optimo Contenido de Humedad:	9.87 %

JEFE DE LABORATORIO

Ms. Julio Cesar Rivasplata Diaz

TÉCNICO DE LABORATORIO

Bach. Javier Ramos Paredes



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS



ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)

ASTM D1883

Proyecto : MEJORAMIENTO DEL ÍNDICE CBR DE LA TROCHA CARROZABLE
HUACASCHUQUE-PUCHUVALLE CON ADICIÓN DE MATERIAL LOCAL
EN PALLASCA-ANCASH-2023

Ubicación : HUACASCHUQUE-PALLASCA-ANCASH

Fecha de Ejecución : Junio 2025

Calicata : C-03

Clasificación SUCS : SM

Muestra : M-P03

Clasificación AASHTO : A-2-4

Prof. (m) : 0.00-1.50

Método de Compactación : C

Compactación : Próctor modificado ASTM D1557

Sobrepeso : 4.54 kg

COMPACTACIÓN			
Molde N°	M-C-001	M-C-002	M-C-003
Capas N°	5	5	5
Golpes por capa N°	56	26	12
Condición de la muestra	NO SATURADO	NO SATURADO	NO SATURADO
Peso de molde + Suelo húmedo	9066.4	8711.0	8497.8
Peso de molde (g)	4214.7	4195.1	4209.3
Peso del suelo húmedo (g)	4851.7	4515.9	4288.5
Volumen del molde (cm ³)	2151.1	2111.0	2114.0
Densidad húmeda (g/cm ³)	2.3	2.1	2.0
Tara (N°)	T/C/023	T/C/021	T/C/016
Peso suelo húmedo + tara (g)	129.8	113.3	114.7
Peso suelo seco + tara (g)	120.6	105.6	106.9
Peso de tara (g)	27.8	27.9	27.5
Peso de agua (g)	9.2	7.7	7.8
Peso de suelo seco (g)	92.9	77.7	79.4
Contenido de humedad (%)	9.9	9.9	9.9
Densidad seca (g/cm ³)	2.053	1.947	1.847

EXPANSIÓN											
FECHA	HORA	TIEMPO	DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN	
				mm	%		mm	%		mm	%
23/06/2025	09:00	24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
24/06/2025	09:00	48	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
25/06/2025	09:00	72	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
26/06/2025	09:00	96	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

PENETRACIÓN										
Penetración	Carga estándar	Molde nro. M-C-001			Molde nro. M-C-002			Molde nro. M-C-003		
		Carga	Corrección		Carga	Corrección		Carga	Corrección	
(mm)	psi	psi	psi	CBR (%)	psi	psi	CBR (%)	psi	psi	CBR (%)
0.000		0.0			0.0			0.0		
0.635		45.3			35.0			26.9		
1.270		94.9			74.9			49.1		
1.905		150.1			107.6			74.9		
2.540	1000.0	192.6	194.7	19.47335	145.9	144.5	14.44649	100.6	100.9	10.08977
3.810		276.9			213.9			153.7		
5.080	1500.0	315.1	319.2	21.27987	250.0	246.9	16.46328	196.1	190.7	12.710945
7.620		389.5			308.6			257.8		
10.160		430.5			356.9			283.4		
12.700		470.2			391.6			317.2		

JEFE DE LABORATORIO

Ms. Julio Cesar Rivasplata Diaz

TÉCNICO DE LABORATORIO

Bach. Javier Ramos Paredes

ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)

ASTM D1883

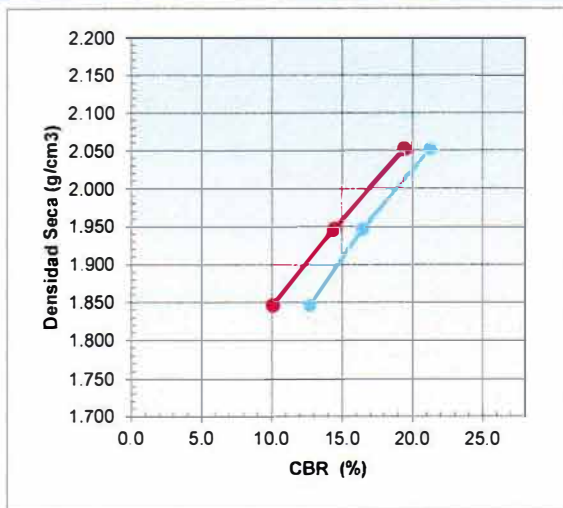
Proyecto : MEJORAMIENTO DEL ÍNDICE CBR DE LA TROCHA CARROZABLE
HUACASCHUQUE-PUCHUVALLE CON ADICIÓN DE MATERIAL LOCAL
EN PALLASCA-ANCASH-2023

Ubicación : HUACASCHUQUE -PALLASCA-ANCASH

Fecha de Ejecución : Junio 2025

Calicata : C-03
Muestra : M-P03
Prof. (m) : 0.00-1.50
Compactación : Próctor modificado ASTM D1557

Clasificación SUCS : SM
Clasificación AASHTO : A-2-4
Método de Compactación : C
Sobrepeso : 4.54 kg

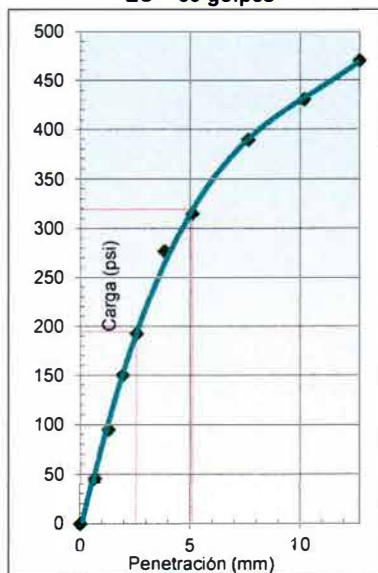


Máxima Densidad Seca (g/cm³) : 2.053
Óptimo Contenido de Humedad (%) : 9.87
95% máxima densidad seca (g/cm³) : 1.950

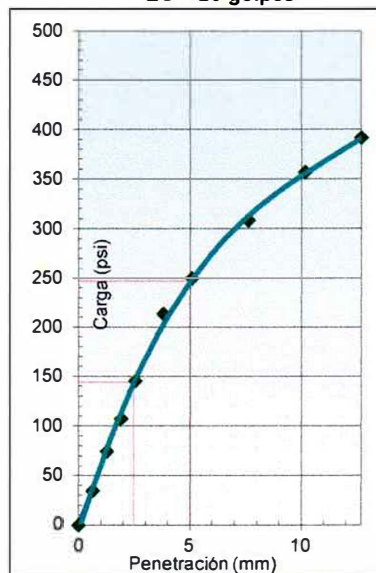
RESULTADOS :

Valor de C.B.R. al 100% de la M.D.S.	0.1' 19.5 ; 0.2": 21.3
Valor de C.B.R. al 95% de la M.D.S.	0.1' 14.6 ; 0.2": 16.6

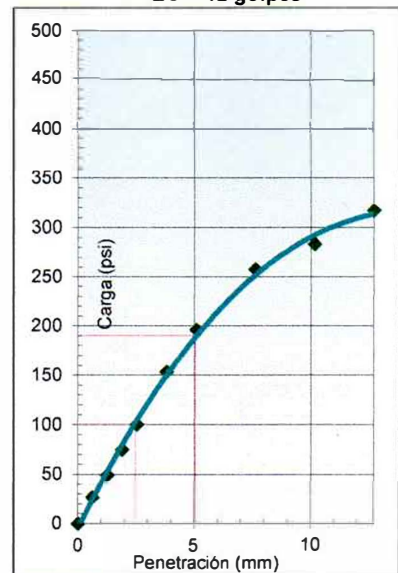
EC = 56 golpes



EC = 26 golpes



EC = 12 golpes



JEFE DE LABORATORIO

Ms. Julio Cesar Rivasplata Diaz

TÉCNICO DE LABORATORIO

Bach. Javier Ramos Paredes

ENSAYO PROCTOR MODIFICADO

NTP 339.141, basada en la Norma ASTM D1557.

PROYECTO: MEJORAMIENTO DEL ÍNDICE CBR DE LA TROCHA CARROZABLE HUACASCHUQUE-PUCHUVALLE CON ADICIÓN DE MATERIAL LOCAL EN PALLASCA-ANCASH-2023

UBICACION: HUACASCHUQUE -PALLASCA-ANCASH

FECHA: Julio 2025

Calicata: C-03+25

Método: C

PUNTO No.		I	II	III	IV
MOLDE No.		1	1	1	1
1	Volumen del molde (cm^3)	2123.600	2123.600	2123.600	2123.600
2	Peso del molde (gr)	6081.800	6081.800	6081.800	5959.500
3	Peso del molde + muestra húmeda (gr)	10750.800	11072.600	11076.400	10629.600
4	Peso de la muestra húmeda (gr)	4669.000	4990.800	4994.600	4670.100
5	Densidad húmeda de la muestra (gr/cm^3)	2.199	2.350	2.352	2.199

CONTENIDO DE HUMEDAD Y DENSIDAD SECA

6	Peso de la tara (gr)	29.242	28.846	28.037	29.494
7	Peso de la tara + suelo húmedo (gr)	48.497	50.730	62.409	74.768
8	Peso de la tara + suelo seco (gr)	47.324	49.085	59.348	69.426
9	Peso del agua (gr)	1.173	1.645	3.061	5.342
10	Peso del suelo seco (gr)	18.082	20.239	31.311	39.932
11	Contenido de humedad (%)	6.487	8.128	9.776	13.378
12	Densidad seca de la muestra (gr/cm^3)	2.065	2.174	2.142	1.940



Máxima Densidad Seca:	2.18 gr/cm^3
Óptimo Contenido de Humedad:	8.50 %

JEFE DE LABORATORIO

Ms. Julio Cesar Rivasplata Díaz

TÉCNICO DE LABORATORIO

Bach. Javier Ramos Paredes



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS



ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)

ASTM D1883

Proyecto : MEJORAMIENTO DEL ÍNDICE CBR DE LA TROCHA CARROZABLE HUACASCHUQUE-PUCHUVALLE
CON ADICIÓN DE MATERIAL LOCAL EN PALLASCA-ANCASH-2023

Ubicación : HUACASCHUQUE -PALLASCA-ANCASH

Fecha de Ejecución : Nov - 2025

Calicata : C-03 + 25%

Clasificación SUCS : -

Muestra : M-03

Clasificación AASHTO : -

Prof. (m) : 0.00-1.50

Método de Compactación : C

Compactación : Próctor modificado ASTM D1557

Sobrepeso : 4.54 kg

COMPACTACIÓN			
Molde N°	M-C-001	M-C-002	M-C-003
Capas N°	5	5	5
Golpes por capa N°	56	26	12
Condición de la muestra	NO SATURADO	NO SATURADO	NO SATURADO
Peso de molde + Suelo húmedo (g)	9292.3	8934.1	8694.0
Peso de molde (g)	4204.4	4186.7	4191.5
Peso del suelo húmedo (g)	5087.9	4747.4	4502.5
Volumen del molde (cm³)	2151.1	2111.0	2114.0
Densidad húmeda (g/cm³)	2.4	2.2	2.1
Tara (N°)	T/C/023	T/C/021	T/C/016
Peso suelo húmedo + tara (g)	89.4	63.1	58.7
Peso suelo seco + tara (g)	84.6	60.3	56.4
Peso de tara (g)	27.5	27.9	28.4
Peso de agua (g)	4.8	2.8	2.4
Peso de suelo seco (g)	57.0	32.5	28.0
Contenido de humedad (%)	8.5	8.5	8.5
Densidad seca (g/cm³)	2.180	2.073	1.963

EXPANSIÓN											
FECHA	HORA	TIEMPO	DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN	
				mm	%		mm	%		mm	%
24/11/2025	10:30	24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
25/11/2025	10:30	48	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
26/11/2025	10:30	72	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
27/11/2025	10:30	96	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

PENETRACION										
Penetración	Carga estándar	Molde nro. M-C-001			Molde nro. M-C-002			Molde nro. M-C-003		
		Carga	Corrección		Carga	Corrección		Carga	Corrección	
(mm)	psi	psi	psi	CBR (%)	psi	psi	CBR (%)	psi	psi	CBR (%)
0.000		0.0			0.0			0.0		
0.635		73.6			64.5			61.0		
1.270		171.4			104.1			83.7		
1.905		262.0			191.9			145.9		
2.540	1000.0	387.1	403.2	40.3192	254.0	319.7	31.9686	219.9	235.5	23.551889
3.810		599.5			457.1			321.0		
5.080	1500.0	818.6	770.8	51.3847	649.4	638.8	42.5883	492.3	472.8	31.519905
7.620		1098.8			897.9			701.0		
10.160		1288.8			1110.5			887.3		
12.700		1586.5			1276.3			1119.0		

JEFE DE LABORATORIO

Ms. Julio César Rivasplata Díaz

JEFATURA

TÉCNICO DE LABORATORIO

Bach. Javier Ramos Paredes

ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)

ASTM D1883

Proyecto : MEJORAMIENTO DEL ÍNDICE CBR DE LA TROCHA CARROZABLE HUACASCHUQUE-PUCHUVALLE
CON ADICIÓN DE MATERIAL LOCAL EN PALLASCA-ANCASH-2023

Ubicación : HUACASCHUQUE -PALLASCA-ANCASH

Fecha de Ejecución : Nov - 2025

Calicata : C-03 + 25%

Clasificación SUCS : -

Muestra : M-03

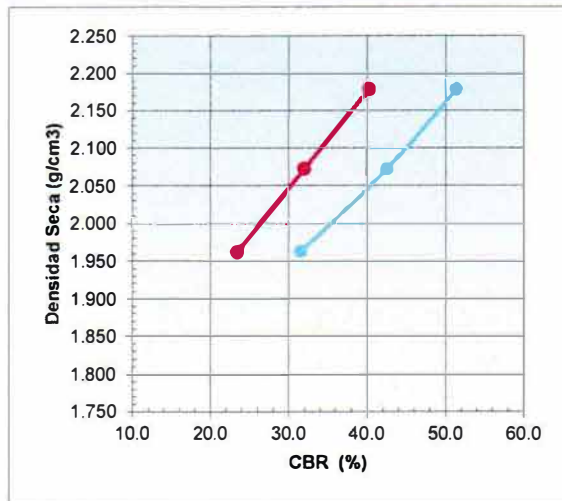
Clasificación AASHTO : -

Prof. (m) : 0.00-1.50

Método de Compactación : C

Compactación : Próctor modificado ASTM D1557

Sobrepeso : 4.54 kg



Máxima Densidad Seca (g/cm³) : 2.180

Óptimo Contenido de Humedad (%) : 8.50

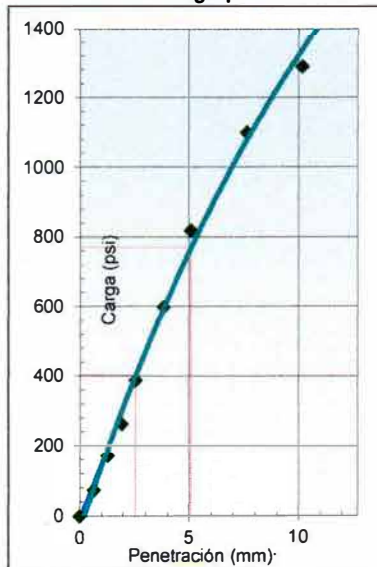
95% máxima densidad seca (g/cm³) : 2.071

RESULTADOS :

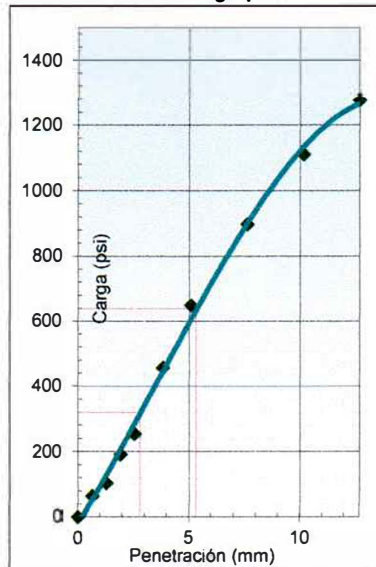
Valor de C.B.R. al 100% de la M.D.S. 0.1": 40.3 ; 0.2": 51.4

Valor de C.B.R. al 95% de la M.D.S. 0.1": 31.8 ; 0.2": 42.4

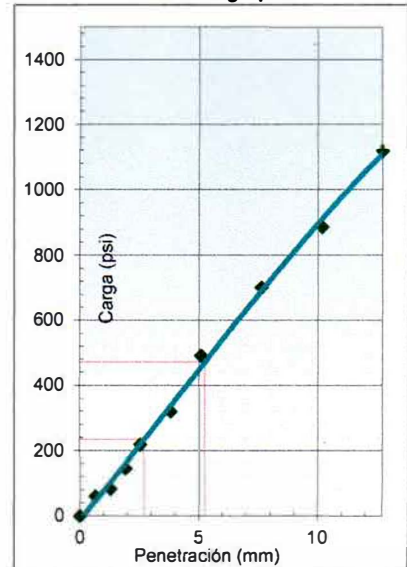
EC = 56 golpes



EC = 26 golpes

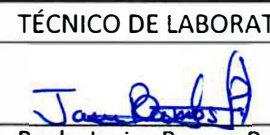


EC = 12 golpes



JEFE DE LABORATORIO

Ms. Julio César Rivasplata Díaz

TÉCNICO DE LABORATORIO

Bach. Javier Ramos Paredes



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS



ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)

ASTM D1883

Proyecto : MEJORAMIENTO DEL ÍNDICE CBR DE LA TROCHA CARROZABLE HUACASCHUQUE-PUCHUVALLE
CON ADICIÓN DE MATERIAL LOCAL EN PALLASCA-ANCASH-2023

Ubicación : HUACASCHUQUE -PALLASCA-ANCASH

Fecha de Ejecución : Dic - 2025

Calicata : C-03 + 25%

Clasificación SUCS : -

Muestra : M-03 (R)

Clasificación AASHTO : -

Prof. (m) : 0.00-1.50

Método de Compactación : C

Compactación : Próctor modificado ASTM D1557

Sobrepeso : 4.54 kg

COMPACTACIÓN			
Molde N°	M-C-001	M-C-002	M-C-003
Capas N°	5	5	5
Golpes por capa N°	56	26	12
Condición de la muestra	NO SATURADO	NO SATURADO	NO SATURADO
Peso de molde + Suelo húmedo (g)	9293.5	8936.2	8699.7
Peso de molde (g)	4204.4	4180.7	4191.5
Peso del suelo húmedo (g)	5089.1	4755.5	4508.2
Volumen del molde (cm ³)	2151.1	2111.0	2114.0
Densidad húmeda (g/cm ³)	2.4	2.3	2.1
Tara (N°)	T/C/023	T/C/021	T/C/016
Peso suelo húmedo + tara (g)	122.4	132.6	162.8
Peso suelo seco + tara (g)	115.1	124.5	152.4
Peso de tara (g)	29.5	28.0	29.2
Peso de agua (g)	7.3	8.2	10.5
Peso de suelo seco (g)	85.6	96.4	123.1
Contenido de humedad (%)	8.5	8.5	8.5
Densidad seca (g/cm ³)	2.180	2.077	1.965

EXPANSIÓN											
FECHA	HORA	TIEMPO	DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN	
				mm	%		mm	%		mm	%
15/11/2025	11:20	24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
16/11/2025	11:20	48	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
17/11/2025	11:20	72	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
18/11/2025	11:20	96	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

PENETRACIÓN										
Penetración	Carga estándar	Molde nro. M-C-001			Molde nro. M-C-002			Molde nro. M-C-003		
		Carga	Corrección		Carga	Corrección		Carga	Corrección	
(mm)	psi	psi	psi	CBR (%)	psi	psi	CBR (%)	psi	psi	CBR (%)
0.000		0.0			0.0			0.0		
0.635		77.9			64.5			59.6		
1.270		175.6			116.8			81.6		
1.905		263.4			196.1			145.2		
2.540	1000.0	389.3	402.1	40.20653	266.0	324.7	32.47048	220.6	235.5	23.547226
3.810		601.6			485.4			318.9		
5.080	1500.0	814.3	768.3	51.22108	651.5	647.3	43.15444	494.4	471.7	31.445107
7.620		1100.2			968.7			697.5		
10.160		1281.7			1124.7			880.2		
12.700		1579.4			1268.5			1112.0		

JEFE DE LABORATORIO

Ms. Julio Cesar Rivasplata Diaz

TÉCNICO DE LABORATORIO

Bach. Javier Ramos Paredes



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS



ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)

ASTM D1883

Proyecto : MEJORAMIENTO DEL ÍNDICE CBR DE LA TROCHA CARROZABLE HUACASCHUQUE-PUCHUVALLE
CON ADICIÓN DE MATERIAL LOCAL EN PALLASCA-ANCASH-2023

Ubicación : HUACASCHUQUE -PALLASCA-ANCASH

Fecha de Ejecución : Dic- 2025

Calicata : C-03 + 25%

Muestra : M-03 (R)

Prof. (m) : 0.00-1.50

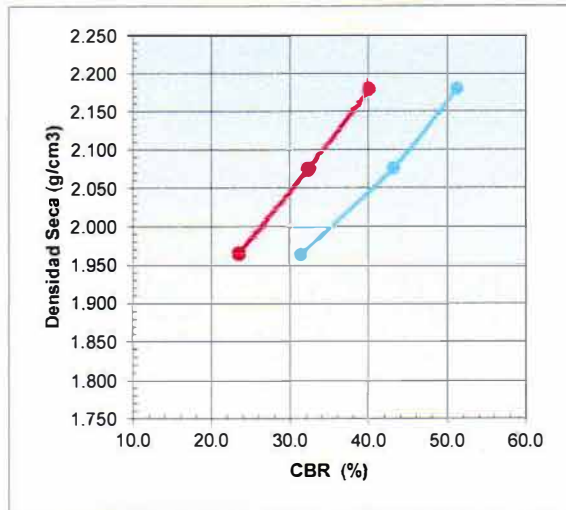
Compactación : Próctor modificado ASTM D1557

Clasificación SUCS : -

Clasificación AASHTO : -

Método de Compactación : C

Sobrepeso : 4.54 kg



Máxima Densidad Seca (g/cm^3) : 2.180

Óptimo Contenido de Humedad (%) : 8.50

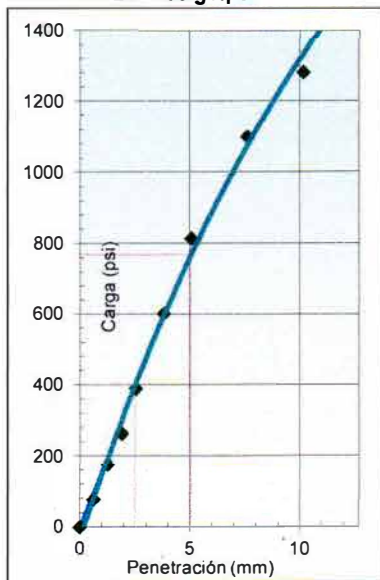
95% máxima densidad seca (g/cm^3) : 2.071

RESULTADOS :

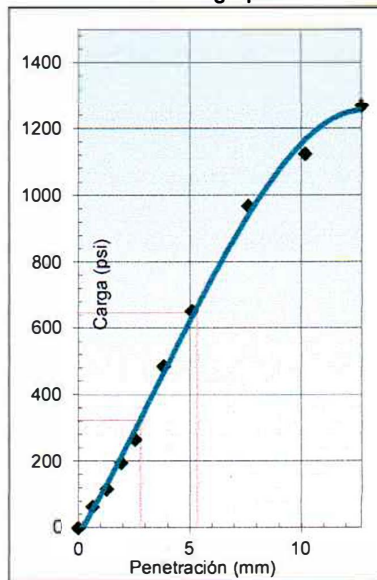
Valor de C.B.R. al 100% de la M.D.S. 0.1": 40.2 ; 0.2": 51.2

Valor de C.B.R. al 95% de la M.D.S. 0.1": 32.0 ; 0.2": 42.7

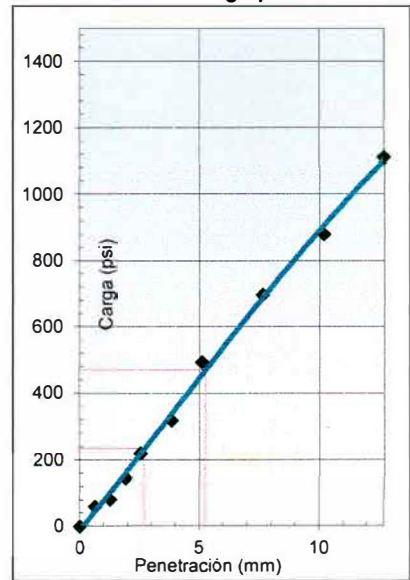
EC = 56 golpes



EC = 26 golpes



EC = 12 golpes



JEFE DE LABORATORIO
Ms. Julio Cesar Rivasplata Diaz

TÉCNICO DE LABORATORIO
Bach. Javier Ramos Paredes

PROYECTO: MEJORAMIENTO DEL ÍNDICE CBR DE LA TROCHA CARROZABLE HUACASCHUQUE-PUCHUVALLE CON ADICIÓN DE
UBICACION: HUACASCHUQUE - PALLASCA - ANCASH

FECHA: Junio - 2025

Calicata: ML-1

Profundidad: -

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

MTC E 107 - 2000, Basado en la Norma ASTM D-422 y AASHTO T-88

Antes del lavado

Peso de la Muestra Seca total= **1397.00 gr**

Peso final de la Muestra = **1395.20 gr**

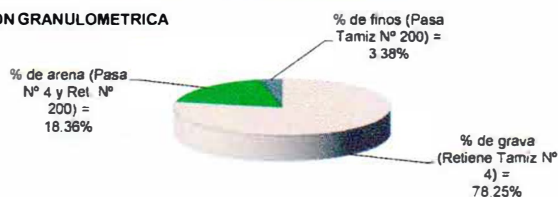
% de Error en Peso = **0.13%** **Ok!**

TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gr)	PESO QUE PASA (gr)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
4"	100	0.00	1395.20	0.00%	0.00%	100.00%
3"	75	0.00	1395.20	0.00%	0.00%	100.00%
2"	50	0.00	1395.20	0.00%	0.00%	100.00%
1½"	37.5	0.00	1395.20	0.00%	0.00%	100.00%
1"	25	20.00	1375.20	1.43%	1.43%	98.57%
¾"	19	213.90	1181.30	15.33%	16.76%	83.24%
⅜"	9.5	649.20	746.00	46.53%	63.30%	36.70%
Nº 4	4.75	208.70	1186.50	14.96%	78.25%	21.75%
Nº 10	2	126.20	1269.00	9.05%	87.30%	12.70%
Nº 20	0.850	64.50	1330.70	4.62%	91.92%	8.08%
Nº 40	0.425	29.20	1366.00	2.09%	94.02%	5.98%
Nº 60	0.250	13.40	1381.80	0.96%	94.98%	5.02%
Nº 100	0.150	10.20	1385.00	0.73%	95.71%	4.29%
Nº 200	0.075	12.70	1382.50	0.91%	96.62%	3.38%
Cazoleta		47.20	1348.00	3.38%	100.00%	0.00%

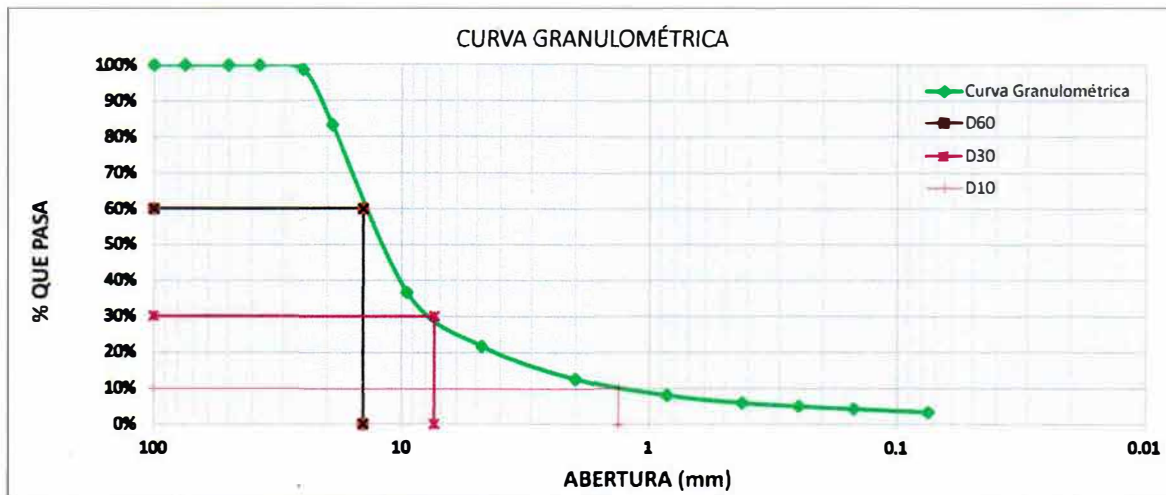
Peso total después del lavado = **1395.20**

100.00%

PROPORCIÓN GRANULOMÉTRICA



% de grava (Retiene Tamiz Nº 4) = **78.25%**
 % de arena (Pasa Nº 4 y Ret. Nº 200) = **18.36%**
 % de finos (Pasa Tamiz Nº 200) = **3.38%**
 Total: **100.00%**
Fracción Gruesa
 % de grava = **80.99%**
 % de arena = **19.01%**
 Total = **100.00%**



D60 = 14.26 mm
D30 = 7.37 mm
D10 = 1.328 mm

Cu = 10.73
Cc = 2.869

JEFE DE LABORATORIO
 Ms. Julio Cesar Rivasplata Diaz
JEFATURA
 Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayo de Materiales

TÉCNICO DE LABORATORIO
 Bach. Javier Ramos Paredes



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS



PROYECTO: MEJORAMIENTO DEL ÍNDICE CBR DE LA TROCHA CARROZABLE HUACASCHUQUE-PUCHUVALLE CON ADICIÓN DE MATERIAL LOCAL EN PALLASCA-ANCASH-2023

UBICACION: HUACASCHUQUE - PALLASCA - ANCASH

FECHA: Junio - 2025

Calicata: ML-1

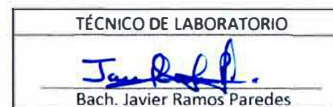
Profundidad: -

SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS (SUCS)

ASTM D-2487

DATOS PARA CLASIFICACIÓN		CRITERIOS PARA LA ASIGNACIÓN DE SÍMBOLOS DE GRUPO Y NOMBRE DE GRUPO CON EL USO DE ENSAYOS DE LABORATORIO		SÍMBOLO	NOMBRE DE GRUPO
De Granulometría		GRAVAS LIMPIAS		GW	Grava bien graduada
% de Gruesos = 99.73%		Menos del 5% pasa la malla Nº 200		GP	Grava mal graduada
% de Finos = 0.27%		GRAVAS CON FINOS		GM	Grava limosa
Total = 100.00%		Mas del 12% pasa la malla Nº 200		GC	Grava arcillosa
% de Grava = 0.00%		GRAVAS LIMPIAS Y CON FINOS		GC - GM	Grava limosa arcillosa
% de Arena = 99.73%		Entre el 5 y 12% pasa malla Nº 200		GW - GM	Grava bien graduada con limo
Total = 99.73%		ARENAS LIMPIAS		GW - GC	Grava bien graduada con arcilla
Fracción Gruesa		Menos del 5% pasa la malla Nº 200		GP - GM	Grava mal graduada con limo
% de Grava = 0.00%		ARENAS CON FINOS		GP - GC	Grava mal graduada con arcilla
% de Arena = 100.00%		Mas del 12% pasa la malla Nº 200		SW	Arena bien graduada
Total = 100.00%		ARENAS LIMPIAS Y CON FINOS		SP	Arena mal graduada
Coeficientes		Entre el 5 y 12% pasa malla Nº 200		SM	Arena limosa
Cu = 1.75		ARENAS CON FINOS		SC	Arena arcillosa
Cc = 0.918		Mas del 12% pasa la malla Nº 200		SC - SM	Arena limosa arcillosa
De Límites de Consistencia		ARENAS LIMPIAS Y CON FINOS		SW - SM	Arena bien graduada con limo
LL = NO PRESENTA		Entre el 5 y 12% pasa malla Nº 200		SW - SC	Arena bien graduada con arcilla
LP = NO PRESENTA		LIMOS Y ARCILLAS		SP - SM	Arena mal graduada con limo
IP = NO PRESENTA		Inorgánicos		SP - SC	Arena mal graduada con arcilla
Otros Datos		Limite Liquido menor que 50		ML	Limo de baja plasticidad
Tipo = Inorganico		Orgánicos		CL - ML	Arcilla de baja plasticidad
		Limite Liquido 50 o mayor		OL	Arcilla limosa
		Inorgánicos		MH	Limo orgánico
		Orgánicos		CH	Arcilla orgánica
		Principalmente materia orgánica de color oscuro		OH	Limo de alta plasticidad
				Pt	Arcilla de alta plasticidad
					Limo orgánico
					Arcilla orgánica
					Turba

SP = Arena mal graduada





UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS



PROYECTO: MEJORAMIENTO DEL ÍNDICE CBR DE LA TROCHA CARROZABLE HUACASCHUQUE-PUCHUVALLE CON ADICIÓN DE MATERIAL LOCAL EN PALLASCA-ANCASH-2023

UBICACION: HUACASCHUQUE - PALLASCA - ANCASH

FECHA: Junio - 2025

Calicata: ML-1

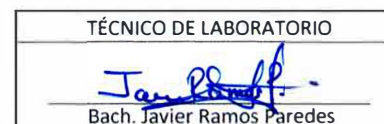
Profundidad: -

CLASIFICACIÓN DE SUELOS SEGÚN AASHTO
AASHTO M-145

DATOS PARA CLASIFICACIÓN		
De Granulometría	De Límites de Consistencia	Otros Datos
% que pasa el tamiz Nº 10 = 100.00%	LL = NO PRESENTA	
% que pasa el tamiz Nº 40 = 99.81%	LP = NO PRESENTA	
% que pasa el tamiz Nº 200 = 0.27%	IP = NO PRESENTA	

CLASIFICACIÓN GENERAL	MATERIALES GRANULARES (35% o menos pasa el tamiz Nº 200)							MATERIALES LIMO - ARCILLOSOS (más del 35% pasa el tamiz Nº 200)			
GRUPOS	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
SUB - GRUPOS	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5
											A-7-6
% que pasa el tamiz: Nº 10	50 máx.										
Nº 40	30 máx.	50 máx.	51 mín.								
Nº 200	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	36 mín.	36 mín.	36 mín.	36 mín.
Características del material que pasa el tamiz Nº 40											
Límite Líquido			No Plástico	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.
Índice de Plasticidad	6 máx.	6 máx.		10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.
Índice de Grupo	0	0	0	0	0	4 máx.	4 máx.	8 máx.	12 máx.	16 máx.	20 máx.
Tipos de Material	Fragmentos de piedra grava y arena		Arena fina	Gravas, arenas limosas y arcillosas				Suelos limosos		Suelos arcillosos	

A-3 (0) = Arena de granulometría deficiente que casi no contiene partículas finas ni gravas





UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS



DENSIDAD IN SITU METODO DEL CONO DE ARENA

NORMAS TECNICAS: MTC E 117, ASTM D 1556-15

PROYECTO: MEJORAMIENTO DEL ÍNDICE CBR DE LA TROCHA CARROZABLE HUACASCHUQUE-PUCHUVALLE CON ADICIÓN DE MATERIAL LOCAL EN PALLASCA-ANCASH-2023

UBICACION: HUACASCHUQUE - PALLASCA - ANCASH

FECHA: Febrero - 2026

MUESTRA: Tramo de prueba C-02 + 50%L

ENSAYO / PRUEBA (N°)			1
NIVEL / CAPA			SUBRASANTE
1	Peso del frasco + arena	gr.	8150
2	Peso del frasco + arena que queda	gr.	4239
3	Peso de arena empleada	gr.	3911
4	Peso de arena en el cono	gr.	1459
5	Peso de arena en el hoyo	gr.	2452
6	Densidad de la arena	gr/cc	1.335
7	Volumen del material extraído	cc	1837
8	Peso total de la muestra + recipiente	gr.	4493
9	Peso del recipiente	gr.	12
10	Peso del suelo + grava	gr.	4481
11	Peso de material > 3/4"	gr.	410.8
12	Peso específico de la grava	gr/cc	2.70
13	Volumen de la grava	cc	152.1
14	Peso del suelo	gr.	4070.2
15	Volumen del suelo	cc	1684.6
16	Densidad del suelo húmedo	gr/cc	2.416
17	Densidad del suelo seco	gr/cc	2.282
DATOS DEL ENSAYO PROCTOR			
18	Máxima densidad seca	gr/cc	2.320
19	Óptimo contenido de humedad	%	5.20
CONTENIDO DE HUMEDAD			
20	Peso de la tara	gr.	31.200
21	Peso de la tara + suelo húmedo	gr.	174.800
22	Peso de la tara + suelo seco	gr.	166.800
23	Peso del agua en la muestra	gr.	8.000
24	Contenido de Humedad	%	5.90
RESULTADOS DEL ENSAYO			
Densidad Seca (del ensayo)		gr/cm³	2.282
Máxima densidad seca (del proctor)		gr/cm³	2.320
Contenido de humedad (del ensayo)		%	5.90
Óptimo contenido de humedad (del proctor)		%	5.20
GRADO DE COMPACTACIÓN		%	98.34

JEFE DE LABORATORIO

Ms. Julio Cesar Rivasplata Diaz

TÉCNICO DE LABORATORIO

Bach. Javier Ramos Paredes

ANEXO N°7: PANEL FOTOGRÁFICO

Foto N°01

Coordenadas de la calicata 01



Foto N°02

Profundidad de la calicata 01



Foto N°03

Estratos de la calicata 01



Foto N°04

Estratos de la calicata 01



Foto N°05

Coordenadas de la calicata 01



Foto N°06

Coordenadas de la calicata 01



Foto N°07

Trazo para excavación calicata 02



Foto N°08

Trazo para excavación calicata 02



Foto N°09

Estratos de la calicata 02



Foto N°10

Estratos de la calicata 02



Foto N°11

Profundidad de la calicata 02



Foto N°12

Coordenadas de la calicata 02



Foto N°13

Coordenadas de la calicata 02



Foto N°14

Coordenadas de la calicata 02



Foto N°15

Coordenadas de la calicata 02



Foto N°16

Trazo para excavación calicata 03



Foto N°17

Estratos de la calicata 03



Foto N°18

Estratos de la calicata 03



Foto N°19

Estratos de la calicata 03



Foto N°20

Estratos de la calicata 03

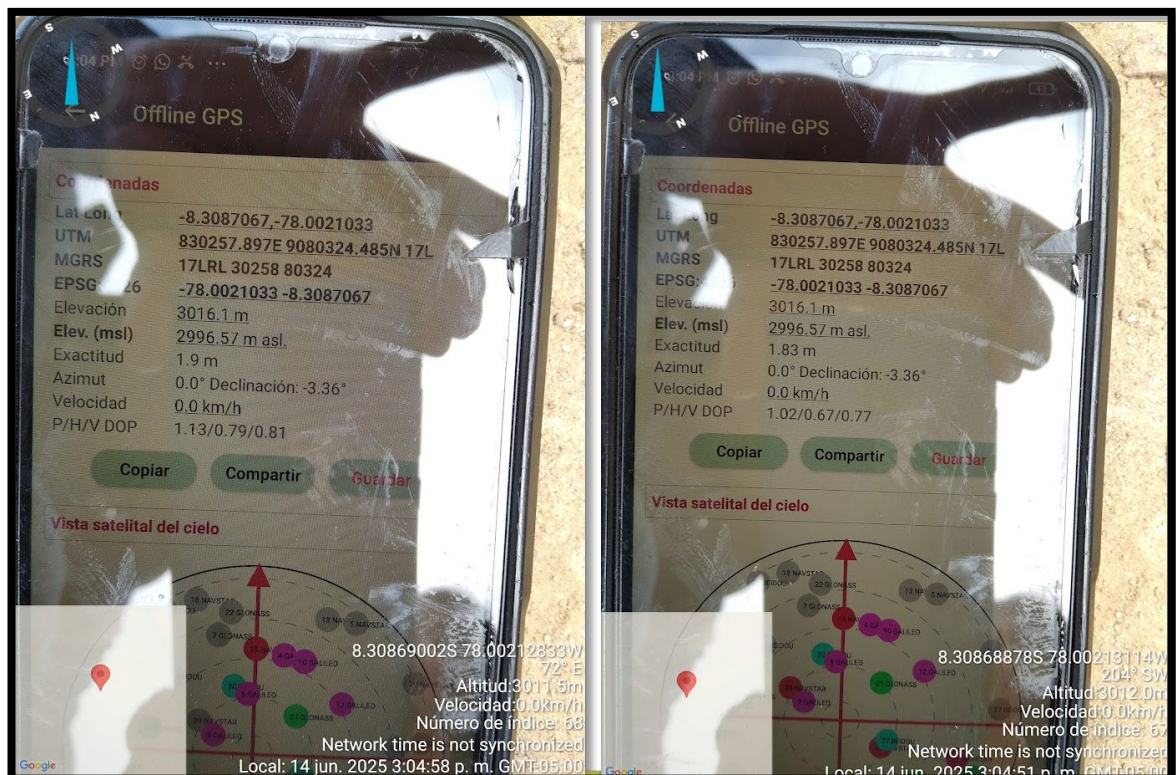


Foto N°21

Cantera del material local a utilizar (lutita, pizarra)

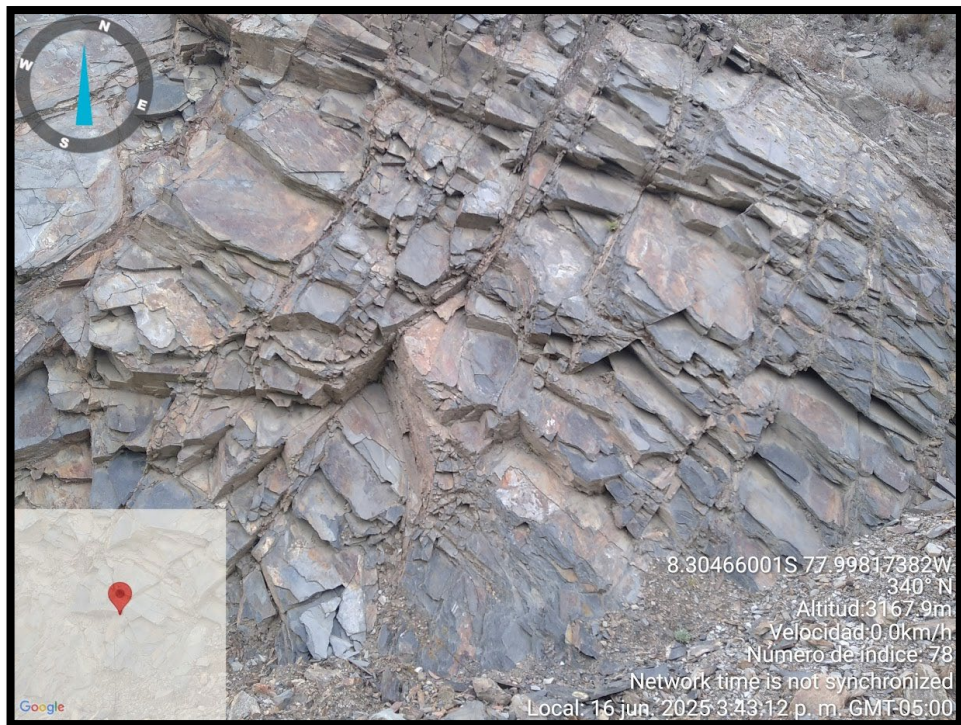


Foto N°22

Localización del material a utilizar (lutita)



Foto N°23

Lugar para la extracción del material local.



Foto N°24

Cantera de piedra pizarra



Foto N°25

Muestra de Suelo en laboratorio UNS.



Foto N°26

Cuarteo del Material para granulometría calicata 01.



Foto N°27

Cuarteo del Material para granulometría calicata 02.



Foto N°28

Masas de los diferentes tamices retenidos para granulometría calicata 01.



Foto N°29

Masas de los diferentes tamices retenidos para granulometría calicata 02.

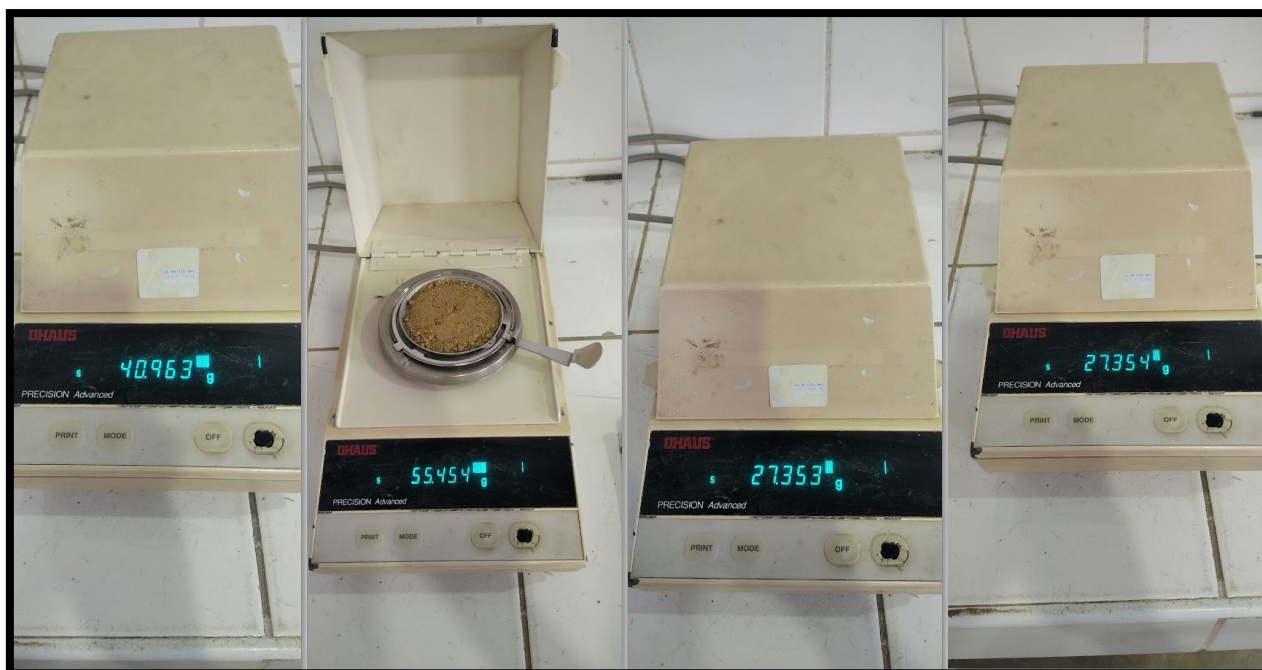


Foto N°30

Resultado de granulometría calicata 02 y 03



Foto N°31

Anotación de las medidas de los moldes para los respectivos ensayos de CBR y Proctor.



Foto N°32

Anotación de las medidas de los moldes para los respectivos ensayos de CBR y Proctor.



Foto N°33

Anotación de las medidas de los moldes para los respectivos ensayos de CBR y Proctor.



Foto N°34

Anotación de las medidas de los moldes para los respectivos ensayos de CBR y Proctor.



Foto N°35

Anotación de las medidas de los moldes para los respectivos ensayos de CBR y Proctor.



Foto N°36

Peso del Molde para ensayo Proctor



Foto N°37

Peso del Molde con la muestra para ensayo Proctor calicata 01



Foto N°38

Peso del Molde con la muestra para ensayo Proctor calicata 01, muestra sin alterar.



Foto N°39

Peso de la muestra para el contenido de humedad, antes y después de ingresar al horno, calicata 01.



Foto N°40

Peso de la muestra para el contenido de humedad, antes y después de ingresar al horno, calicata 01.



Foto N°41

Peso de la muestra para el contenido de humedad, antes y después de ingresar al horno, calicata 01.



Foto N°42

Peso de la muestra para el contenido de humedad, antes y después de ingresar al horno, calicata 01.



Foto N°43

Peso de la muestra con molde del ensayo Proctor, calicata 02.



Foto N°44

Peso de la muestra con molde del ensayo Proctor, calicata 02.



Foto N°45

Peso de la muestra con molde del ensayo Proctor, calicata 02.



Foto N°46

Peso de la muestra para contenido de humedad, antes y después de ingresar al horno, calicata 02.



Foto N°47

Peso de la muestra para contenido de humedad, antes y después de ingresar al horno, calicata 02.



Foto N°48

Peso de la muestra para contenido de humedad, antes y después de ingresar al horno, calicata 02.



Foto N°49

Peso de la muestra para contenido de humedad, antes y después de ingresar al horno, calicata 02.



Foto N°50

Peso del molde con la muestra húmeda para ensayo Proctor, calicata 03.



Foto N°51

Peso del molde con la muestra húmeda para ensayo Proctor, calicata 03.



Foto N°52

Peso del molde con la muestra húmeda para ensayo Proctor, calicata 03.



Foto N°53

Peso del molde con la muestra húmeda para ensayo Proctor, calicata 03.



Foto N°54

Peso de la muestra húmeda para ensayo Proctor, calicata 03.



Foto N°55

Peso de la muestra húmeda para ensayo Proctor, calicata 03.



Foto N°56

Peso de la muestra húmeda para ensayo Proctor, calicata 03.



Foto N°57

Peso de la muestra húmeda para ensayo Proctor, calicata 03.



Foto N°58

Muestras preparadas para el ensayo de CBR.



Foto N°59

Peso del molde con la muestra húmeda a 12 golpes para el ensayo CBR.



Foto N°60

Peso del molde con la muestra húmeda a 26 golpes para el ensayo CBR.



Foto N°61

Peso del molde con la muestra húmeda a 55 golpes para el ensayo CBR.



Foto N°62

Inmersión de los moldes con muestra húmeda para el ensayo CBR.



Foto N°63

Lecturas de las diferentes muestras del ensayo CBR.



Foto N°64

Lecturas de las diferentes muestras del ensayo CBR.



Foto N°65

Lecturas de las diferentes muestras del ensayo CBR.



Foto N°66

Lecturas de las diferentes muestras del ensayo CBR.



Foto N°67

Ensayo de penetración de los moldes compactados.



Foto N°68

Ensayo de penetración de los moldes compactados.



Foto N°69

Desmolde de las muestras en después del ensayo de penetración de CBR.



Foto N°70

Ensayo de penetración de los moldes compactados.



Foto N°71

Ensayo de penetración de los moldes compactados.



Foto N°72

Desmolde de las muestras en después del ensayo de penetración de CBR.



Foto N°73

Ensayo de consistencia de la copa de Casagrande de la muestra natural, calicata 01.



Foto N°74

Ensayo de consistencia de la copa de Casagrande de la muestra natural, calicata 02.



Foto N°75

Ensayo de plasticidad, calicata 01.



Foto N°76

Ensayo de plasticidad, calicata 02.



Foto N°77

Preparación de la muestra del material local (lutita) para los ensayos de consistencia



Foto N°78

Peso de la muestra y del molde del material local para los límites de consistencia.



Foto N°79

Preparación de las muestras para los ensayos Proctor y CBR.



Foto N°80

Preparación de las muestras para los ensayos Proctor y CBR.



Foto N°81

Preparación de las muestras para los ensayos CBR con contenido de humedad cero.



Foto N°82

Preparación de los moldes para los ensayos CBR con papel filtro.



Foto N°83

Recopilación de los datos necesarios para los ensayos y su posterior procesamiento.



Foto N°84

Recopilación de los datos necesarios para los ensayos y su posterior procesamiento.



Foto N°85

Elaboración del ensayo CBR Compactación y enrase.



Foto N°86

Elaboración del ensayo CBR Compactación y enrase.



Foto N°87

Compactación de muestra a 25 golpes.



Foto N°88

Compactación de muestra a 12 golpes.



Foto N°89

Enrase de la muestra en el molde de 12 golpes del ensayo CBR



Foto N°90

Preparación de la muestra para la inmersión con papel filtro.



Foto N°91

Preparación de la muestra para la inmersión con papel filtro.



Foto N°92

Inmersión de la muestra, para los ensayos a 55, 25 y 12 golpes



Foto N°93

Mezcla de la muestra natural, con adición de lutita con la humedad respectiva del ensayo Proctor.



Foto N°94

Peso del molde con la muestra húmeda del ensayo de CBR con adición de lutita.



Foto N°95

Penetración de la muestra preparada a 56 golpes.



Foto N°96

Penetración de la muestra preparada a 56 golpes.



Foto N°97

Penetración de la muestra preparada a 25 y 12 golpes.



Foto N°98

Preparación del ensayo Proctor con adición de material para determinación de óptimo contenido de humedad



Foto N°99

Preparación del ensayo Proctor con adición de material para determinación de óptimo contenido de humedad



Foto N°100

Preparación del ensayo CBR con adición de material.



Foto N°101

Preparación del ensayo CBR con adición de material.



Foto N°102

Preparación del ensayo CBR con adición de material.



Foto N°103

Inmersión de las muestras con material local.



Foto N°104

Inmersión de las muestras con material local.



Foto N°105

Lectura de las mediciones de expansión para cada molde en el ensayo CBR.



Foto N°106

Lutita para triturar, no menor a 1", mejoramiento con material granular.



Foto N°107

Lutita para triturar, no menor a 1", mejoramiento con material granular.



Foto N°108

Lutita para triturar, no menor a 1", mejoramiento con material granular.



Foto N°109

Lutita para triturar, no menor a 1", mejoramiento con material granular.



Foto N°110

Lutita para triturar, no menor a 1", mejoramiento con material granular.



Foto N°111

El material local (lutita) triturado, para mezclar con material local.



Foto N°112

El material local (lutita) triturado, para mezclar con material local.



Foto N°113

Granulometría de la lutita triturada.



Foto N°114

Granulometría de la lutita triturada.



Foto N°114

Granulometría de la lutita triturada.



Foto N°114

Granulometría de la lutita triturada.



Foto N°115

Muestras preparadas granulométricamente para la mezcla con material local



Foto N°116

Muestras preparadas granulométricamente para la mezcla con material local



Foto N°117

Muestras preparadas granulométricamente para la mezcla con material local.

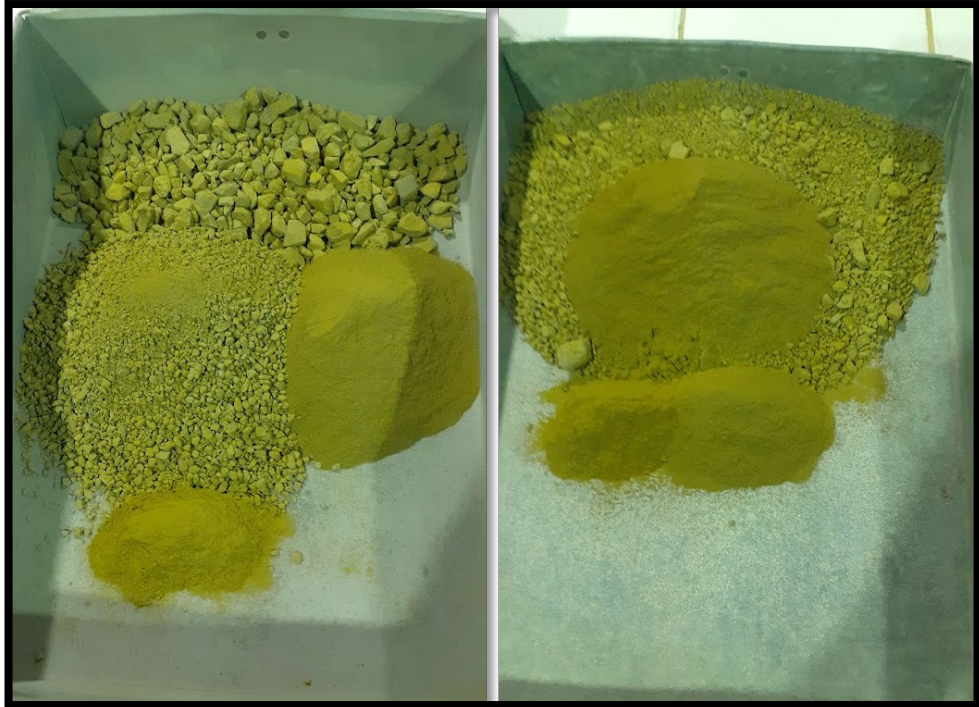


Foto N°118

Lutitas preparadas granulométricamente para la mezcla con material local.



Foto N°119

Lutitas preparadas granulométricamente para la mezcla con material local.



Foto N°120

Lutitas preparadas granulométricamente para la mezcla con material local.



Foto N°121

Mezcla de ambos materiales por método grafico para el mejoramiento de CBR.



Foto N°122

Mezcla de ambos materiales por método grafico para el mejoramiento de CBR.



Foto N°123

Mezcla de ambos materiales por método grafico para el mejoramiento de CBR.



Foto N°124

Mezcla de ambos materiales por método grafico para el mejoramiento de CBR.



Foto N°125

Mezcla de ambos materiales por método grafico para el mejoramiento de CBR.



Foto N°126

Compactación de la muestra mezclada para el ensayo CBR.



Foto N°127

Compactación de la muestra mezclada para el ensayo CBR.



Foto N°128

Enrase de la muestra mezclada para el ensayo CBR.



Foto N°129

Compactación de la muestra mezclada para el ensayo CBR.



Foto N°130

Compactación de la muestra mezclada para el ensayo CBR.



Foto N°130

Trituración con martillo de la piedra lutita para tramo de prueba.



Foto N°131

Tamizado de la piedra lutita para tramo de prueba.



Foto N°132

Estado actual de la trocha carrozable.



Foto N°133

Estado actual de la trocha carrozable.



Foto N°134

Mezcla de la piedra lutita al 50% y el suelo de la trocha carrozable para el tramo de prueba.



Foto N°135

Compactación del tramo de prueba.



Foto N°136

Prueba de densidad de campo.



Foto N°137

Prueba de densidad de campo.



Foto N°138

Tramo de prueba después de la lluvia, mantiene la compactación.

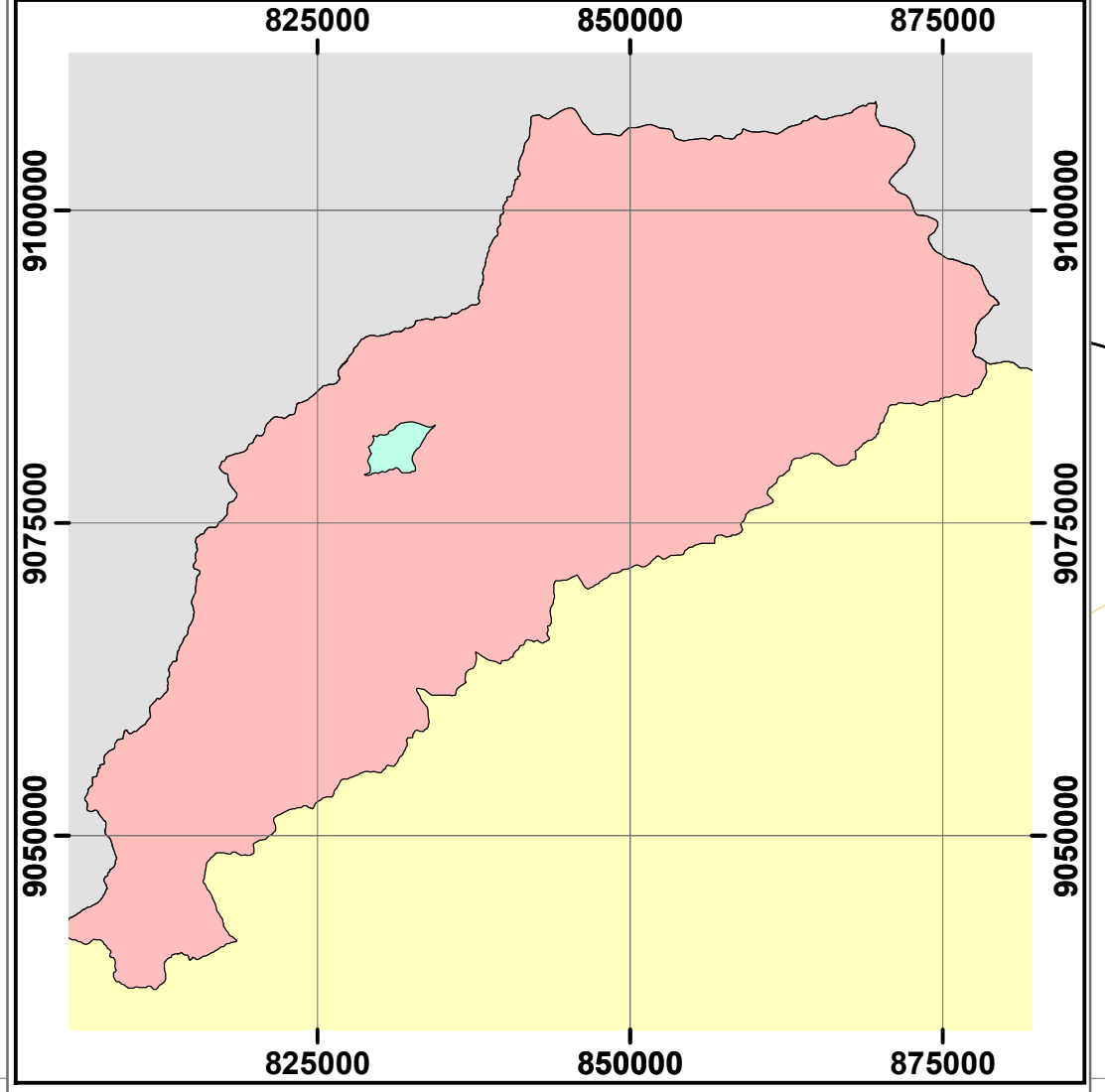
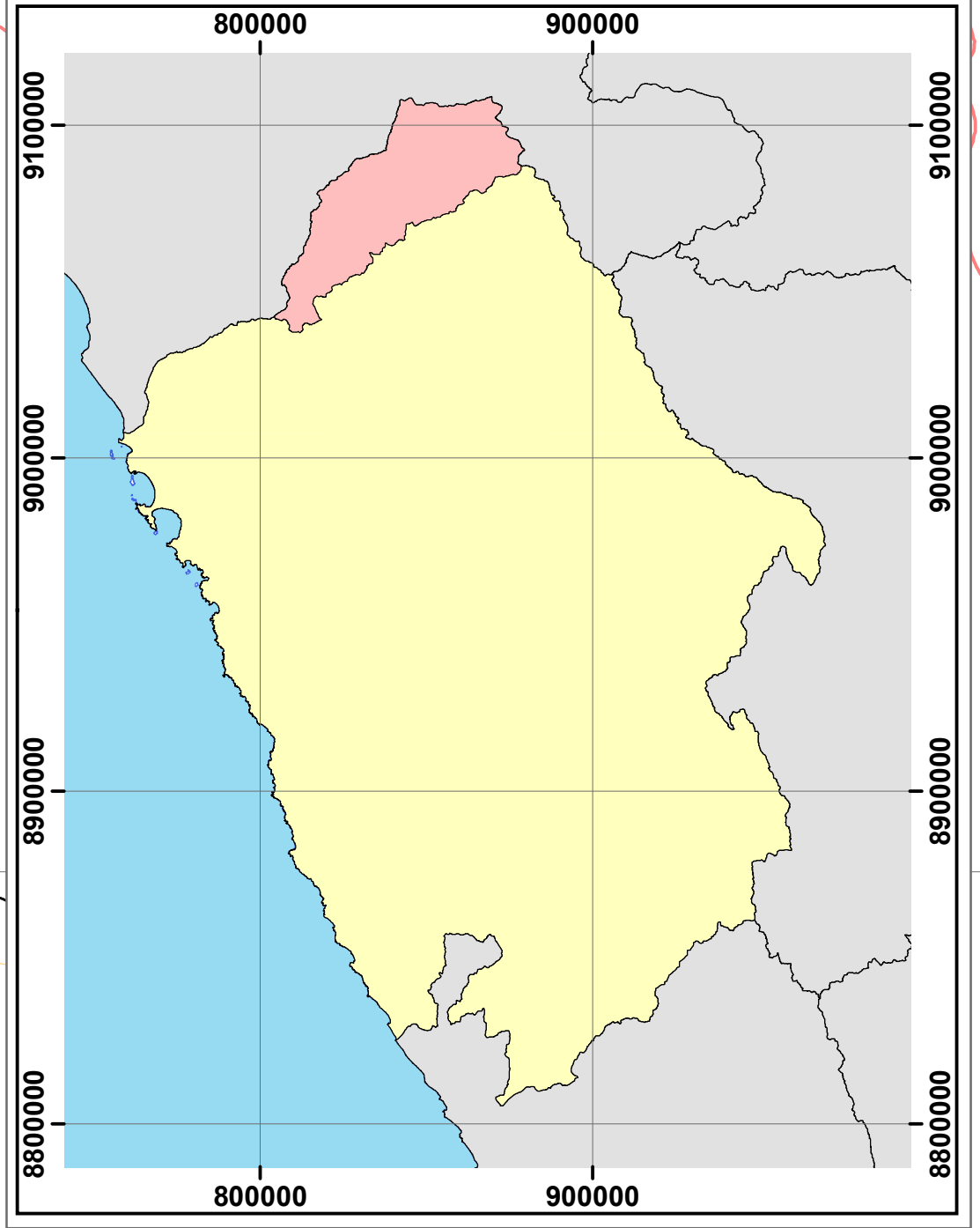
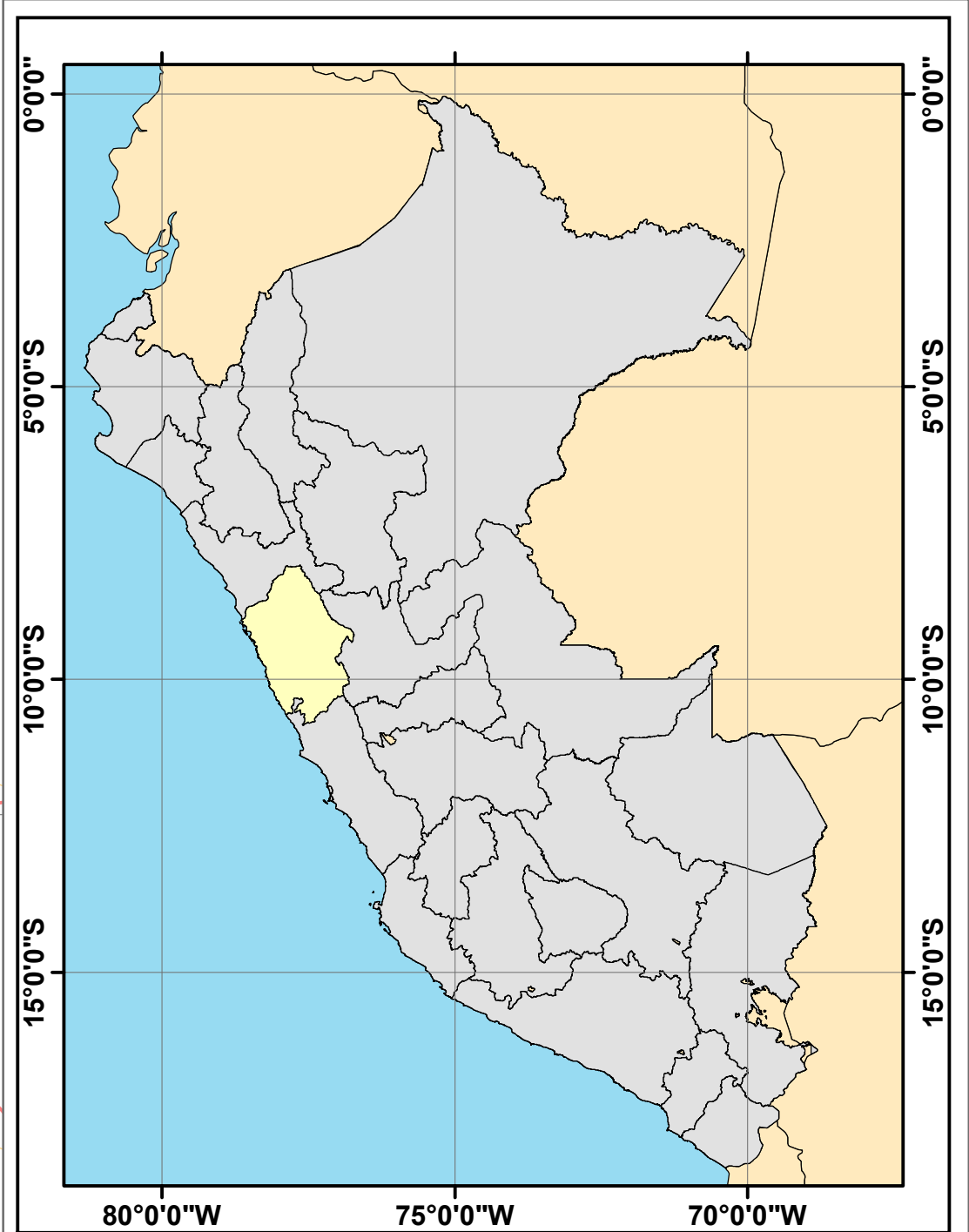
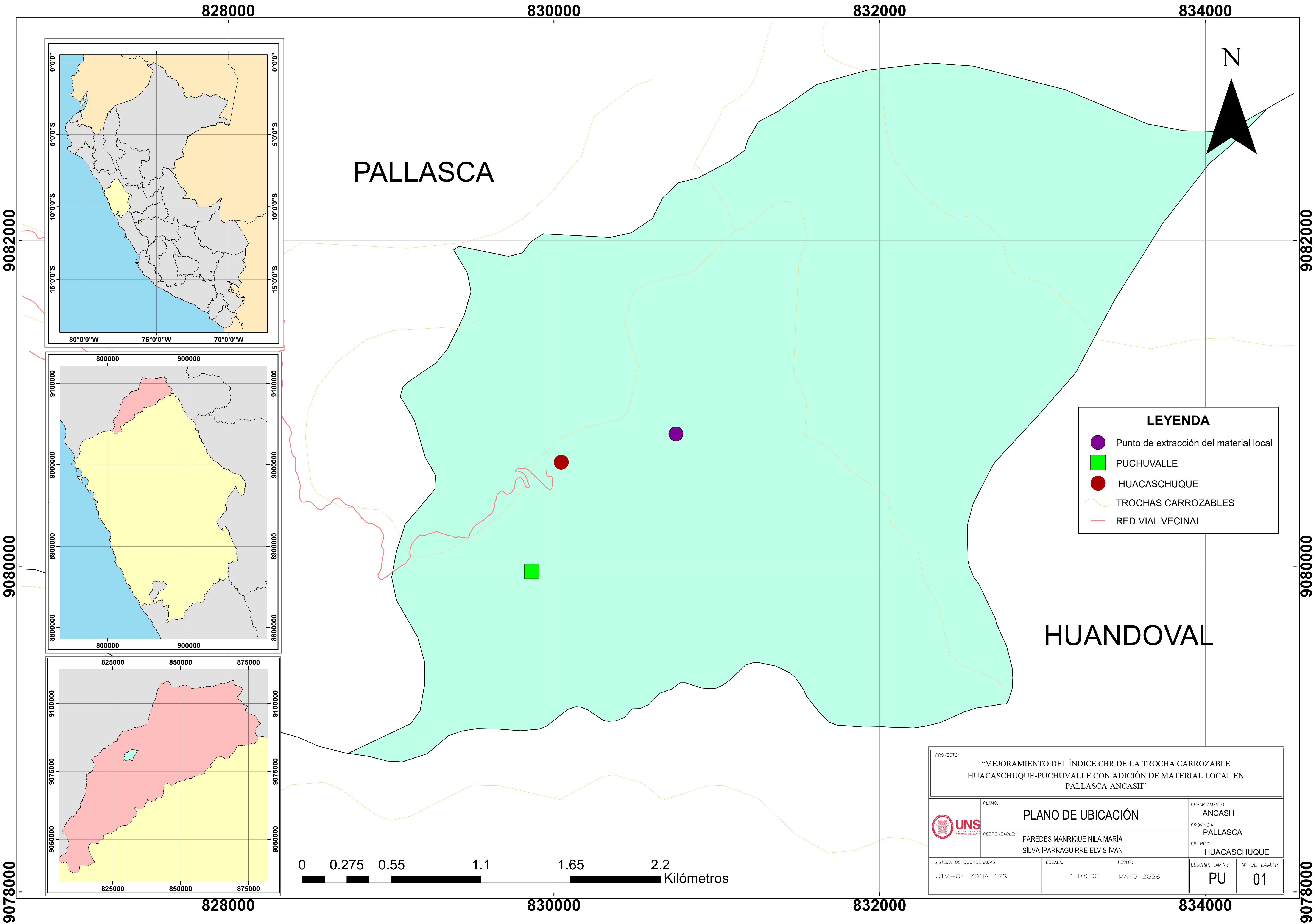


Foto N°139

Tramo de prueba después de la lluvia, mantiene la compactación.

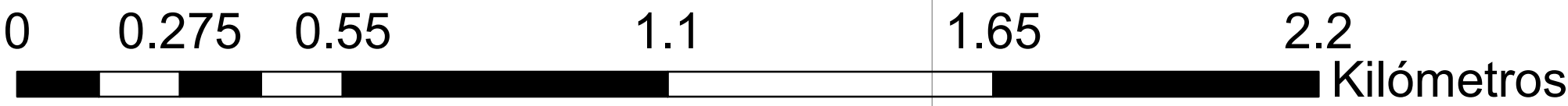


ANEXO N°8: PLANOS

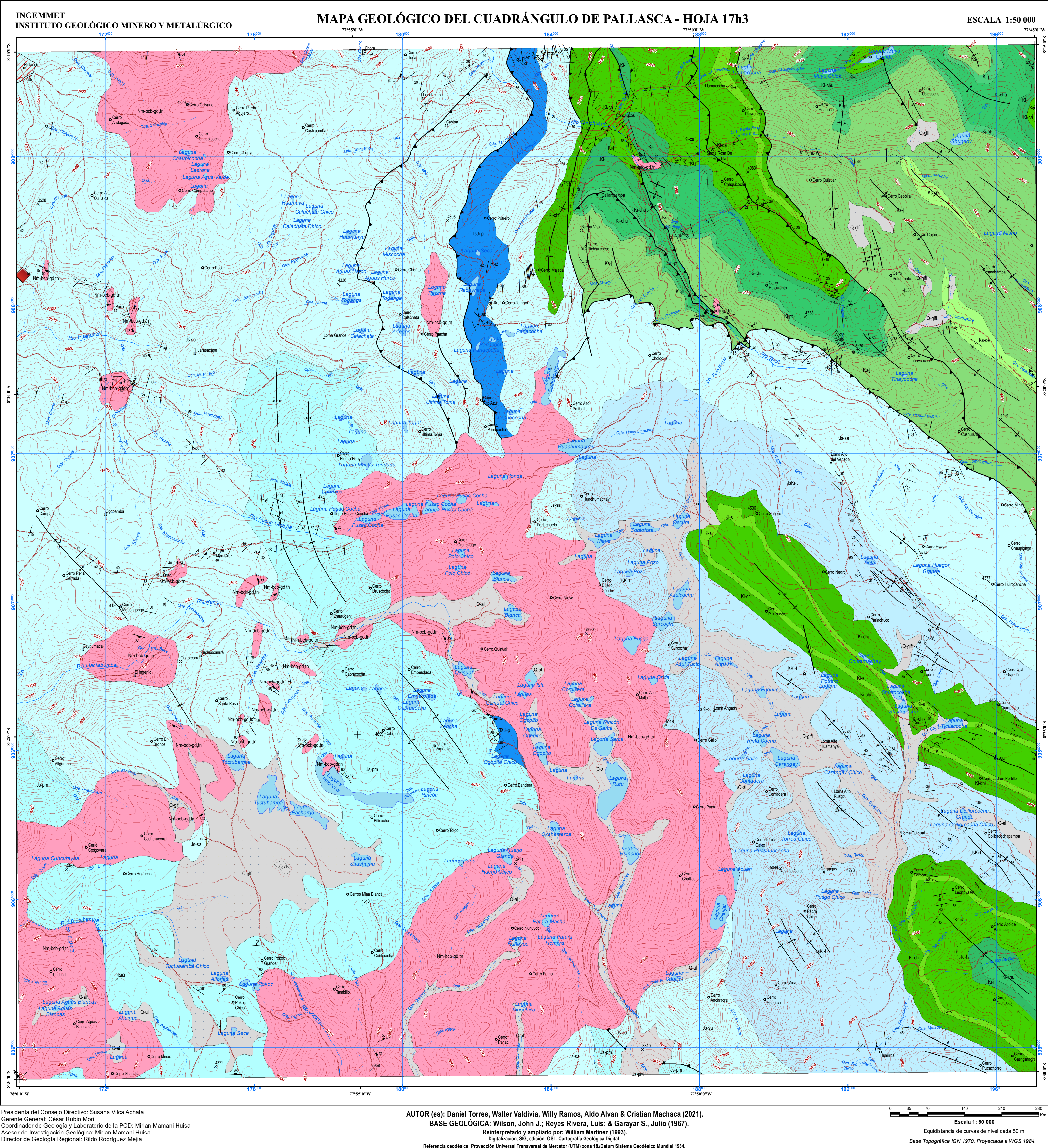
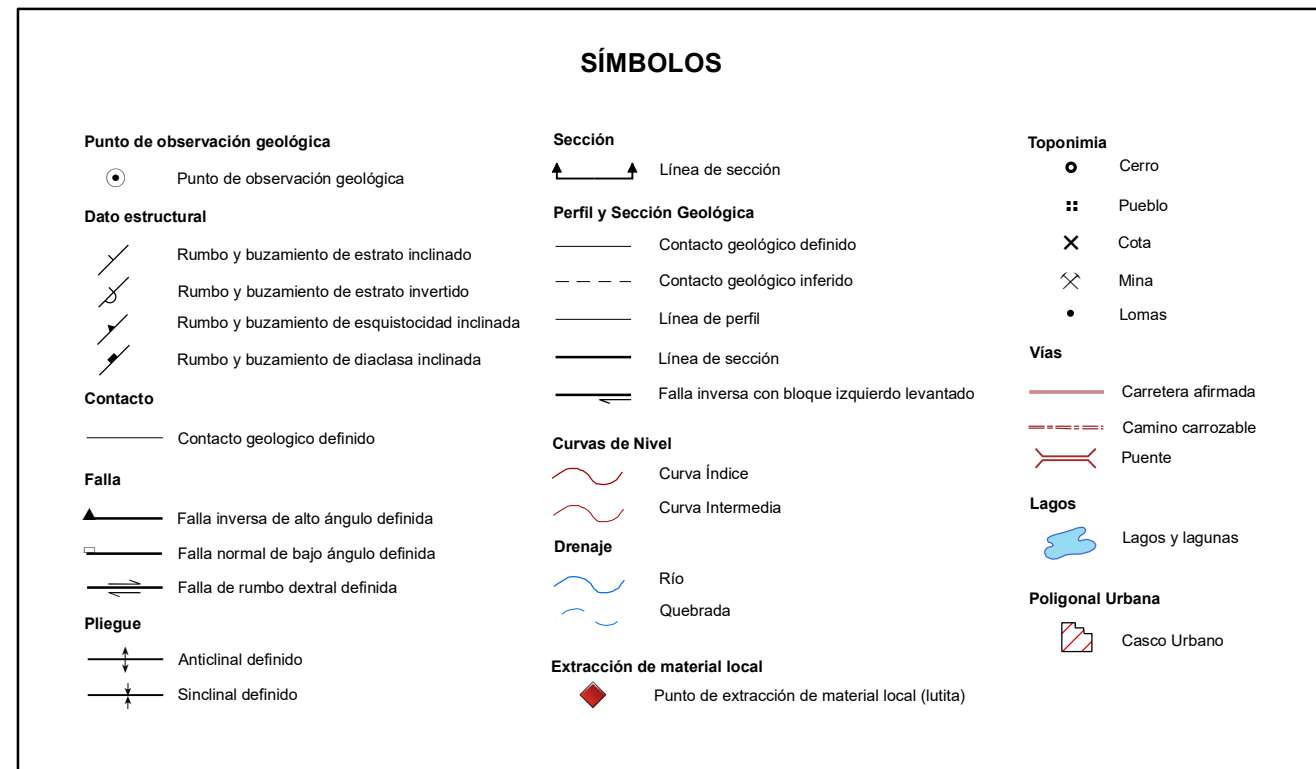
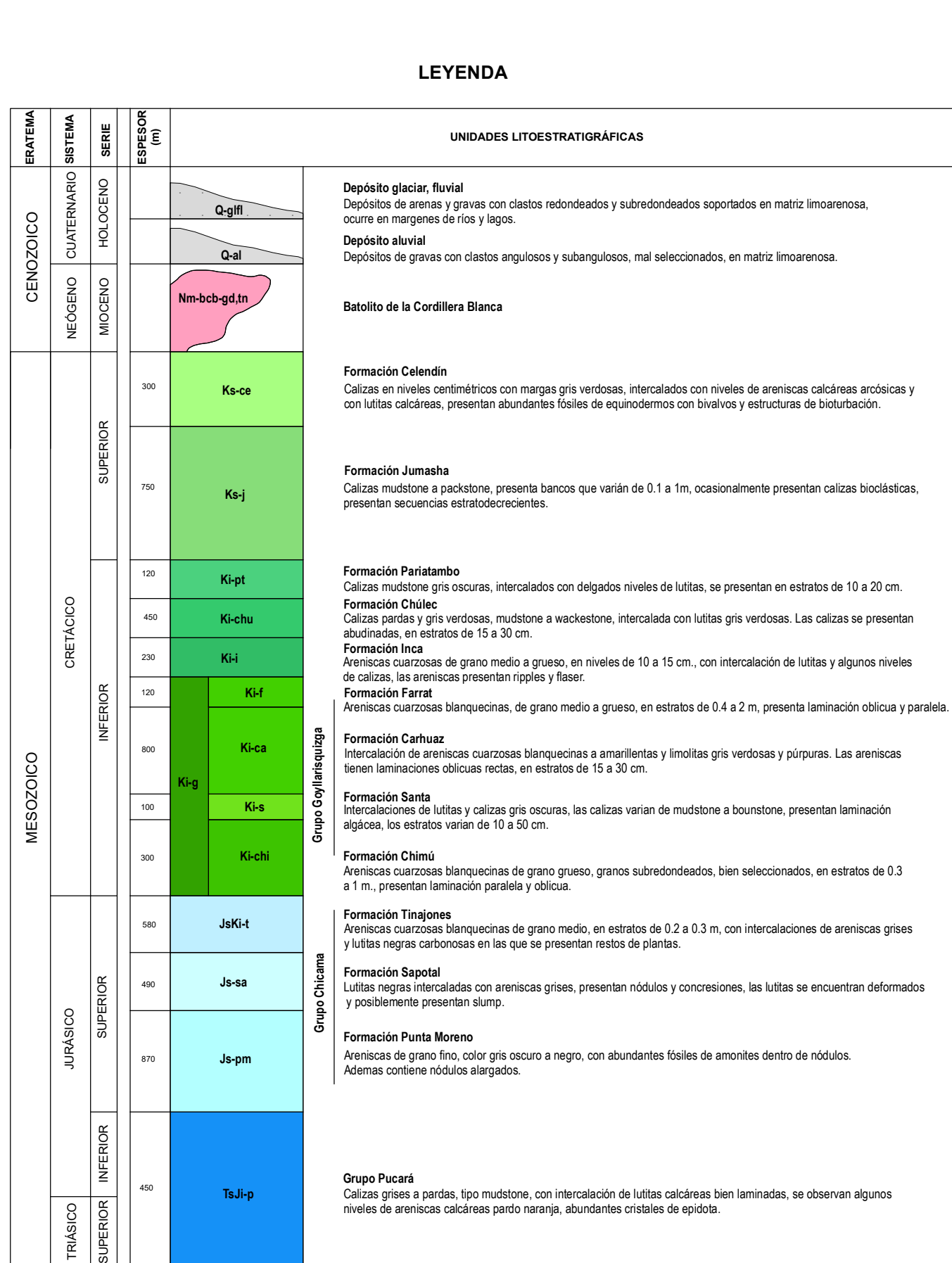


LEYENDA

- Punto de extracción del material local
- PUCHUVALLE
- HUACASCHUQUE
- TROCHAS CARROZABLES
- RED VIAL VECINAL

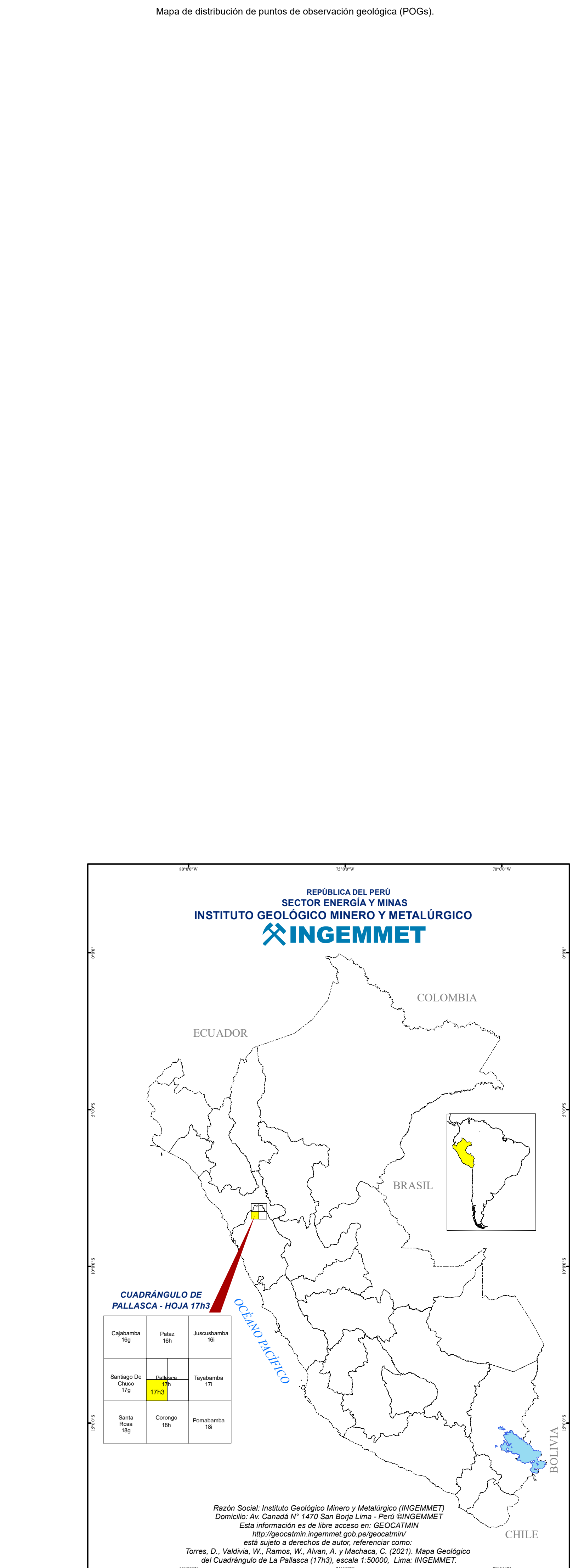
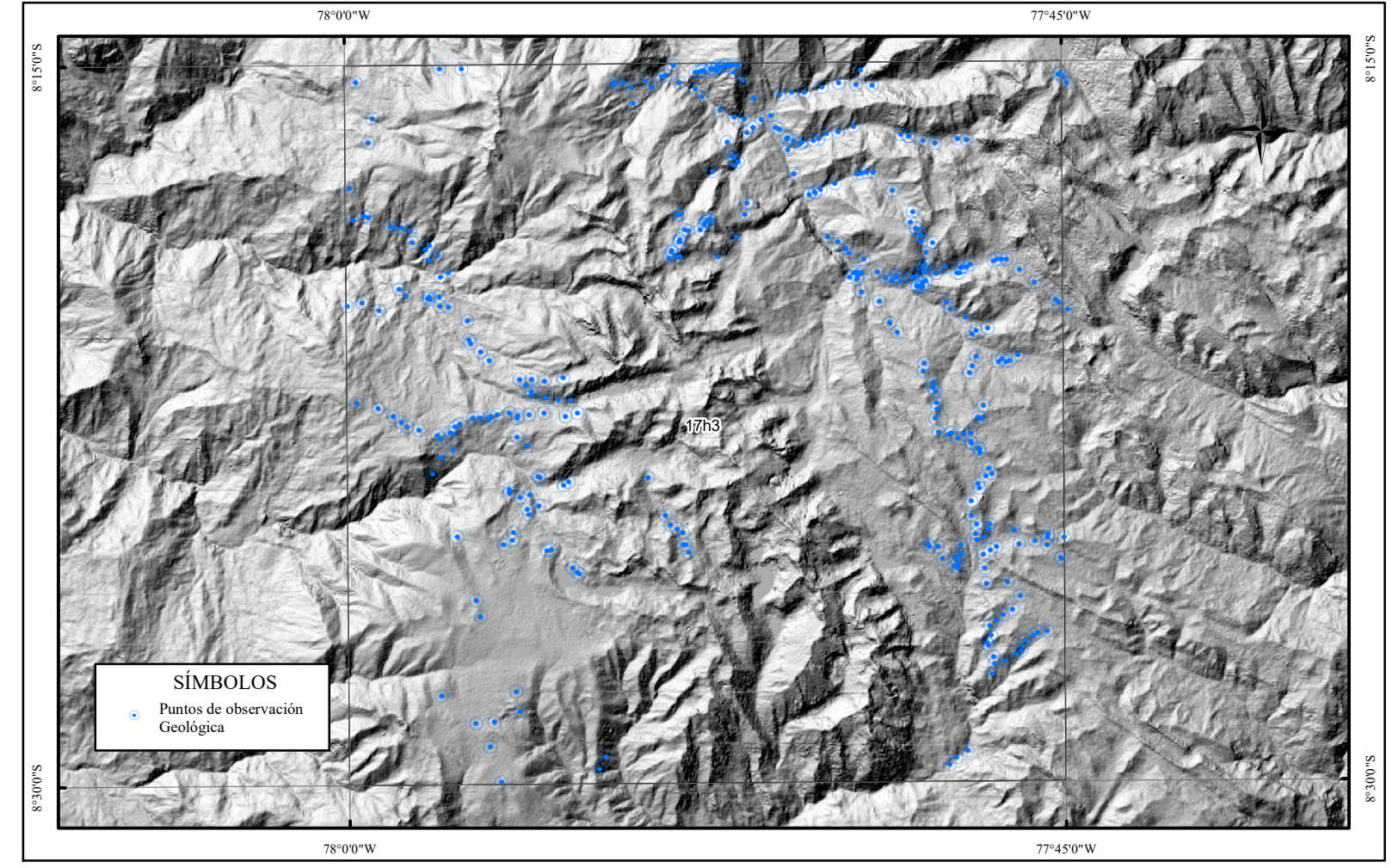
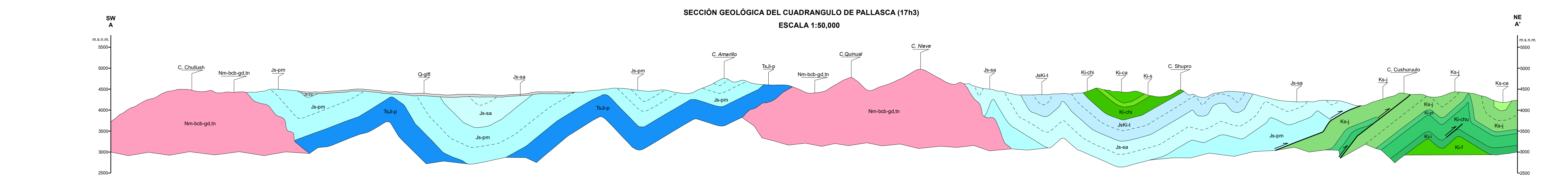


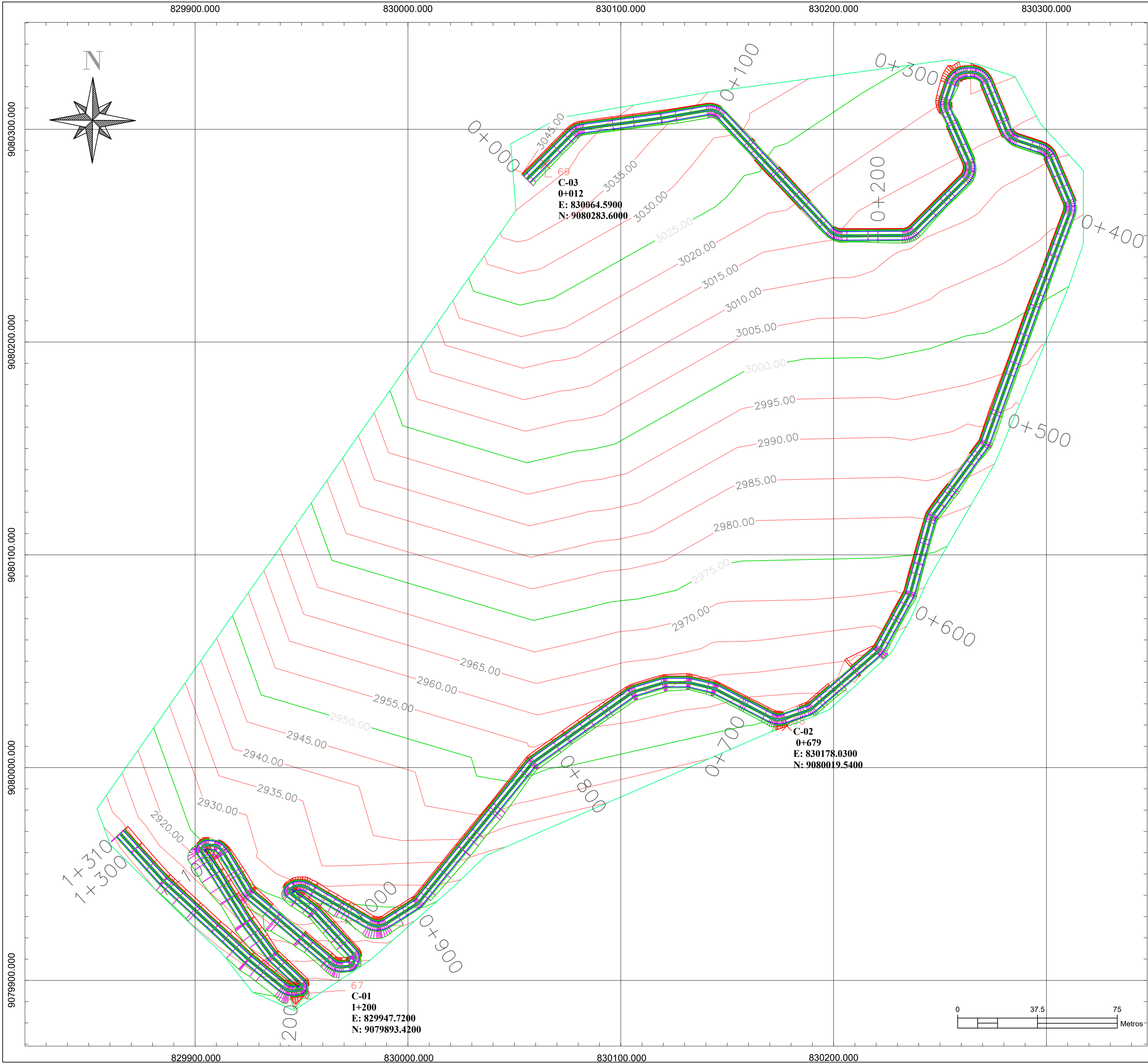
PROYECTO: "MEJORAMIENTO DEL ÍNDICE CBR DE LA TROCHA CARROZABLE HUACASCHUQUE-PUCHUVALLE CON ADICIÓN DE MATERIAL LOCAL EN PALLASCA-ANCASH"					
	PLANO:	PLANO DE UBICACIÓN		DEPARTAMENTO:	ANCASH
	RESPONSABLE:	PAREDES MANRIQUE NILA MARÍA SILVA IPARRAGUIRRE ELVIS IVÁN		PROVINCIA:	PALLASCA
	SISTEMA DE COORDENADAS:	UTM-84 ZONA 17S	ESCALA:	1:10000	FECHA:
				DESCRIP. LAMIN.:	PU
				N° DE LAMIN.:	01



Presidenta del Consejo Directivo: Susana Vilca Achata
Gerente General: César Rubio Mori
Coordinador de Geología y Laboratorio de la PCD: Miriam Mamani Huisa
Asesor de Investigación Geológica: Miriam Mamani Huisa
Director de Geología Regional: Rildo Rodríguez Mejía

AUTOR (es): Daniel Torres, Walter Valdivia, Willy Ramos, Aldo Alvan & Cristian Machaca (2021).
BASE GEOLÓGICA: Wilson, John J.; Reyes Rivera, Luis; & Garayar S., Julio (1967).
Reinterpretado y ampliado por: William Martínez (1993).
Digitalización: SIG, edición: OSG - Cartografía Geológica Digital.
Referencia geodésica: Proyección Universal Transversal de Mercator (UTM) zona 18, Datum Sistema Geodésico Mundial 1984.





CALICATAS				
PUNTOS	ELEVACIÓN	NORTE	ESTE	DESCRIPCIÓN
67	2930.00	9079893.42	829947.72	C-01
68	2966.00	9080019.54	830178.03	C-02
69	3016.00	9080283.60	830064.59	C-03

PROYECTO:

“MEJORAMIENTO DEL ÍNDICE CBR DE LA TROCHA CARROZABLE
HUACASCHUQUE-PUCHUVALLE CON ADICIÓN DE MATERIAL LOCAL EN
PALLASCA-ANCASH”

PLANO:

PLANO DE TROCHA CARROZABLE

RESPONSABLE:

PAREDES MANRIQUE NILA MARÍA
SILVA IPARRAGUIRRE ELVIS IVAN

DEPARTAMENTO:

ANCASH

PROVINCIA:

PALLASCA

DISTRITO:

HUACASCHUQUE

SISTEMA DE COORDENADAS:

UTM-84 ZONA 17S

ESCALA:

1:1250

FECHA:

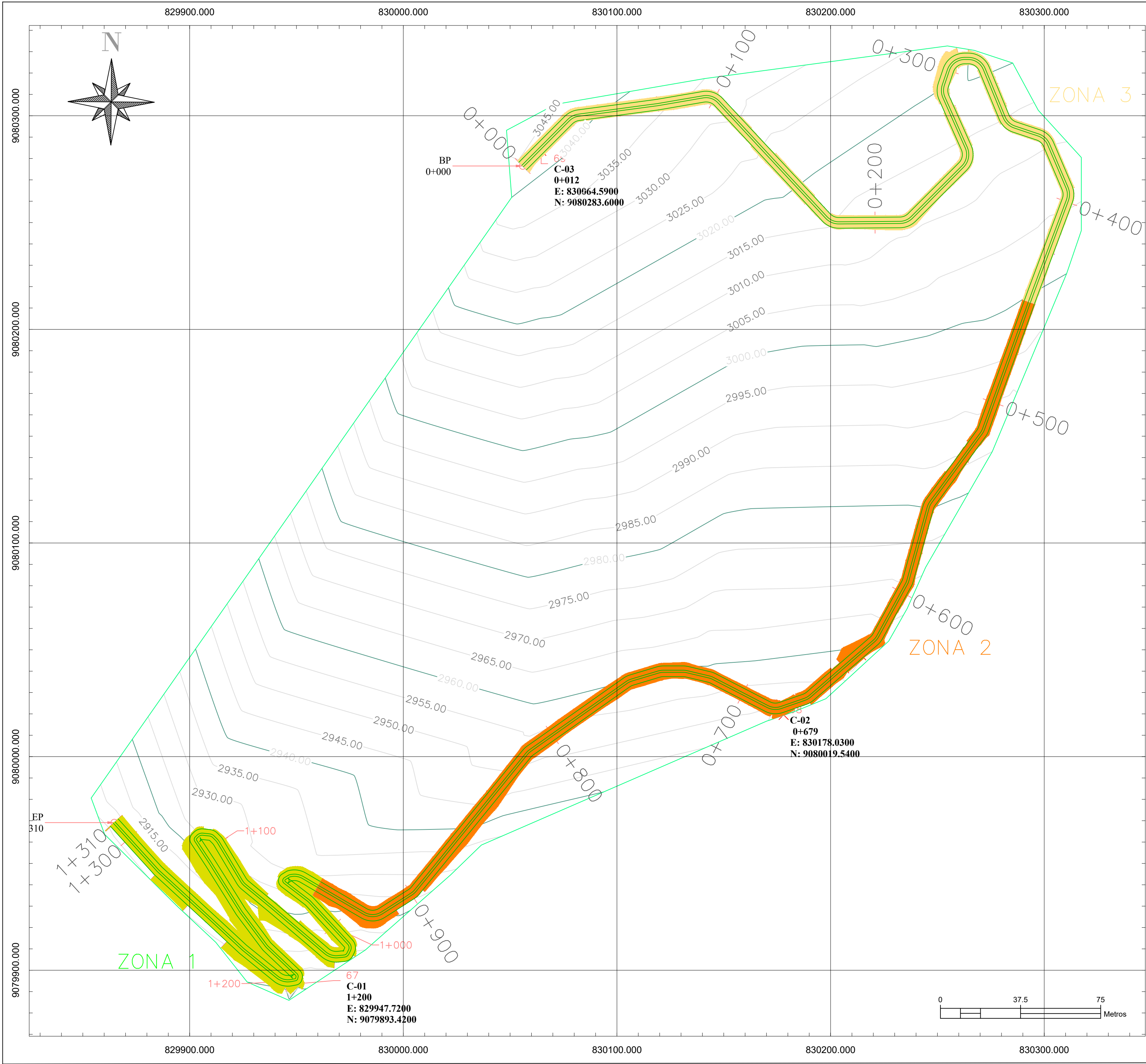
MAYO 2026

DESCRIP. LAMIN.:

PT

N° DE LAMIN:

01



Sección Transversal Zona 1



Sección Transversal Zona 2



Sección Transversal Zona 3



CALICATAS				
PUNTOS	ELEVACIÓN	NORTE	ESTE	DESCRIPCIÓN
67	2930.00	9079893.42	829947.72	C-01
68	2966.00	9080019.54	830178.03	C-02
69	3016.00	9080283.60	830064.59	C-03

LEYENDA	
SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN
	Zona 1, arena limosa (SM), mejoramiento con 30% lutita
	Zona 2, arena limosa arcillosa (SC-SM), mejoramiento con 50% lutita
	Zona 3, arena limosa (SM), 25% mejoramiento con lutita

PROYECTO: "MEJORAMIENTO DEL ÍNDICE CBR DE LA TROCHA CARROZABLE HUACASCHUQUE-PUCHUVALLE CON ADICIÓN DE MATERIAL LOCAL EN PALLASCA-ANCASH"				
	PLANO:	SECCIONES POR TRAMOS		
	RESPONSABLE:	PAREDES MANRIQUE NILA MARÍA SILVA IPARRAGUIRRE ELVIS IVAN		
	SISTEMA DE COORDENADAS:	ESCALA:	FECHA:	DESCRIP. LAMIN.:
UTM-84 ZONA 17S		1:1250	MAYO 2026	ST
				N° DE LAMIN: 01