



UNIVERSIDAD ANDINA

NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ

FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DE CENIZA DE EUCALIPTO
SOBRE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE
Y SU EFECTO EN EL ESPESOR DE AFIRMADO DE
VÍAS EN LA PROVINCIA DE MOHO 2025**

TESIS PRESENTADA POR:

Bach. JESUS DANIEL TITO MAMANI

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO CIVIL

JULIACA – PERÚ

2025



UNIVERSIDAD ANDINA

NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ

FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

**INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DE CENIZA DE EUCALIPTO
SOBRE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE
Y SU EFECTO EN EL ESPESOR DE AFIRMADO DE
VÍAS EN LA PROVINCIA DE MOHO 2025**

TESIS PRESENTADA POR:

Bach. JESUS DANIEL TITO MAMANI

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO CIVIL

APROBADA POR EL JURADO REVISOR:

PRESIDENTE

:


Dr. OSCAR VICENTE VIAMONTE CALLA

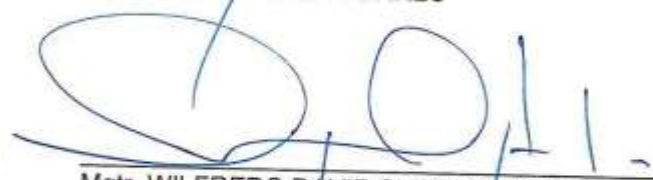
PRIMER MIEMBRO

:


Dr. ARNALDO YANA TORRES

SEGUNDO MIEMBRO

:


Mgtr. WILFREDO DAVID SUPO PACORI

ASESOR DE TESIS

:


M.Sc. JESÚS ESTEBAN CASTILLO MACHACA

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

:

TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN – P17



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"

RESOLUCIÓN DECANAL N° 1491-2025-D-UI-FICP-UANCV

Juliaca, 11 de noviembre del 2025

VISTO: El expediente N° 2025 - CU - 11399 presentado por el (la) Bachiller: **JESUS DANIEL TITO MAMANI** estudiante de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras quien solicita **NOMINACIÓN DE JURADOS Y PROGRAMACIÓN DE FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN**.

CONSIDERANDO:

Que, el (la) Bach. **JESUS DANIEL TITO MAMANI**, quien solicita **NOMINACIÓN DE JURADOS Y PROGRAMACIÓN DE FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN** de la Tesis Titulada: **INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DE CENIZA DE EUCALIPTO SOBRE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE Y SU EFECTO EN EL ESPESOR DE AFIRMADO DE VÍAS EN LA PROVINCIA DE MOHO 2025**, la misma que pertenece a la línea de investigación **TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN** para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil.

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

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

RESUELVE:

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

- * **Presidente** : Dr. OSCAR VICENTE VIAMONTE CALLA
- * **1er Miembro** : Dr. ARNALDO YANA TORRES
- * **2do Miembro** : Mgtr. WILFREDO DAVID SUPO PACORI

ARTICULO SEGUNDO. - RECONOCER como asesor de la investigación (tesis) de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras al (a la) docente, M.Sc. **JESÚS ESTEBAN CASTILLO MACHACA**.

ARTICULO TERCERO. - APROBAR, la **FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS** de el (la) bachiller: **JESUS DANIEL TITO MAMANI**; del informe final de la investigación (tesis) titulada: **INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DE CENIZA DE EUCALIPTO SOBRE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE Y SU EFECTO EN EL ESPESOR DE AFIRMADO DE VÍAS EN LA PROVINCIA DE MOHO 2025** para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil. de acuerdo al siguiente detalle:

- * **FECHA** : miércoles 19 de noviembre del 2025
- * **HORA** : 08:00 horas
- * **LUGAR** : Aula 406 - FICP

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

Regístrese, Comuníquese, Archívese.



UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

Dr. OSCAR V. VIAMONTE CALLA
DECANO (e)
CIP. 32730

cc:
Archivo
interesado (a)



UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

Dr. Fritz Willy Mamani Apaza
DIRECTOR
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN



TESIS UANCV



VICERRECTORADO DE
INVESTIGACIÓN
"OFICINA DE INVESTIGACIÓN"

UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"

RESOLUCIÓN DECANAL N° 1344-2025-D-UI-FICP-UANCV

Juliaca, 20 de octubre del 2025

VISTO: El expediente N° 2025-CU-9683 por el señor (a): **JESUS DANIEL TITO MAMANI** quien solicita **REVISIÓN DEL INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (borrador de tesis)**, el **PROVEIDO - N° 978-2025-UI-FICP-UANCV/J**, y la **FICHA DE OPINIÓN DEL INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (BORRADOR DE TESIS)** formato N° 140 - 2025 del integrante del comité de investigación **EPIC** de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, según al reglamento interno de trabajos de investigación conducente a grados y títulos.

CONSIDERANDO:

Que, el señor (a): **JESUS DANIEL TITO MAMANI**, ha presentado su informe final de la investigación (borrador de tesis) Titulada: **INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DE CENIZA DE EUCALIPTO SOBRE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE Y SU EFECTO EN EL ESPESOR DE AFIRMADO DE VÍAS EN LA PROVINCIA DE MOHO 2025**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil.

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales; el integrante del comité de investigación **Dr. Arnaldo Yana Torres** de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, emitió la ficha de opinión del informe final de la investigación (borrador de tesis) formato N° 140 - 2025 aprobando el informe final de la investigación (borrador de tesis) titulado: **INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DE CENIZA DE EUCALIPTO SOBRE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE Y SU EFECTO EN EL ESPESOR DE AFIRMADO DE VÍAS EN LA PROVINCIA DE MOHO 2025**, Correspondiente a la línea de investigación **TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN**.

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

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

RESUELVE:

ARTÍCULO PRIMERO.- APROBAR, el **INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (BORRADOR DE TESIS)**, para la **REVISIÓN DE SIMILITUD TURNITIN**, presentado por el señor (a): **JESUS DANIEL TITO MAMANI**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil, con el Tema Titulada: **INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DE CENIZA DE EUCALIPTO SOBRE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE Y SU EFECTO EN EL ESPESOR DE AFIRMADO DE VÍAS EN LA PROVINCIA DE MOHO 2025** correspondiente a la línea de investigación **TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN**, en virtud a los considerandos expuestos.

ARTÍCULO SEGUNDO.- RATIFICAR como **ASESOR DE INVESTIGACIÓN** al (a) la), **M.Sc. JESÚS ESTEBAN CASTILLO MACHACA**.

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

Regístrese, Comuníquese, Archívese.



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

Dr. OSCAR V. VIANTE CALLA
DECANO (e)
CIP. 32730

cc.
Archivo
interesado (a)



Dr. Fritz Yilly Mamani Apaza
DIRECTOR
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"

RESOLUCIÓN DECANAL N° 896-2025-D-UI-FICP-UANCV

Juliaca, 22 de agosto del 2025

VISTO: El expediente N° 2025-CU- 1546, presentado por el señor (a) JESUS DANIEL TITO MAMANI solicitando APROBACIÓN DE LA PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN el PROVEIDO - N° 690-2025-UI-FICP-UANCV/J, y la FICHA DE OPINIÓN DE LA PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN formato N° 089-2025 del integrante del comité de investigación EPIC de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, según al reglamento interno de trabajos de investigación conducente a grados y títulos.

CONSIDERANDO:

Que, el señor (a): JESUS DANIEL TITO MAMANI ha presentado su propuesta de investigación Titulada: **INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DE CENIZA DE EUCALIPTO SOBRE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE Y SU EFECTO EN EL ESPESOR DE AFIRMADO DE VÍAS EN LA PROVINCIA DE MOHO 2025**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil.

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales; el integrante del comité de investigación Dr. Arnaldo Yana Torres de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, emitió la ficha de opinión de la propuesta de investigación formato N° 089-2025- aprobando la propuesta de investigación titulada: **INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DE CENIZA DE EUCALIPTO SOBRE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE Y SU EFECTO EN EL ESPESOR DE AFIRMADO DE VÍAS EN LA PROVINCIA DE MOHO 2025**.

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

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

RESUELVE:

ARTÍCULO PRIMERO.- APROBAR, la **PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN**, presentado por el señor (a): JESUS DANIEL TITO MAMANI, para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil, con el Tema Titulada: **INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DE CENIZA DE EUCALIPTO SOBRE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE Y SU EFECTO EN EL ESPESOR DE AFIRMADO DE VÍAS EN LA PROVINCIA DE MOHO 2025** correspondiente a la línea de investigación **TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN**.

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

ARTÍCULO SEGUNDO.- RECONOCER como **ASESOR DE INVESTIGACIÓN** de al (a la) docente M.Sc. JESÚS ESTEBAN CASTILLO MACHACA.

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

Regístrese, Comuníquese, Archívese.

cc.
Archivo 2025
Interesado (a)



UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

Dr. OSCAR V. VIANONTE CALLA
DECANO (e)
CIP: 32730



UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
Dr. Fris. Villy Mamani Apaza
DIRECTOR
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN



16% Similitud general

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

Filtrado desde el informe

- ▶ Bibliografía
- ▶ Coincidencias menores (menos de 10 palabras)

Fuentes principales

- 9%  Fuentes de Internet
- 2%  Publicaciones
- 15%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

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

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



Metadatos Complementarios

Título de la tesis	
INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DE CENIZA DE EUCALIPTO SOBRE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE Y SU EFECTO EN EL ESPESOR DE AFIRMADO DE VÍAS EN LA PROVINCIA DE MOHO 2025	
Datos de autor	
Nombres y apellidos	JESUS DANIEL TITO MAMANI
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	46271161
URL de ORCID	https://orcid.org/0009-0006-0726-9418
Datos de asesor	
Nombres y apellidos	JESÚS ESTEBAN CASTILLO MACHACA
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	01323821
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0003-4595-7589
Datos del jurado	
Presidente del jurado	
Nombres y apellidos	OSCAR VICENTE VIAMONTE CALLA
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	02371550
Miembro del jurado 1	
Nombres y apellidos	ARNALDO YANA TORRES
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	41414676
Miembro del jurado 2	



Nombres y apellidos	WILFREDO DAVID SUPO PACORI
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	02428673
Datos de investigación	
Línea de investigación	Tecnología de la Construcción - P17
Grupo de investigación	No aplica.
Agencia de financiamiento	Sin financiamiento
Ubicación geográfica de la investigación	País: Perú Departamento: Puno Provincia: Moho Distrito: Moho Latitud: S 15° 21' 39" Longitud: O 69° 29' 59"  https://maps.app.goo.gl/AxzEoBTHXwbxRK4h6
Año o rango de años en que se realizó la investigación	Agosto 2025 – Noviembre 2025
URL de disciplinas OCDE https://concytec-pe.github.io/Peru-CRIS/vocabularios/ocde_ford.html - Librería	Ingeniería civil https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.01 Ingeniería de la construcción https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.03



DIRECTOR
Dr. César O. Comas Najar
DIRECTOR
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN



DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD Y RESPONSABILIDAD

Yo JESUS DANIEL TITO MAMANI, identificado con DNI
Nro. 46271161, en mi condición de egresado de:

- ☒ Escuela Profesional
☐ Programa de Segunda Especialidad,
☐ Programa de Maestría o Doctorado

INGENIERÍA CIVIL

informo que he elaborado el/la ☒ Tesis o ☐ Trabajo de Investigación, ☐ Trabajo Académico
denominada:

INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DE CENIZA DE EUCALIPTO SOBRE LA CAPACIDAD

DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE Y SU EFECTO EN EL ESPESOR DE

AFIRMADO DE VÍAS EN LA PROVINCIA DE MOHO 2025

Asesorado por: M.Sc. JESÚS ESTEBAN CASTILLO MACHACA

Es un tema original.

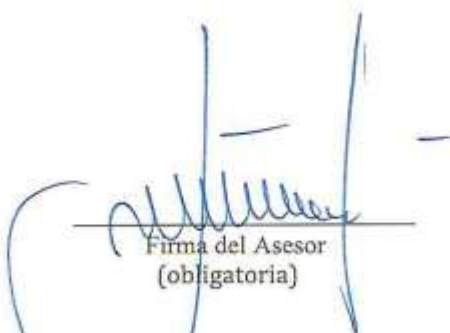
Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales,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

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

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

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

Juliana 18 de diciembre del 2025


Firma del Asesor
(obligatoria)


Firma del Estudiante
(obligatoria)



Huella



DEDICATORIA

Dedicó mi tesis a mis padres, ya que sin su apoyo no lo habría logrado; a mis hermanos Carlos y Rosa por creer en mí, ellos fueron quienes me impulsaron a seguir adelante.



AGRADECIMIENTO

Primeramente, agradezco a Dios por darme Fortaleza para concluir mis estudios.

A todos mis Docentes de la escuela profesional de Ingeniería Civil, por su paciencia y por haberme enseñado y encaminado hacia el éxito profesional, por sus buenos y sabios consejos.



ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTO	ii
ÍNDICE GENERAL	iii
ÍNDICE DE TABLAS	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
RESUMEN	x
ABSTRACT	xi
INTRODUCCIÓN	xii

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 Situación problemática.	14
1.2 Planteamiento del problema.	15
1.2.1 Problema General.....	15
1.2.2 Problemas Específicos.	15
1.3 Objetivos de la investigación.	16
1.3.1 Objetivo General.....	16
1.3.2 Objetivos Específicos.	16
1.4 Justificación de la investigación.....	16
1.4.1 Justificación Teórica.	16
1.4.2 Justificación Practica.	16
1.4.3 Justificación Social.	17
1.4.4 Justificación económica.....	17
1.4.5 Justificación ambiental.....	17
1.5 Hipótesis de la Investigación.	18
1.5.1 Hipótesis General.	18
1.5.2 Hipótesis Específicas.....	18
1.6 Variables e indicadores.	18



1.6.1	Variable Independiente.....	18
1.6.2	Variable Dependiente.....	19
1.7	Operacionalización de Variables.....	19

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1	Antecedentes de la investigación.....	21
2.1.1	Antecedentes Internacionales.....	21
2.1.2	Antecedente Nacionales.....	25
2.1.3	Antecedentes Locales.....	28
2.2	Bases teóricas.....	30
2.2.1	Ceniza de eucalipto.....	30
2.2.1.1	Propiedades geotécnicas de suelos estabilizados con ceniza de eucalipto 35	
2.2.1.2	Evaluación del índice CBR en suelos mejorados con ceniza de eucalipto 36	
2.2.1.3	Reducción del espesor de afirmado mediante el mejoramiento de la subrasante.....	36
2.2.2	La subrasante.....	37
2.2.2.1	Propiedades de la Subrasante.....	38
2.2.2.2	Clasificación de la Subrasante.....	40
2.2.2.3	Capacidad de Carga y Ensayo CBR.....	41
2.2.2.4	CBR 41	
2.2.2.5	CBR con baja capacidad de carga.....	43
2.2.3	Afirmado.....	44
2.2.3.1	Normativa técnica para el diseño estructural de afirmados en el Perú (MTC).....	46
2.2.3.2	Influencia del CBR en el diseño estructural de afirmados.....	47
2.2.3.3	Técnicas de mejoramiento de subrasante para optimizar el afirmado vial 48	
2.2.3.4	Métodos para el cálculo del espesor del afirmado.....	50



2.3	Marco conceptual	51
-----	------------------------	----

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1	Enfoque de la investigación	52
3.2	Tipo de la investigación	52
3.3	Nivel de la Investigación	53
3.4	Diseño de la Investigación	53
3.5	Método de la Investigación	53
3.6	Población y Muestra	54
3.6.1	Población	54
3.6.2	Muestra	54
3.7	Técnicas e instrumentos para la recolección de datos	55
3.7.1	Técnicas.	55
3.7.2	Instrumentos.	57
3.8	Proceso para la recopilación de información.	58
3.8.1	Selección y ubicación de tramos de estudio	58
3.8.2	Extracción de muestras de campo	61
3.8.3	Preparación y secado controlado de materiales	61
3.8.4	Realización de ensayos de caracterización	62
3.8.5	Obtención, tratamiento y mezcla de la ceniza de eucalipto	67
3.8.6	Importancia en la investigación	69
3.9	Procesamiento de datos	70

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1	Resultados.	71
4.1.1	CBR del suelo de subrasante existente de las vías	79
4.1.2	Influencia de la adición de ceniza de eucalipto	82
4.1.3	Espesor del afirmado mediante estabilización de subrasante	93



4.2	Discusión de resultados	99
CONCLUSIONES		101
RECOMENDACIONES.....		102
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		103
ANEXOS.....		108



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Operacionalización de variables.....	20
Tabla 2 Características de la muestra seleccionada	55
Tabla 3 Coordenadas geográficas de las muestras tomadas en las vías estudiadas	58
Tabla 4 Cantidad ceniza de eucalipto	68
Tabla 5 Análisis granulométrica de la vía – 1	72
Tabla 6 Análisis granulométrica de la Vía – 2	73
Tabla 7 Análisis granulométrica de la Vía – 3	75
Tabla 8 Humedad de las muestras de suelos.	76
Tabla 9 Límites de consistencia de los puntos de muestreo.	77
Tabla 10 Clasificación SUCS – Vías 1, 2 y 3	78
Tabla 11 Clasificación AASHTO de las Subrasantes – Vías 1, 2 y 3.....	78
Tabla 12 Relación densidad seca y humedad optima (compactación suelo natural).....	79
Tabla 13 CBR – vía 1 – suelo natural	79
Tabla 14 CBR – vía 2 – suelo natural	80
Tabla 15 CBR – vía 3 – suelo natural	80
Tabla 16 CBR al 100% y 95% de suelo natural, Vía 1, Vía 2, Vía 3.....	81
Tabla 17 Grado de compactación del suelo natural estabilizada de la vía 1	82
Tabla 18 CBR – vía 1 – suelo + 5% de ceniza de eucalipto	82
Tabla 19 CBR – vía 1 – suelo + 7% de ceniza de eucalipto	83
Tabla 20 CBR – vía 1 – suelo + 9% de ceniza de eucalipto	83
Tabla 21 Grado de compactación del suelo natural estabilizada de la vía 2	84
Tabla 22 CBR – vía 2 – suelo + 5% de ceniza de eucalipto	85
Tabla 23 CBR – vía 2 – suelo + 7% de ceniza de eucalipto	85
Tabla 24 CBR – vía 2 – suelo + 9% de ceniza de eucalipto	86
Tabla 25 Grado de compactación del suelo natural estabilizada de la vía 3	87
Tabla 26 CBR – vía 3 – suelo + 5% de ceniza de eucalipto	87



Tabla 27 CBR – vía 3 – suelo + 7% de ceniza de eucalipto	88
Tabla 28 CBR – vía 3 – suelo + 9% de ceniza de eucalipto	88
Tabla 29 Comparativa de la evolución del CBR para la vía 1.....	89
Tabla 30 Comparativa de la evolución del CBR para la vía 2.....	90
Tabla 31 Comparativa de la evolución del CBR para la vía 3.....	91
Tabla 32 Factores de crecimiento, valor aplicado	93
Tabla 33 Clasificación según MTC.....	93
Tabla 35 Estimación global de ejes equivalentes Vía 1, Vía 2, Vía 3	94
Tabla 34 Espesores del afirmado – Vía 1	96
Tabla 35 Espesores calculados y espesor estimado según MTC – Vía 1	96
Tabla 36 Espesores del afirmado – Vía 2	97
Tabla 37 Espesores calculados y espesor estimado según MTC – Vía 2	97
Tabla 38 Espesores del afirmado – Vía 3	98
Tabla 39 Espesores calculados y espesor estimado según MTC – Vía 3	98



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Eucalipto de la zona (Provincia de Moho)	31
Figura 2 Vía a nivel de afirmado	44
Figura 3 Puntos de muestreo de las vías analizadas	58
Figura 4 Vía 1: Chaca Lequeña – Parcialidad de Jojoría	59
Figura 5 Vía 2: Moho – Cheje Cheje	60
Figura 6 Vía 3: Moho – Lloquesani	60
Figura 7 Ceniza de Eucalipto	68
Figura 8 Perfil estratigráfico – Calicata 1 – Vía 1	72
Figura 9 Curva granulométrica de la vía - 1	73
Figura 10 Perfil estratigráfico – Calicata 2 – Vía 2	74
Figura 11 Curva granulométrica de la Vía - 2.....	74
Figura 12 Perfil estratigráfico – Calicata 3 – Vía 3	75
Figura 13 Curva granulométrica de la Vía - 3.....	76
Figura 14 Índice de plasticidad del muestreo	77
Figura 15 Representación gráfica de CBR de suelo natural de las Vías 1,2 y 3.....	81
Figura 16 Representación gráfica del CBR estabilizado de la vía 1	84
Figura 17 Representación gráfica del CBR estabilizado de la vía 2	86
Figura 18 Representación gráfica del CBR estabilizado de la vía 3	89
Figura 19 Representación de la evolución del CBR para la vía 1.....	90
Figura 20 Representación de la evolución del CBR para la vía 2.....	91
Figura 21 Representación de la evolución del CBR para la vía 3.....	92



RESUMEN

La presente tesis titulada "Influencia de la aplicación de ceniza de eucalipto sobre la capacidad de soporte de la subrasante y su efecto en el espesor de afirmado de vías en la Provincia de Moho 2025", tuvo como objetivo evaluar la influencia de la aplicación de ceniza de eucalipto sobre la capacidad de soporte de la subrasante y su efecto en el espesor de afirmado de vías. La metodología cuenta con un enfoque cuantitativo, de nivel explicativo y diseño experimental, para el cual se seleccionaron tres tramos viales de la provincia de Moho, donde se obtuvieron muestras de suelo subrasante para la experimentación con ceniza de eucalipto: 5%, 7% y 9% en peso seco. Los resultados muestran que, la subrasante natural presentó valores bajos de CBR al 95% de máxima densidad seca (entre 3.26% y 4.74%), al incorporar ceniza de eucalipto, el CBR aumentó significativamente, alcanzando un valor óptimo de 12.0% aproximadamente con 7% de ceniza, mientras que la adición de 9% no produjo mayores incrementos sostenidos. El espesor calculado de afirmado con subrasante mejorada ($\text{CBR} \approx 12\%$) se sitúa en 13.92 cm, ajustándose a la normativa técnica vigente y permitiendo reducir la vulnerabilidad de la vía frente al tránsito vehicular y factores climáticos, por lo que el espesor recomendado según la estabilización y la normativa vigente es de 15 cm. El estudio concluye que, la aplicación de ceniza de eucalipto en la subrasante de las vías rurales de Moho permitió incrementar el CBR del suelo hasta valores óptimos, optimizando el diseño de un afirmado resistente y eficiente, el porcentaje ideal de adición es 7% de ceniza de eucalipto, logrando mejorar la capacidad de soporte de la subrasante y reducir espesores de afirmado.

Palabras clave: Capacidad de Soporte CBR, ceniza de eucalipto, espesor de afirmado Subrasante.



ABSTRACT

This thesis, entitled "Influence of Eucalyptus Ash Application on Subgrade Bearing Capacity and its Effect on Road Pavement Thickness in Moho Province 2025," aimed to evaluate the influence of eucalyptus ash application on subgrade bearing capacity and its effect on road pavement thickness. The methodology employed a quantitative, explanatory, and experimental design. Three road sections in Moho Province were selected, and subgrade soil samples were obtained for experimentation with eucalyptus ash at concentrations of 5%, 7%, and 9% by dry weight. The results show that the natural subgrade exhibited low CBR values at 95% of maximum dry density (between 3.26% and 4.74%). With the addition of eucalyptus ash, the CBR increased significantly, reaching an optimal value of approximately 12.0% with 7% ash, while the addition of 9% did not produce further sustained increases. The calculated thickness of the subgrade with the improved subgrade (CBR $\approx$ 12%) is 13.92 cm, which complies with current technical regulations and reduces the road's vulnerability to vehicular traffic and climatic factors. Therefore, the recommended thickness, based on stabilization and current regulations, is 15 cm. The study concludes that applying eucalyptus ash to the subgrade of rural roads in Moho increased the soil's CBR to optimal values, optimizing the design of a resistant and efficient roadbed. The ideal percentage of addition is 7% eucalyptus ash, improving the subgrade's bearing capacity and reducing roadbed thickness.

Keywords: CBR Bearing Capacity, Eucalyptus Ash, Subgrade Thickness.



INTRODUCCIÓN

El desarrollo y la mejora de la infraestructura vial son factores determinantes para impulsar la conectividad, la integración social y el crecimiento económico sostenible en las zonas rurales del Perú. Sin embargo, una de las principales limitantes para la durabilidad y funcionalidad de estas vías es la baja capacidad de soporte de la subrasante, especialmente en regiones donde predominan los suelos arcillosos de mediana a alta plasticidad, como sucede en la provincia de Moho. Esta condición origina fallas prematuras, interrupciones en el tránsito y significativos sobre costos de mantenimiento, reduciendo la calidad de vida de la población de forma negativa y el acceso a mercados, bienes y servicios.

Ante la necesidad de soluciones viables y sostenibles para el mejoramiento de suelos, la ingeniería civil contemporánea ha orientado la búsqueda hacia el uso de insumos alternativos de bajo costo y bajo impacto ambiental. La ceniza de eucalipto, proveniente de actividades agroforestales locales, surge como un aditivo prometedor para la estabilización de suelos, gracias a su disponibilidad, sus propiedades puzolánicas y su capacidad para mejorar parámetros geotécnicos esenciales como la resistencia al corte, la densidad y el valor CBR. Numerosas investigaciones nacionales e internacionales confirman que la adición dosificada de ceniza de eucalipto puede elevar la capacidad de soporte de la subrasante, reducir la plasticidad y optimizar el uso de materiales locales, favoreciendo no solo la viabilidad técnica y económica de los proyectos viales, sino también el cuidado ambiental.

En este contexto, la provincia de Moho representa una oportunidad estratégica para implementar soluciones sostenibles y replicables, partiendo del aprovechamiento de recursos disponibles en la zona. El presente estudio plantea evaluar de manera experimental la influencia de la ceniza de eucalipto en la capacidad de soporte del suelo de subrasante y su secuela en el grosor del afirmado requerido para las vías rurales del



ámbito, proponiendo criterios técnicos que aporten a la modernización de la gestión vial en la región.

La tesis consta por 4 capítulos:

Capítulo I: Define el marco conceptual y contextual de la investigación. Se realiza un análisis detallado del problema que origina el estudio, describiendo su contexto actual, delimitación y justificación. Se establecen los objetivos generales y específicos, así como la relevancia técnica y científica del trabajo dentro del campo de la ingeniería civil.

Capítulo II: Desarrolla el marco teórico que sustenta la investigación. Se presentan los fundamentos conceptuales y las definiciones adoptadas, basadas en literatura técnica y académica especializada. Este capítulo garantiza la coherencia terminológica y proporciona el soporte teórico necesario para el análisis y discusión de los resultados.

Capítulo III: Expone el diseño metodológico del estudio. Se especifican el enfoque de investigación, la población o muestra analizada, las técnicas e instrumentos de recolección de datos, y los procedimientos de procesamiento y análisis. El objetivo es asegurar la validez científica y la confiabilidad de los resultados obtenidos.

Capítulo IV: Presenta y analiza los resultados del estudio. Los datos se interpretan conforme a los objetivos planteados y se discuten desde una perspectiva técnica y crítica. Se destacan las principales conclusiones, aportes y posibles aplicaciones dentro del ámbito de la ingeniería civil.



CAPÍTULO I

EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 Situación problemática.

La estabilización de suelos de subrasante para vías es un problema mundial, en especial en lugares donde los suelos son poco portantes. La búsqueda de técnicas sustentables y la utilización de desechos agroindustriales para estabilizar se ha vuelto de interés mundial en la última década. Por ejemplo, estudios han demostrado que la adición de ceniza vegetal (ceniza de eucalipto, por ejemplo) mejora la resistencia y estabilidad de suelos de subrasante, optimizando su uso en construcciones viales y disminuyendo el uso de materiales vírgenes Khalid et al. (2023); Musa et al. (2021).

En el Perú, la estabilización de suelos con residuos como la ceniza de eucalipto ha mostrado resultados prometedores en diversos contextos, facilitando alternativas de bajo costo y menor impacto ambiental ante la dependencia de insumos convencionales como la cal o el cemento Ramírez et al. (2023); Quispe y Apaza (2022). Sin embargo, estos avances no se han generalizado y aún existen grandes brechas en la aplicación sistemática y la evaluación técnica en la realidad de las carreteras rurales, principalmente en zonas altoandinas. El déficit de infraestructura vial funcional limita el desarrollo económico y social de múltiples regiones, siendo uno de los desafíos prioritarios para la ingeniería civil peruana en la actualidad

Particularmente, en la provincia de Moho (región Puno), la vial roja enfrenta limitaciones por la presencia de suelos arcillosos de baja capacidad portante, alta plasticidad y fácil degradación bajo cargas de tránsito. La ausencia de soluciones accesibles para el mejoramiento duradero de la subrasante eleva los costos operativos y reduce la vida útil de los caminos afirmados existentes Arocutipa y Marca, (2021). Pese a la presencia de abundantes desechos de ceniza de eucalipto generados por actividades locales, su aprovechamiento en estabilización de suelos todavía carece de estudios y aplicaciones específicas en la provincia.

Esta investigación busca generar conocimiento técnico-científico que permita optimizar los diseños de pavimentos rurales considerando materiales locales, promoviendo soluciones económicas, sostenibles y duraderas.

1.2 Planteamiento del problema.

1.2.1 Problema General.

¿Cuál es la influencia de la aplicación de ceniza de eucalipto sobre la capacidad de soporte de la subrasante y su efecto en el espesor de afirmado de vías en la provincia de Moho 2025?

1.2.2 Problemas Específicos.

1. ¿Cuál es la capacidad relativa de soporte CBR del suelo de subrasante existente en vías en la provincia de Moho?
2. ¿Cuál es la influencia de la adición de ceniza de eucalipto en cantidades controladas sobre la capacidad relativa de soporte de la subrasante en vías en la provincia de Moho?
3. ¿Cuál es el espesor del afirmado resultante mediante estabilización de subrasante en vías en la provincia de Moho?

1.3 Objetivos de la investigación.

1.3.1 Objetivo General

Evaluar la influencia de la incorporación de ceniza de eucalipto sobre la capacidad de soporte de la subrasante y su efecto en el espesor de afirmado de vías en la provincia de Moho 2025.

1.3.2 Objetivos Específicos.

1. Determinar la capacidad relativa de soporte CBR del suelo de subrasante existente en vías en la provincia de Moho.
2. Evaluar la influencia de la adición de ceniza de eucalipto en cantidades controladas sobre la capacidad relativa de soporte de la subrasante en vías en la provincia de Moho.
3. Determinar el espesor del afirmado resultante mediante estabilización de subrasante en vías en la provincia de Moho.

1.4 Justificación de la investigación.

1.4.1 Justificación Teórica.

La presente investigación contribuye a fortalecer el conocimiento sobre el mejoramiento de suelos aplicando ceniza de eucalipto como estabilizante, aportando evidencia experimental sobre la variación en propiedades fundamentales como el CBR, la plasticidad y la compactación. La bibliografía señala que la incorporación de cenizas vegetales, específicamente de eucalipto, puede incrementar significativamente la resistencia y disminuir la plasticidad de suelos arcillosos y de baja capacidad portante, fundamentando así la viabilidad técnica de su aplicación en ingeniería civil.

1.4.2 Justificación Práctica.

La investigación proporciona a los profesionales y entidades públicas una alternativa accesible y eficiente para estabilizar subrasantes de caminos rurales, validando

experimentalmente dosificaciones óptimas y procedimientos de aplicación. Los resultados permiten definir parámetros de diseño y métodos constructivos específicos, inmediatamente aprovechables en obras reales de mejora y mantenimiento vial en la provincia de Moho y otras zonas con condiciones similares.

1.4.3 Justificación Social.

La mejora en la capacidad de soporte y durabilidad de los caminos rurales favorece la conectividad, facilitando el acceso a servicios esenciales (educación, salud, comercio) y al mismo tiempo promoviendo el desarrollo económico y la integración de las comunidades rurales. El uso de ceniza de eucalipto, subproducto disponible localmente, involucra a la comunidad en la gestión de residuos y fomenta la transferencia de tecnologías sostenibles ajustadas a la realidad social y productiva de la región.

1.4.4 Justificación económica.

La utilización de ceniza de eucalipto reduce los costos de estabilización de suelos al disminuir la necesidad de materiales importados o costosos aditivos comerciales. Al incrementar la vida útil del suelo y reducir los trabajos de mantenimiento, la propuesta impacta favorablemente en la eficiencia del gasto público y privado destinado a infraestructura vial rural. Así, se aprovecha un residuo local, transformándolo en un insumo de alto valor en la obra civil.

1.4.5 Justificación ambiental.

El beneficio de ceniza de eucalipto favorece a la gestión responsable de residuos sólidos, disminuyendo su disposición en botaderos y mitigando el impacto asociado a la quema no controlada. Al mejorar la estabilidad de los caminos con materiales menos contaminantes y de origen local, se reduce la huella de carbono y se fomenta un modelo de construcción más amigable con el entorno. El proceso promueve la economía circular y la valorización de residuos agrícolas y forestales en la ingeniería civil.

1.5 Hipótesis de la Investigación.

1.5.1 *Hipótesis General.*

La influencia de la incorporación de ceniza de eucalipto sobre la capacidad de soporte de la subrasante y su efecto en el espesor de afirmado de vías en la provincia de Moho 2025, será favorable con respecto a las propiedades del suelo y así como al espesor.

1.5.2 *Hipótesis Específicas.*

1. La capacidad relativa de soporte CBR del suelo de subrasante existente en vías en la provincia de Moho, estará por debajo de las especificaciones mínimas de calidad, requiriendo estabilización.
2. La influencia de la adición de ceniza de eucalipto en cantidades controladas mejorará la capacidad relativa de soporte de la subrasante en vías en la provincia de Moho.
3. El espesor del afirmado resultante mediante estabilización de subrasante en vías en la provincia de Moho, estará por debajo 15 cm que es lo recomendado.

1.6 Variables e indicadores.

1.6.1 *Variable Independiente.*

Ceniza de eucalipto

Indicadores:

- ✓ Adición de ceniza de eucalipto en 5%, en relación al peso requerido de muestra seca para ensayo de proctor y CBR.
- ✓ Adición de ceniza de eucalipto en 7%, en relación al peso requerido de muestra seca para ensayo de proctor y CBR.
- ✓ Adición de ceniza de eucalipto en 9%, en relación al peso requerido de muestra seca para ensayo de proctor y CBR.



1.6.2 *Variable Dependiente*

VD 1: Capacidad Relativa de Soporte del suelo de subrasante

VD 2: Espesor de Afirmado

Indicadores:

- CBR
- Espesor resultante de afirmado

1.7 Operacionalización de Variables.

La operacionalización de variables se realiza con la finalidad que una variable sea medible y como se va a medir, definidos mediante dimensiones, indicadores y demás aspectos que hacen que una variable se pueda trabajar de forma numérica o mediante rangos, para el presente estudio se da de la siguiente manera:

Tabla 1

Operacionalización de variables

Variable Independiente	Definición	Dimensiones	Indicadores	Valor final	Inst. Medición	Tipo
Ceniza de eucalipto	La ceniza de eucalipto es el residuo que queda tras la combustión de la madera de eucalipto.	% de incorporación de ceniza de eucalipto	Adición de ceniza de eucalipto en 5%, 7%, 9%	5% - 9%	Balanza	Numérica: Continua
Variable Dependiente	Definición	Dimensiones	Indicadores	Valor final	Inst. Medición	Tipo
Capacidad Relativa de Soporte del Suelo de Subrasante	Resistencia del suelo natural ante aplicación de cargas y determinada saturación.	CBR	Valor CBR (%) al 95% MDS	CBR: 5% - 15%	NTP 339.145	Numérica: Continua
Espesor de Afirmado	Espesor estructural resultante en relación a la calidad de suelos y el IMDA	Espesor de afirmado	Espesor estructural calculado (cm)	Espesor de afirmado: ≥15 cm (según MTC)	Manual de Diseño de Carreteras No Pavimentadas (MTC) NTP 339.145	Numérica: Continua



CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación.

2.1.1 *Antecedentes Internacionales.*

Según Noorak et al. (2025) "Desempeño geotécnico y evaluación ambiental de sedimentos estabilizados con ceniza de madera de eucalipto para infraestructura de pavimentos", Este estudio se centró en la evaluación de la estabilización del sedimento de una presa utilizando un aglutinante combinado de ceniza de madera de eucalipto (EWA) y cemento, con el objetivo de desarrollar un material de pavimento rentable y ambientalmente seguro. El sedimento utilizado en la investigación se clasificó como una arcilla arenosa pobre, lo que requiere un tratamiento especial para mejorar sus propiedades mecánicas y hacerlo adecuado para su uso en la construcción de pavimentos. La ceniza de madera de eucalipto (EWA) fue seleccionada por su capacidad puzolánica, funcionando como sustituto parcial del cemento, lo que no solo mejora las propiedades geotécnicas del material, sino que también contribuye a reducir el impacto ambiental asociado con la fabricación de cemento, un proceso que emite grandes cantidades de CO₂. El proceso de optimización de la mezcla con EWA y cemento resultó en un aumento significativo en las cualidades del material estabilizado. La resistencia sin confinar alcanzó los 1,4 MPa, lo que representó un aumento de 12 veces respecto al material sin estabilizar.

Además, la relatividad de California (CBR) fue del 70%, cumpliendo con los estándares exigidos por el Departamento de Carreteras de Tailandia para su uso en las capas de subbase y base de pavimentos. Estos resultados indican que la mezcla optimizada con EWA y cemento no solo mejora la resistencia mecánica del sedimento, sino que también cumple con los requisitos técnicos necesarios para aplicaciones en infraestructuras viales, brindando una alternativa viable para la construcción de pavimentos. Desde el punto de vista microestructural, se observó la formación de hidratos de silicato de calcio, lo que refleja una mejora en la vida útil del material estabilizado. Las pruebas de durabilidad, que incluyeron ciclos de humectación-secado, mostraron una reducción del 30% en la pérdida de peso, lo que evidencia una mayor resistencia a las condiciones ambientales. Además, las pruebas de lixiviado confirmaron que las concentraciones de metales pesados en el material estabilizado se mantuvieron dentro de los límites regulatorios, lo que garantiza que el uso de EWA no representa un riesgo para la salud ambiental. En términos económicos, el uso de EWA permitió una reducción de costos de hasta 2,6 veces en comparación con los métodos de estabilización convencionales, lo que resalta su viabilidad económica y su potencial como solución innovadora y sostenible en la construcción de pavimentos.

Según Lhajai et al. (2025) "Evaluación del desempeño, el impacto ambiental y el costo de los sedimentos de presas estabilizados con ceniza de eucalipto para la ingeniería de pavimentos sustentables". Este estudio analiza la viabilidad de utilizar sedimentos de presas estabilizados con ceniza de eucalipto (EA) y cemento como materiales de construcción sostenibles y rentables para pavimentos. Los sedimentos, comúnmente considerados residuos, fueron combinados con EA, un material con alta actividad puzolánica, y cemento, con el objetivo de mejorar las cualidades. A través de una serie de pruebas destructivas y no destructivas, se evaluó el rendimiento del material estabilizado. Las pruebas destructivas incluyeron la resistencia sin confinar (q_u), la relación de (CBR), el módulo elástico secante y las pruebas de durabilidad bajo ciclos de humectación-

secado. Por otro lado, las pruebas no destructivas midieron las velocidades de onda de corte y compresión utilizando métodos de resonancia libre-libre, permitiendo una evaluación de la integridad del material sin dañar la muestra. Los resultados obtenidos en las pruebas de resistencia y durabilidad indicaron que la mezcla óptima de EA y cemento al 10% potenció notablemente las características del sedimento. La resistencia a la compresión sin confinar alcanzó 1,2 MPa, mientras que la relación de soporte de California (CBR) fue del 47%, lo que indica una mejora considerable en la capacidad de carga y la resistencia del material. Además, los módulos dinámicos aumentaron, lo que sugiere una mejora en la rigidez del material estabilizado. Los análisis microestructurales confirmaron la formación de geles de hidrato de silicato de calcio, que densificaron la matriz del material y reforzaron los enlaces entre partículas, contribuyendo a una mayor estabilidad y durabilidad. La fuerte correlación entre las velocidades de onda y la resistencia a la compresión apoya el uso de pruebas no destructivas como una herramienta viable para el monitoreo in situ de la calidad del material durante la construcción. Desde el punto de vista económico, el uso de sedimentos estabilizados con EA y cemento mostró ser una opción significativamente más rentable en comparación con los materiales convencionales. El análisis económico reveló que los sedimentos estabilizados son 2,6 veces más baratos, principalmente debido a la reducción de los costos de transporte, ya que los sedimentos se encuentran localmente disponibles en las presas. Además, las evaluaciones ambientales confirmaron que el material estabilizado cumple con los requisitos de seguridad, mostrando una lixiviación mínima de metales pesados. En conjunto, estos resultados destacan el potencial de los sedimentos estabilizados con EA y cemento como una alternativa sostenible, de alto rendimiento y económicamente viable para la construcción de pavimentos, impulsando el desarrollo de infraestructuras más ecológicas y eficientes.

Según Dabou et al. (2021) "Comportamiento estructural de suelo laterítico estabilizado con cemento y ceniza de madera de eucalipto (*Eucalyptus globulus*) para su

uso como material de base para carreteras". En el marco de la estabilización de suelos lateríticos para su uso como material base en la construcción de carreteras, este estudio explora el impacto de la sustitución parcial del cemento Portland ordinario por ceniza de madera de eucalipto azul (BGWA). Inicialmente, se incorporó cemento Portland al suelo en concentraciones variables, que iban del 0 al 12 %, con incrementos del 3 % en el peso de la muestra de suelo. Cada mezcla fue evaluada mediante pruebas de relación de soporte californiana (CBR) y resistencia a la compresión sin confinar (UCS) para identificar la mezcla óptima de suelo-cemento. Los resultados indicaron que, a medida que aumentaba el contenido de cemento, tanto la resistencia como la capacidad de soporte del material mejoraban. Con un 6 % de cemento, la muestra alcanzó una resistencia de 2,88 MPa en UCS a los 7 días de curado, cumpliendo con las especificaciones de la Nota 31 de Carreteras de Ultramar para el uso en capas de base de carreteras. El segundo paso del estudio consistió en reemplazar parcialmente el cemento al 6 % por BGWA en incrementos del 1 %, con el objetivo de determinar el efecto de la ceniza de eucalipto en las propiedades mecánicas del suelo estabilizado. Tras siete días de curado, se observó que el contenido óptimo de BGWA era del 2 %, lo que resultó en un valor de CBR del 348 %, un incremento notable respecto al 160 % mínimo requerido por el Manual de Diseño de Carreteras de Kenia. Esta mejora en la capacidad de carga indica que la ceniza de eucalipto no solo cumple con los requisitos técnicos establecidos, sino que también puede ser utilizada eficazmente para mejorar la eficacia del material base en la construcción de calles. Además, la resistencia a la compresión uniaxial (UCS) alcanzó los 2,99 MPa, lo que demuestra la efectividad de la combinación de BGWA y cemento en la estabilización del suelo. Los resultados obtenidos demuestran que la sustitución parcial del cemento por BGWA no solo es factible, sino que también refuerza las propiedades del suelo laterítico, especialmente en cuanto a la capacidad de apoyo y resistencia. El BGWA, al ser un subproducto de la madera de eucalipto, presenta una opción sostenible y económica que reduce la cantidad de cemento necesario, lo que colabora en la mitigación del impacto ambiental asociado con la producción de cemento. Con base en pruebas experimentales,

se concluye que el uso de BGWA como sustituto parcial del cemento en la estabilización de suelos lateríticos es una alternativa prometedora para la construcción de bases de carreteras, cumpliendo con los estándares internacionales y ofreciendo un enfoque más ecológico y rentable para las infraestructuras viales.

2.1.2 Antecedente Nacionales.

Según Gonzales (2023) "Aumento de la efectividad de la estabilización de la capa de rodadura a nivel de afirmado con ceniza de hoja de eucalipto, Huari, 2023". Esta investigación se diseñó bajo un enfoque cuantitativo de tipo experimental y nivel descriptivo, con el objetivo de evaluar el efecto de la incorporación de ceniza de hojas de eucalipto en la estabilización de suelos. Para ello, se tomaron tres calicatas de la zona de estudio, de las cuales se realizaron diversos ensayos, con el fin de determinar las propiedades fundamentales de las muestras de suelo. De estas tres muestras, se seleccionó la que presentó el mayor IP para su posterior análisis. La estabilización del suelo se llevó a cabo mediante la adición de ceniza de hojas de eucalipto en concentraciones de 2,50%, 5,00% y 7,50%, con el objetivo de observar cómo estas proporciones afectaban las propiedades físicas y mecánicas del material. Los resultados obtenidos mostraron que la aplicación de ceniza de hojas de eucalipto tuvo un impacto significativo en las propiedades del suelo. El IP del suelo disminuyó progresivamente con el aumento de la concentración de ceniza, alcanzando valores de 13 %, 12 %, 10 % y 9 % para las concentraciones de 0,00 %, 2,50 %, 5,00 % y 7,50 %, respectivamente. En cuanto a la densidad seca máxima (MDS), los valores aumentaron a medida que se incrementaba la proporción de ceniza, pasando de 2,033 g/cm³ para el 0,00 % a 2,112 g/cm³ para el 7,50 %. Esto indica una mejora en la compactación del suelo, lo que favorece su estabilidad y resistencia en aplicaciones de construcción de infraestructuras. Por otro lado, los ensayos de relación de soporte californiana (CBR) al 95 % y al 100 % del MDS revelaron una mejora sustancial en la capacidad de carga del suelo estabilizado. El porcentaje de CBR al 95 % aumentó de 8,80 % para el suelo sin estabilizar a 14,80 % para el 7,50 % de ceniza de

eucalipto. A su vez, el CBR al 100 % del MDS mostró un incremento de 14,40 % a 20,20 % con el aumento de la proporción de ceniza. Sin embargo, el mejor rendimiento se obtuvo con una concentración del 5,00 %, que presentó un equilibrio óptimo entre las mejoras en las cualidades del suelo. Estos resultados concluyen que las cenizas de hojas de eucalipto tienen una influencia favorable en las cualidades del suelo, especialmente en la mejora de la capacidad de carga y la densificación, lo que hace que esta alternativa sea viable para aplicaciones en la construcción de bases de carreteras.

Según Gavancho y Baltazar (2022) "Estabilización de subrasante con cenizas de eucalipto, paraje turístico Piedra Parada, Concepción, Junín 2022". En el desarrollo de esta investigación se adoptó un enfoque deductivo, aplicado, explicativo y experimental para evaluar la incorporación de ceniza en las propiedades de un suelo específico. El diseño metodológico consistió en la adición de ceniza de eucalipto en una concentración del 10 % al suelo, lo que permitió analizar cómo este material podría mejorar las características del subsuelo para su uso en proyectos de infraestructura, particularmente en la estabilización de suelos para la construcción de pavimentos. Para ello, se realizaron ensayos, obteniendo así datos relevantes sobre el comportamiento del suelo estabilizado. Los resultados obtenidos al agregar el 10 % de ceniza de eucalipto al suelo mostraron mejoras notables en varias propiedades clave. La densidad seca máxima del suelo aumentó en un 10,45 %, lo que indica una mejora en la compactación y en la capacidad del suelo para resistir la deformación bajo cargas. Por otro lado, el índice de plasticidad disminuyó significativamente en un 54,97 %, lo que sugiere una reducción en la susceptibilidad del suelo a la expansión y contracción, contribuyendo así a una mayor estabilidad en condiciones climáticas variables. Este comportamiento favorable es esencial para garantizar la durabilidad y el rendimiento del material en proyectos de infraestructura. Además, los resultados en cuanto a la capacidad de carga del suelo estabilizado fueron sobresalientes. El valor de la relación de soporte californiana (CBR) aumentó un impresionante 385,14 %, lo que indica una mejora significativa en la capacidad del suelo



para soportar cargas sin sufrir deformaciones excesivas. De manera similar, el módulo de resiliencia, que refleja la capacidad del material para recuperar su forma original después de una carga, experimentó una mejora del 157,94 %. Estos cambios son indicativos de que la ceniza de eucalipto tiene un efecto positivo en las propiedades, mejorando su comportamiento tanto en términos de estabilidad como de resistencia a las deformaciones. En conclusión, la estabilización del subsuelo con ceniza de eucalipto muestra ser una alternativa prometedora y efectiva, especialmente en suelos con propiedades inicialmente deficientes, lo que contribuye a mejorar la calidad y la durabilidad de las infraestructuras.

Según Flores (2023) "Estabilización de subrasante con cemento y cenizas eucalipto, en Centro Poblado de Malauchaca Pasco. Periodo 2022", El objetivo principal de este estudio fue determinar la influencia de la ceniza de eucalipto y el cemento en la estabilización de un suelo arcilloso en el Centro Poblado de Malauchaca, ubicado en el distrito de Ticlacayan, en la región de Pasco. Para lograrlo, se utilizó una metodología descriptiva combinada con un diseño experimental y un enfoque cuantitativo. A lo largo del experimento, se evaluaron diversas muestras de suelo estabilizadas con diferentes proporciones de ceniza de eucalipto (CE) y cemento (CN), con el fin de medir el impacto de estos materiales en las propiedades físicas y mecánicas del suelo. Esta investigación buscaba proporcionar una solución económica y sostenible para mejorar la calidad del suelo en la región, lo que podría tener un impacto positivo en la construcción de infraestructuras viales y otras obras civiles. Los resultados obtenidos mostraron que la combinación de ceniza de eucalipto y cemento tuvo un impacto significativo en las características del suelo, particularmente en términos de densidad seca máxima, índice de plasticidad y resistencia al corte. Se observaron tres valores diferentes para la densidad seca máxima, que fueron 1,72, 1,65 y 1,64 g/cm³, lo que indica una ligera variación en la compactación del suelo según la mezcla de estabilizantes utilizada. En cuanto al índice de plasticidad, los valores fueron 8,17 %, 8,52 % y 9,51 %, lo que refleja una disminución progresiva en la plasticidad del suelo a medida que se incrementaba la proporción de

ceniza de eucalipto y cemento. Esto sugiere que la estabilización con estos materiales contribuye a reducir la susceptibilidad del suelo a la expansión y contracción, mejorando así su estabilidad. La resistencia al corte, que es un indicador clave de la capacidad del suelo estabilizado para soportar cargas sin deformarse, mostró un aumento significativo con los valores obtenidos de 26,07, 28,40 y 28,40 kPa, respectivamente, en función de las concentraciones de estabilizantes. Se destacó que la muestra E-01, que contenía un 6 % de cemento y un 2 % de ceniza de eucalipto, produjo los mejores resultados en términos de densidad seca máxima y resistencia al corte. Estos hallazgos confirman que la incorporación de ceniza de eucalipto y cemento en la subbase tiene un impacto sustancial en la mejora de las propiedades físicas y mecánicas del suelo, lo que se traduce en una estabilización efectiva del material. Este tipo de estabilización es particularmente valioso para mejorar la calidad de los suelos locales, favoreciendo la construcción de pavimentos más duraderos y sostenibles en la región de Pasco.

2.1.3 Antecedentes Locales.

Según Quispe (2024) su tesis "Estabilización de la subrasante en suelos arcillosos empleando cenizas de eucalipto en la avenida tasa de la Ciudad de Juliaca", enfrenta problemas significativos de capacidad de carga y expansividad en los suelos locales, lo que afecta negativamente la infraestructura vial, generando costos de mantenimiento elevados y una vida útil reducida de las carreteras. Se utilizaron hojas de datos de observación directa y pruebas de laboratorio como parte del enfoque para comparar los parámetros del suelo antes y después de la estabilización con ceniza de eucalipto. Con un índice de plasticidad inicial del 18,76 %, los resultados indicaron que el tipo de suelo es una arcilla de baja plasticidad. Este índice disminuyó gradualmente con la adición de ceniza de eucalipto en concentraciones del 4 %, 8 % y 12 %, alcanzando valores del 14,97 %, 11,18 % y 6,28 %, respectivamente. Esta disminución muestra que la trabajabilidad y la estabilidad del suelo han mejorado significativamente, lo cual es importante para el diseño del pavimento y para prevenir problemas relacionados con la expansividad. La

resistencia del suelo estabilizado también se evaluó utilizando el índice de carga de California (CBR). Al 100 %, el valor CBR de la muestra estándar fue del 6,01 % en ausencia de estabilización. Sin embargo, cuando se añadió ceniza de eucalipto en diferentes concentraciones, se observó un aumento de la resistencia, que alcanzó valores del 7,02 %, 7,38 % y 8,06 %, lo que indica una mejora en la capacidad de carga del suelo, haciéndolo más adecuado para su uso en infraestructuras viarias. En resumen, los resultados del estudio demuestran que la adición de ceniza de eucalipto a los suelos arcillosos mejora sus características mecánicas y físicas. Además de disminuir la fluidez y la expansividad del suelo, la ceniza de eucalipto aumentó considerablemente la resistencia del suelo, lo que indica que esta sustancia podría ser una solución práctica y a largo plazo para estabilizar los problemáticos suelos de la zona. Este estudio destaca el valor de la ceniza de eucalipto como estabilizador en la construcción de infraestructuras viarias, especialmente en regiones donde los suelos arcillosos plantean problemas de comportamiento expansivo y capacidad de carga. Además de mejorar las infraestructuras, la inclusión de estos residuos agrícolas promueve el uso de recursos producidos localmente, lo que puede beneficiar al medio ambiente al reducir la demanda de materiales de estabilización tradicionales.

Según Pequeña y Sanchez (2024). "Diseño del pavimento afirmado adicionando cenizas de tallo de quinua y de aserrín a la subrasante, carretera Crucero-Oscoroque, Puno 2023". El presente estudio se basa en un enfoque metodológico cuantitativo y experimental, con un nivel de investigación explicativo, cuyo objetivo es evaluar el impacto de diferentes aditivos en las características geotécnicas de un suelo utilizado en la construcción de pavimentos. La investigación comprende 2 km de carretera, donde se tomaron muestras de suelo de tres pozos de prueba para un análisis no probabilístico. La forma de recolección de datos fue a través de la observación directa, dando seguimiento al comportamiento del suelo y su reacción ante las distintas proporciones de aditivos utilizados. Con este método se intentó conocer cómo influyen los aditivos en las

propiedades físicas y mecánicas del suelo, específicamente en la capacidad de carga y en la resistencia a la compresión, tan importantes en el diseño de pavimentos. Los resultados de las pruebas de laboratorio arrojaron que el suelo no cumple con los valores ideales de índice de plasticidad (IP) para ser utilizado en pavimentos. Para el ensayo de Proctor modificado, la mejor adición de ceniza de eucalipto (CA) fue de un 16 %, superando a la muestra patrón en un 39,19 %. Este incremento de la densidad del suelo estabilizado indica que la ceniza de eucalipto favorece la compactación, la cual es determinante para garantizar la durabilidad y estabilidad del pavimento. En las pruebas CBR, los mejores resultados se obtuvieron con 14 % de ceniza de eucalipto, obteniéndose un CBR de 20,88 %, y con 16 % de ceniza de eucalipto, cuyo CBR fue de 43,06 %, lo que representa una mejora en la capacidad portante del suelo estabilizado. En cuanto al diseño del pavimento, se obtuvo una diferencia de 4 cm de espesor según la cantidad de aditivos utilizados. El espesor del pavimento con la mezcla patrón fue de 14 cm y se escalonó en dependencia de la mezcla ceniza de eucalipto-otros aditivos. Las mezclas con 7 % CTQ + 7 % CA, 8 % CTQ + 8 % CA y 12 % CA presentaron cambios en el espesor, pero los resultados no siempre fueron los mejores al combinar los aditivos. Esto indica que en ciertas situaciones los aditivos individuales son más eficientes que las mezclas, pero que es crucial analizar las proporciones y tipos de aditivos a emplear. En conclusión, los resultados de esta investigación demuestran que los aditivos mejoran significativamente las propiedades del suelo, pero la mezcla de estos no siempre genera los mejores resultados, e incluso muchos mejoran cuando se aplican individualmente.

2.2 Bases teóricas

2.2.1 *Ceniza de eucalipto*

La ceniza de eucalipto es un residuo generado por la combustión de la madera, hojas y otros restos de este tipo de árbol, que posee características físico-químicas que la hacen apta para diversos usos en la ingeniería y construcción. Su composición presenta

elementos minerales como sílice, calcio, aluminio y magnesio, con propiedades puzolánicas que pueden contribuir a mejorar la resistencia y durabilidad de materiales cementicios como el concreto y el mortero Estrada (2022).

La ceniza de eucalipto es un subproducto con potencial relevante en la construcción por sus propiedades estabilizadoras, puzolánicas y mecánicas que ayudan a mejorar el desempeño estructural y la durabilidad de materiales como el concreto y suelos para vías, constituyendo una alternativa sostenible para la reutilización de residuos forestales Flores, (2023).

Los residuos lignocelulósicos provenientes del árbol de eucalipto. Su composición física se caracteriza por una textura fina y granular, con partículas que generalmente presentan tamaños inferiores a 75 micras, lo cual favorece su interacción con los suelos de granulometría fina. Estas características permiten que la ceniza actúe como un agente aglutinante y cementante, modificando favorablemente la estructura interna del suelo y mejorando su resistencia mecánica y estabilidad volumétrica Estrada (2022).

Figura 1

Eucalipto de la zona (Provincia de Moho).



El empleo de ceniza vegetal, como la de eucalipto, en proyectos de infraestructura vial ofrece una combinación ideal de beneficios técnicos y ambientales. Desde el punto de

vista ingenieril, mejora la resistencia del suelo, disminuye la deformabilidad y permite reducir los espesores de afirmado. Ambientalmente, favorece la reutilización de residuos, reduce la extracción de áridos y disminuye el uso de materiales industrializados contaminantes. Además, fomenta prácticas de economía circular, promoviendo el desarrollo sostenible en el sector construcción Estrada (2022).

2.2.1.1 Propiedades físico-químicas de las cenizas de eucalipto

Las cenizas de eucalipto son el residuo mineral resultante de la combustión controlada de hojas, ramas o cortezas de *Eucalyptus* spp. y constituyen un material rico en óxidos con alta potencialidad para mejorar el comportamiento mecánico y volumétrico de suelos. Sus propiedades físico-químicas dependen de la temperatura de calcinación, la naturaleza del material vegetal y el grado de finura obtenido posterior al tamizado. En general, estas cenizas presentan una composición altamente reactiva que favorece procesos puzolánicos y cementantes cuando se incorporan en suelos arcillosos o limosos. Estrada (2022).

1. Propiedades físicas

1.1. Color, textura y morfología

La ceniza de eucalipto suele exhibir un color gris claro o gris blanquecino, indicando una combustión completa del material orgánico. A nivel microscópico, sus partículas presentan morfologías irregulares, porosas y de bordes angulosos, características que aumentan su área superficial y su capacidad de interacción química con los minerales del suelo. Cristobal y Quinte (2022).

1.2. Densidad aparente

La densidad aparente varía entre 1.9 y 2.5 g/cm³, dependiendo del grado de mineralización y del contenido de óxidos metálicos. Su baja densidad en comparación con los agregados naturales aporta beneficios como una reducción moderada del peso volumétrico del suelo estabilizado. Cristobal y Quinte (2022).

1.3. Finura y superficie específica

Cuando se tamiza por malla #200 (75 μm), la ceniza alcanza un alto nivel de finura, lo que incrementa su superficie específica activa. Esta característica favorece: Cristobal y Quinte (2022).

1.4. Higroscopicidad

Las cenizas de eucalipto poseen cierta higroscopicidad debido a la fractura de las estructuras vegetales y la presencia de sales minerales. Esto puede influir en el contenido óptimo de humedad durante la compactación de suelos estabilizados. Cristobal y Quinte (2022).

2. Propiedades químicas

2.1. Composición química dominante

Según Otieno et al. (2023). Sostiene: La ceniza de eucalipto contiene principalmente los siguientes óxidos:

- Óxido de calcio (CaO): 20–45 %, Confiere reactividad alcalina y genera reacciones cementantes.
- Sílice (SiO_2): 15–35 %, Parte de esta sílice se encuentra en fase amorfa, condición que la convierte en un material puzolánico capaz de reaccionar con hidróxidos para formar silicatos cálcicos hidratados (CSH).
- Óxido de potasio (K_2O) y óxido de sodio (Na_2O): 5–15 %, Aumentan la alcalinidad y aceleran reacciones iniciales.
- Óxido de magnesio (MgO): 3–10 %, Contribuye a la formación de compuestos cementantes secundarios.
- Óxido de hierro (Fe_2O_3): 1–5 %, Aporta estabilidad térmica y mejora el color de la mezcla.

2.2. Alcalinidad

Según Wongvatanaet al. (2025) sostiene que: Las cenizas de eucalipto presentan un pH entre 10 y 12, debido al contenido de CaO y K_2O . Esta fuerte alcalinidad permite:

- dispersar arcillas,
- reducir la plasticidad,
- aumentar la floculación,
- y activar la formación de geles cementantes.

2.3. Reactividad puzolánica

Según Pequeña y Sanchez, (2024) sostiene que: La reactividad puzolánica es una propiedad clave de estas cenizas. Se debe a la presencia de sílice amorfa y a una finura adecuada. Las reacciones típicas son:

- Sílice amorfa + Hidróxido de calcio $\rightarrow$ Silicato cálcico hidratado (CSH)
- Alúmina + Hidróxido de calcio $\rightarrow$ Aluminato cálcico hidratado (CAH)

Estos productos son responsables del aumento de resistencia y de la mejora del CBR en suelos tratados.

3. Propiedades térmicas

3.1. Formación de la ceniza y temperatura óptima

Según (ISO 18122) sostiene que: La calidad físico-química depende del rango térmico aplicado:

- 350–450 °C: descomposición de materia orgánica, inicio de mineralización.
- 450–600 °C: excelente reactividad; mayor proporción de sílice amorfa.
- >700 °C: cristalización de la sílice y pérdida de reactividad puzolánica.

4. Propiedades mecánicas inducidas al suelo

Según Gonzales (2023) sostiene que:

- Reducción significativa del límite líquido y del índice de plasticidad por floculación de arcillas.
- Incremento del CBR debido a la formación de CSH y CAH.
- Mayor densidad seca máxima, por el efecto de relleno fino.
- Mejora de la resistencia al corte y compresiones moderadas.

2.2.1.2 Propiedades geotécnicas de suelos estabilizados con ceniza de eucalipto

Los suelos tratados con ceniza de eucalipto experimentan mejoras notables en sus propiedades geotécnicas fundamentales. Entre ellas, se destaca la disminución del IP, el incremento de la DSM y la disminución del contenido óptimo de humedad. Asimismo, se produce un aumento significativo en la resistencia al corte y en la capacidad de soporte, evidenciado mediante el índice CBR. Estas mejoras derivan de los procesos de floculación y aglomeración inducidos por los componentes alcalinos de la ceniza, que promueven la formación de enlaces estables entre las partículas del suelo. Como resultado, se obtiene una subrasante más resistente, menos deformable y con mayor durabilidad frente a las condiciones ambientales y las cargas del tránsito vehicular Estrada (2022).

La ceniza de eucalipto, al mezclarse con suelos arcillosos, desencadena mecanismos fisicoquímicos de estabilización que modifican su estructura interna. Uno de los principales mecanismos es la reacción puzolánica, donde los óxidos de calcio presentes en la ceniza reaccionan con la sílice amorfa y la alúmina del suelo en presencia de agua, generando compuestos cementantes como la tobermorita y el silicato cálcico hidratado. Además, la ceniza induce la floculación de las partículas de arcilla, lo cual reduce la plasticidad y mejora la trabajabilidad del suelo. También se observa un aumento en la fricción interna y una disminución en la expansividad, lo que contribuye a una mejor estabilidad dimensional y mayor resistencia mecánica de la subrasante tratada Estrada (2022).

2.2.1.3 Evaluación del índice CBR en suelos mejorados con ceniza de eucalipto

El Índice CBR es uno de los parámetros más sensibles a los efectos de la estabilización con ceniza de eucalipto. Los ensayos realizados muestran un aumento progresivo del CBR conforme se incrementa el contenido de ceniza, alcanzando valores óptimos entre 7% y 9%. Este incremento responde a la densificación del suelo, reducción de vacíos y mejora en la cohesión de las partículas. Un mayor CBR permite diseñar pavimentos más delgados, lo que se traduce en una reducción de costos de obra y un mejor aprovechamiento de los materiales disponibles Pequeña y Sanchez (2024).

Una estrategia ecológica de estabilización considera el ciclo de vida del material, su disponibilidad local y su impacto ambiental. La ceniza de eucalipto cumple con estos criterios al ser un residuo reutilizable que no requiere transformaciones industriales complejas. Su incorporación en suelos arcillosos o limosos mejora su comportamiento estructural sin comprometer el entorno, contribuyendo a la economía circular. Además, esta técnica puede ser aplicada en proyectos comunitarios o de bajo presupuesto, generando inclusión social y beneficios ambientales tangibles Otieno et al. (2023).

La interacción entre el contenido de humedad y la resistencia del suelo tratado con ceniza de eucalipto es determinante en el desempeño final del pavimento. Una humedad óptima es necesaria para facilitar las reacciones químicas entre los minerales del suelo y los óxidos de la ceniza. Por otro lado, una cantidad excesiva de humedad podría diluir los enlaces que se crean, reduciendo así la resistencia que se consigue. Para aprovechar al máximo las ventajas de la estabilización y garantizar la durabilidad a largo plazo del suelo mejorado, es esencial controlar los niveles de humedad durante el proceso de compactación Wongvatanaet al. (2025).

2.2.1.4 Reducción del espesor de afirmado mediante el mejoramiento de la subrasante

Mejorar las condiciones mecánicas de la subrasante permite disminuir el espesor de las capas superiores del pavimento. Al incorporar ceniza de eucalipto y aumentar el

CBR del suelo, se requiere menos material afirmado para distribuir las cargas del tránsito. Por ejemplo, un suelo con CBR de 4% podría necesitar un afirmado de 25 cm, mientras que el mismo suelo tratado con 8% de ceniza podría requerir solo 18 cm. Esta reducción no solo impacta favorablemente en el costo, sino también en la logística y el tiempo de ejecución del proyecto Cristobal y Quinte (2022).

La implementación de técnicas sostenibles de estabilización en zonas rurales busca optimizar recursos locales y reducir el impacto ambiental. El uso de ceniza de eucalipto como estabilizante cumple con estos principios al aprovechar un residuo orgánico disponible regionalmente. Esta técnica reduce la necesidad de transporte de materiales, disminuye las emisiones asociadas al uso de cemento o cal, y mejora la calidad de las vías rurales, haciéndolas más resistentes y duraderas frente a condiciones climáticas extremas y tráfico agrícola Cristobal y Quinte (2022).

El diseño estructural de afirmados se basa en modelos que correlacionan el CBR de la subrasante con el espesor requerido de cada capa del pavimento. Al incrementar el CBR mediante la estabilización con ceniza de eucalipto, estos modelos permiten reducir el espesor del afirmado, optimizando el uso de recursos. Además, algunos modelos empíricos actualizados incorporan factores de sostenibilidad y condiciones climáticas locales, lo que hace más eficiente la planificación y ejecución de proyectos viales en zonas rurales como la provincia de Moho Gonzales (2023).

2.2.2 La subrasante

La subrasante es la estructura del terreno que sirve de base natural sobre la que se construye la estructura del firme. Debido a que es el primer nivel de soporte del sistema estructural del pavimento, se considera uno de los aspectos más fundamentales en el diseño de carreteras. Su estado tiene un impacto significativo en el comportamiento mecánico de toda la estructura, lo que a su vez tiene una relación directa con su vida útil, su rendimiento operativo y los requisitos de mantenimiento que serán necesarios en el futuro. La capacidad de esta capa para absorber y dispersar las cargas vehiculares

depende de sus propiedades geotécnicas, que deben ser rigurosamente analizadas para garantizar la eficiencia y seguridad del diseño estructural del pavimento. En consecuencia, esta capa adquiere una importancia especial en el campo de la ingeniería civil y la construcción de carreteras Chinkhuntha et al. (2024).

Desde el punto de vista ingenieril, la subrasante debe tener propiedades físico-mecánicas adecuadas para resistir las cargas del tránsito previstas sin sufrir deformaciones permanentes ni pérdidas de estabilidad. Para ello, en la etapa constructiva la subrasante se prepara mediante movimientos de tierra (corte o relleno), seguido de compactación al menos al 95% de la densidad máxima obtenida en ensayos Proctor modificados, para asegurar una base rígida y uniforme. Cristobal y Quinte (2022).

La calidad de la subrasante se evalúa con parámetros como el índice CBR, granulometría, plasticidad, permeabilidad y estabilidad frente a la humedad. Según su capacidad portante, la subrasante se clasifica en categorías (excelente, buena, regular, pobre, inadecuada), con requisitos mínimos de espesor y distancia del nivel freático para evitar afectaciones por agua. Cuando la subrasante es arcillosa o limosa, puede ser necesario colocar una capa separadora o usar geosintéticos para impedir la contaminación y pérdida de propiedades de las capas superiores Cristobal y Quinte (2022).

2.2.2.1 Propiedades de la Subrasante

Para desempeñar eficazmente su función en el marco del diseño estructural de los firmes, la subrasante debe poseer las propiedades necesarias de soporte, resistencia y estabilidad. La naturaleza del suelo, la presencia de humedad en el mismo, su densidad y su índice de plasticidad son algunos de los factores que influyen en estas cualidades. Para evitar que se produzcan deformaciones persistentes que puedan dañar la integridad estructural del pavimento, es necesario que esta capa tenga la capacidad de soportar las cargas provocadas por el tráfico rodado y de adaptarse eficazmente a las condiciones meteorológicas desfavorables Cristobal y Quinte (2022).

Establece que la subrasante debe cumplir con ciertas normas técnicas que garantizan la estabilidad y resistencia de las vías. En este sentido, la subrasante no solo debe resistir las cargas aplicadas por el tráfico, sino también las variaciones estacionales de humedad y temperatura, lo cual puede afectar la capacidad del suelo para mantener su firmeza y estructura. La clasificación de la subrasante y su adecuada evaluación se realizan mediante pruebas geotécnicas que permiten determinar su capacidad de soporte y la idoneidad para ser utilizada en la construcción de pavimentos Dabou et al. (2021).

Las propiedades de la subrasante son características físicas, mecánicas y químicas del suelo que constituye la capa inmediata bajo la estructura del pavimento o afirmado. Estas propiedades son fundamentales porque determinan la capacidad de soporte, estabilidad y comportamiento del pavimento frente a las cargas y condiciones ambientales que tendrá la vía.

Entre las principales propiedades de la subrasante se encuentran:

1. Capacidad portante y resistencia a la deformación: expresada habitualmente mediante el índice CBR, indica la resistencia del suelo a la penetración y su aptitud para soportar cargas. Un CBR alto implica mayor soporte a las cargas vehiculares y menor espesor requerido en la capa de afirmado. La subrasante debe proveer una base estable que soporte esfuerzos cortantes sin deformarse excesivamente.
2. Densidad y grado de compactación: la densidad seca alcanzada por compactación, generalmente a un 95% de la densidad máxima obtenida en ensayos Proctor, influye directamente en la rigidez y capacidad portante. Una compactación adecuada reduce la porosidad y previene el asentamiento y la pérdida de resistencia por infiltración y movimiento de agua.
3. Contenido y sensibilidad a la humedad: la humedad del suelo subrasante afecta su resistencia y estabilidad. Suelos saturados o con cambios de humedad pueden sufrir hinchamientos, reblandecimiento, o pérdida de cohesión, afectando la uniformidad y desempeño del pavimento. Por eso, el control del drenaje es esencial para conservar la capacidad de soporte de la subrasante.

4. Composición granulométrica: la proporción de partículas gruesas, finos cohesivos (arcillas) y limos incide en la cohesión, permeabilidad y resistencia. Suelos bien graduados, con buen porcentaje de finos cohesionantes, tienden a estabilizarse mejor bajo cargas.

2.2.2.2 Clasificación de la Subrasante

La subrasante se analiza utilizando diversos sistemas de clasificación de suelos, lo que forma parte de la filosofía de la ingeniería. El SUCS y la técnica AASHTO son dos de los métodos más utilizados. Ambos métodos son vitales para determinar si el suelo es apto o no para su uso y si puede predecir con exactitud cómo se comportará cuando se someta a esfuerzos estructurales. Los suelos arenosos, limosos y arcillosos son algunos de los tipos de suelos clasificados por el SUCS. Estos suelos se clasifican según su distribución granulométrica, sus limitaciones de plasticidad y otros parámetros físicos. Cada tipo de suelo tiene unas características determinadas que influyen en el proceso de diseño de los pavimentos Estrada (2022).

Las cualidades plásticas del suelo son la base principal del sistema de clasificación utilizado por la AASHTO. Para clasificar el suelo en varios grupos, el sistema tiene en cuenta criterios como el índice de plasticidad y la distribución granulométrica. Debido a que proporciona datos cruciales sobre la capacidad del suelo para soportar cargas recurrentes sin sufrir deformaciones permanentes, este método es especialmente relevante en el campo de la construcción de firmes de carreteras en la actualidad. Este sistema tiene en cuenta aspectos como la cohesión del material, la sensibilidad a la dilatación térmica y la influencia del contenido de humedad. Todas ellas son características que influyen considerablemente en el rendimiento y la longevidad de la subrasante a lo largo del tiempo Gonzales (2023).

2.2.2.3 Capacidad de Carga y Ensayo CBR

La capacidad portante del subsuelo es uno de los aspectos más importantes que hay que tener en cuenta al analizar su comportamiento. A lo que se refiere esta característica es a la capacidad del suelo de resistir cargas sin deformarse permanentemente. Esta característica se determina mediante el ensayo CBR (California Bearing Ratio), un ensayo estandarizado de penetración de un pistón metálico en el suelo en condiciones controladas de humedad y compactación. El ensayo CBR es un método para determinar esta característica. El valor CBR se suele obtener sobre arena compactada de resistencia conocida, y se expresa como un porcentaje en comparación con un suelo estándar. Además de definir el espesor apropiado de las capas estructurales del firme, este método es capaz de anticipar el comportamiento mecánico de la subrasante bajo la acción del tráfico Gonzales (2024).

Ya que con él se pueden definir de manera adecuada los espesores requeridos tanto para la base como para la subbase, el índice CBR es fundamental en el diseño estructural de pavimentos flexibles. De esta manera aseguran que estas capas puedan resistir adecuadamente las cargas vehiculares. En cambio, un CBR bajo nos dice que el suelo es débil y, por lo tanto, se necesita diseñar un pavimento más fuerte (capas más gruesas). Un CBR alto significa que la subrasante es estructuralmente fuerte y, por lo tanto, puede soportar mayores cargas sin deformarse significativamente. Por lo cual, es importante analizar las fluctuaciones estacionales de humedad en el sitio donde se proyecta la obra vial. Este parámetro depende del contenido de humedad del suelo Jamnongwong et al. (2025).

2.2.2.4 CBR

El CBR de California es uno de los indicadores más utilizados en ingeniería civil. Su propósito es analizarlo en el marco del diseño de pavimentos de hormigón. Por haber sido desarrollado en los años 30 para evaluar la resistencia que oponen los suelos de

subrasante a las cargas repetidas inducidas por el tráfico, es un método indispensable para asegurar la estabilidad de las mejoras viales y extender su vida útil Martins et al. (2025).

En condiciones controladas de temperatura y humedad, el ensayo CBR es un ensayo de penetración para determinar la resistencia de un suelo a la penetración de un pistón normalizado. En este procedimiento se introduce un émbolo de cincuenta milímetros de diámetro en una muestra de suelo previamente compactada a ciertos valores de densidad y contenido de humedad. El porcentaje que expresa la capacidad portante del suelo en relación con cargas similares a las de tráfico se obtiene al comparar la carga requerida para penetrar en el suelo con la carga requerida para penetrar en un material estándar, como grava triturada. Esta comparación se usa para sacar el CBR Nangulama y Kuotcha (2025).

La prueba CBR se lleva a cabo bajo un protocolo normado que contempla la elaboración de una muestra representativa del suelo a evaluar. Esta muestra es compactada hasta alcanzar su densidad máxima mediante un equipo de compactación, asegurando además que conserve su contenido óptimo de humedad. Posteriormente, se aplica un pistón con dimensiones estandarizadas sobre la superficie del suelo, registrando la penetración lograda bajo distintas magnitudes de carga. El valor del CBR se determina como un porcentaje, comparando la resistencia ofrecida por el suelo con la carga necesaria para deformar un material de referencia estándar Nangulama y Kuotcha (2025).

La penetración del pistón durante el ensayo CBR se ve condicionada por distintos factores, entre ellos la humedad del suelo, su grado de compactación y la distribución granulométrica. En general, los suelos finos como las arcillas tienden a ofrecer menor resistencia al avance del pistón, en contraste con suelos granulares como las arenas. La presencia de humedad desempeña un rol determinante en el valor del CBR, ya que el agua actúa como agente lubricante, disminuyendo la fricción interna y facilitando la penetración cuando el contenido hídrico es elevado. Además, la densidad del suelo es un parámetro crítico: a mayor compactación, menor porosidad y mayor resistencia, lo que se traduce en una mejor capacidad portante del terreno Niyomukiza y Yasir (2023).

2.2.2.5 CBR con baja capacidad de carga

Los suelos con limitada capacidad portante pueden experimentar mejoras significativas en su índice CBR mediante la aplicación de técnicas de estabilización. Entre las alternativas más utilizadas se encuentra la incorporación de agentes estabilizantes como la cal, el cemento o incluso insumos reciclados, tales como plásticos triturados o cenizas industriales. Estos componentes modifican favorablemente las características del terreno al incrementar su cohesión interna y su resistencia mecánica. La cal, en particular, es altamente efectiva en suelos arcillosos, ya que, al reaccionar químicamente con los minerales presentes, reduce la plasticidad y refuerza su capacidad estructural Otieno et. al. (2023).

El uso de cemento en el proceso de estabilización del suelo da como resultado un aumento de la resistencia al corte, así como una mejora de la durabilidad a largo plazo. Esto convierte al cemento en una solución eficaz para suelos con poca capacidad estructural y que requieren más soporte. Por otro lado, la integración de plásticos reciclados es un método creativo y en expansión. Se ha demostrado que aumenta drásticamente el valor CBR de los suelos pobres, al tiempo que fomenta los beneficios medioambientales mediante la reutilización de los residuos plásticos. Esta alternativa mejora las cualidades en la construcción de proyectos de infraestructura vial de una manera más respetuosa con el medio ambiente y rentable Pequeña y Sanchez (2024).

El valor del índice CBR es fundamental en la planificación de pavimentos flexibles, ya que sirve como parámetro clave para definir el espesor óptimo de las capas estructurales, como la subbase, base y superficie de rodadura. Cuando los resultados del CBR son bajos, se hace necesario incrementar el grosor de estas capas o incorporar materiales con mejores propiedades en los niveles superiores del pavimento. Esta información resulta esencial para asegurar que la estructura vial resista adecuadamente las cargas del tránsito durante su periodo de servicio, reduciendo al mínimo los costos asociados a mantenimiento y rehabilitación Rujikiatkamjorn et al. (2024).

2.2.3 *Afirmado*

El afirmado es la capa superior de un camino no pavimentado, constituida por materiales granulares compactados que otorgan resistencia y soporte al tránsito vehicular. Su función principal es distribuir las cargas hacia las capas inferiores, en particular hacia la subrasante, evitando deformaciones prematuras. Actúa además como una superficie de rodadura temporal o permanente en vías rurales, donde la pavimentación convencional no es viable. Desde el punto de vista estructural, el afirmado contribuye al conjunto del sistema vial absorbiendo impactos y minimizando el desgaste de la subrasante, por lo que su adecuado diseño y ejecución resultan esenciales para la funcionalidad, seguridad y durabilidad del camino Estrada (2022).

Según Chinkhuntha et al. (2024), el afirmado en vías es una capa compactada de material granular, natural o procesado, que sirve como estructura en caminos y carreteras no pavimentadas. Su función es soportar directamente las cargas y esfuerzos del tránsito vehicular, ofreciendo una superficie resistente al desgaste mecánico y agentes atmosféricos. Esta capa granular debe estar bien gradada, en la cual la cantidad apropiada de finos cohesivos (arcilla) permite ligar las partículas y darle cohesión y resistencia al afirmado.

Figura 2

Vía a nivel de afirmado



El afirmado puede constituir la superficie de rodadura en caminos vecinales o vías secundarias y puede servir de base estructural para carpetas de rodamiento más elaboradas, en función de las demandas de tránsito y las características del suelo subyacente. La elección y dosificación adecuadas de materiales pétreos, arena y finos es determinante para la funcionalidad y durabilidad del afirmado La Torre y Neira (2025).

En términos operativos, el afirmado se obtiene a partir de materiales locales como agregados de cantera o de ríos, que se procesan y compactan para conformar una capa uniforme y estable. La construcción de afirmados incluye procesos rigurosos de selección, mezcla, humectación y compactación para asegurar un desempeño óptimo ante el tránsito y evitar deformaciones o deterioro prematuro La Torre y Neira (2025).

La clasificación del suelo subrasante es un paso fundamental para el diseño del afirmado. Los sistemas más comúnmente empleados son el SUCS (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos) y el AASHTO, que permiten agrupar los suelos de acuerdo a sus características granulométricas, plasticidad y comportamiento mecánico. En el contexto del diseño de afirmado, esta clasificación es clave para determinar si el suelo puede utilizarse tal cual o si requiere estabilización. Por ejemplo, suelos A-1 a A-3 en la clasificación AASHTO se consideran aptos, mientras que los A-5 a A-7 requieren tratamiento. Esta caracterización permite definir estrategias de diseño que aseguren la funcionalidad y durabilidad del camino, especialmente en zonas rurales con recursos limitados Chinkhuntha et al. (2024).

2.2.3.1 ¿Qué es el método NAASRA?

Se basa en dos variables principales: la resistencia de la subrasante, medida por el CBR (California Bearing Ratio), y la carga de tráfico, expresada como número de repeticiones de ejes equivalentes (EE).

Fórmula del método NAASRA

La fórmula más reportada en manuales (incluyendo el Manual de Carreteras No Pavimentadas del MTC Perú) es:

$$e = [219 - 211 * (\log CBR) + 58 * (\log CBR)^2] * \log \left(\frac{N_{rep}}{120} \right)$$

Donde:

- **e** = espesor de la capa de afirmado, en **mm**
- **CBR** = valor del CBR de la subrasante (en porcentaje)
- **Nrep** = número de repeticiones de ejes equivalentes para el carril de diseño (es decir, cuántas veces se espera que pasen esos ejes durante el periodo de diseño).

Supuestos y condiciones de aplicación

Rango de CBR:

- En algunos documentos se advierte que el método es representativo para CBR subrasante “desde > 6% hasta 30%” aproximadamente
- Si la subrasante es muy débil (CBR muy bajo, por ejemplo < 6 %), se debería considerar estabilización o reemplazo del suelo antes del diseño del afirmado.

Tráfico:

- El “Nrep” se calcula para el periodo de diseño, y debe reflejar el flujo esperado de ejes equivalentes.
- En el manual del MTC de carreteras no pavimentadas se usa como referencia “120” en la fórmula, lo cual puede derivar de un caso base o calibración usada originalmente por NAASRA.

Espesor mínimo:

- En el manual del MTC se indica que el espesor de afirmado no debe ser menor a 150 mm (15 cm), aunque la fórmula pueda dar un valor menor

2.2.3.2 Normativa técnica para el diseño estructural de afirmados en el Perú (MTC)

En el Perú, el diseño de afirmados está regulado por el MTC, que establece criterios técnicos para el diseño estructural y especificaciones de materiales. Este marco normativo

proporciona metodologías basadas en el valor del CBR, tránsito proyectado (ejes equivalentes) y condiciones climáticas. El cumplimiento de esta normativa garantiza la estandarización de los diseños y asegura que las obras viales sean funcionales, seguras y sostenibles en el tiempo. Cristobal y Quinte (2022)

El "Manual para el Diseño de Carreteras No Pavimentadas de Bajo Volumen de Tránsito" y el "Manual de Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos" son documentos clave que recogen criterios técnicos para el diseño estructural del afirmado, estableciendo requisitos como:

- Selección de materiales granular naturales o procesados con gradación específica y contenido adecuado de finos cohesionantes que permitan una adecuada compactación y resistencia, asegurando la capacidad de soporte frente a las cargas vehiculares.
- Determinación del espesor mínimo del afirmado según el índice CBR de la subrasante, el tipo y volumen de tránsito, y las condiciones climáticas locales.
- Recomendaciones para la compactación, perfilado y drenaje para garantizar la estabilidad dimensional y evitar deterioros prematuros.
- Uso de estabilizadores químicos o mecánicos cuando las condiciones del suelo subrasante lo requieran, para mejorar propiedades mecánicas y durabilidad del afirmado.
- Control y evaluación continua conforme a normativas nacionales como la Resolución Directoral N°040-2003-MTC/14 que establece pautas para la evaluación y uso de estabilizadores en el suelo.

2.2.3.3 Influencia del CBR en el diseño estructural de afirmados

El CBR (California Bearing Ratio) es una de las variables más utilizadas para determinar la capacidad de soporte de la subrasante. Su valor influye directamente en el cálculo del espesor del afirmado, ya que a menor CBR, mayor espesor se requiere para soportar las cargas del tráfico sin causar deformaciones. En este contexto, el diseño

estructural se orienta a garantizar que el conjunto afirmado-subrasante funcione como una unidad capaz de resistir esfuerzos de compresión y tracción. El uso de este índice permite una aproximación racional y cuantitativa al diseño, basada en ensayos de laboratorio, lo que facilita la toma de decisiones en condiciones de campo variables Cristobal y Quinte (2022).

En el diseño estructural de afirmados, el valor del CBR de la subrasante es un parámetro clave para determinar el espesor óptimo de las capas del afirmado. A mayor CBR, el suelo tiene mejor capacidad portante, por lo que se puede diseñar con espesores menores, mientras que un CBR bajo implica suelos débiles que requieren capas más gruesas o estabilización para garantizar la resistencia y durabilidad del camino. El CBR también ayuda a definir si el suelo requiere mejoramiento previo, como estabilización química o mecánica Gonzales (2024).

El cálculo de espesores de afirmados utiliza el CBR para equilibrar costos y desempeño, asegurando que la vía soporte el tráfico previsto sin deformaciones ni fallos prematuros. La evaluación se debe hacer con un CBR representativo, frecuentemente medido al 95% de la densidad máxima Proctor para simular condiciones reales de compactación.

Además, normas y manuales técnicos peruanos establecen que el diseño estructural debe considerar el CBR dentro de un rango definido según el tipo y volumen del tránsito, estableciendo valores mínimos para garantizar seguridad y funcionalidad. Se ajustan espesores y mezclas del afirmado en función del CBR para que el pavimento granular cumpla su función de distribuir cargas y proteger la subrasante Gonzales (2024).

2.2.3.4 Técnicas de mejoramiento de subrasante para optimizar el afirmado vial

Las técnicas de mejoramiento de la subrasante para optimizar el afirmado vial consisten en una serie de procedimientos orientados a mejorar las capacidades mecánicas y de soporte del suelo natural sobre el cual se construye la estructura de la vía. La subrasante es la base fundamental para soportar las capas superiores, incluido el

afirmado, por lo que su adecuado mejoramiento es crucial para la durabilidad y funcionalidad de la vía. Jamnongwong et al. (2025)

Entre las técnicas más comunes y efectivas se encuentran:

- Estabilización mecánica: implica la compactación intensiva del suelo para aumentar su densidad y resistencia, utilizando equipos especializados y controlando parámetros como humedad y nivel de compactación para lograr una base homogénea y estable.
- Mejoramiento con aditivos: consiste en la incorporación de materiales estabilizantes como cal, cemento, cenizas (inclusive ceniza de eucalipto), materiales orgánicos o polímeros, que reaccionan químicamente o físicamente con el suelo para mejorar su resistencia al corte, reducir su plasticidad y aumentar la capacidad de soporte.
- Remoción y reemplazo parcial o total: en casos donde el suelo natural es muy débil o inadecuado, se excava y reemplaza con materiales seleccionados y de mejor calidad, garantizando características granulométricas y de compactación óptimas para soportar la estructura del afirmado.
- Mejoramiento del drenaje: asegurar la evacuación adecuada del agua alrededor y debajo de la subrasante evita la saturación del suelo y la pérdida de capacidad portante. Esto puede lograr con cunetas, drenajes longitudinales y transversales, y mejorando la pendiente del suelo.
- Mejoras químicas específicas: tratamientos con aditivos puzolánicos o polímeros también pueden mejorar la durabilidad y resistencia al agua, reduciendo la degradación por ciclos de humedad y sequedad.

El objetivo de estas técnicas es lograr un suelo subrasante con propiedades óptimas para soportar las cargas vehiculares y evitar deformaciones y fallos prematuros en el afirmado. Esto mejora la vida útil de la vía y disminuye costos de mantenimiento, asegurando una superficie de rodadura estable y segura Cristobal y Quinte (2022).

2.2.3.5 Métodos para el cálculo del espesor del afirmado

Según Otieno, Gariy, et al. (2023). El cálculo del espesor de la subrasante en vías se realiza a partir de varios métodos que buscan dimensionar adecuadamente esta capa para que soporte las cargas vehiculares y condiciones ambientales, asegurando la durabilidad y funcionalidad del pavimento o afirmado. Los métodos más utilizados incluyen:

1. Método AASHTO: Se basa en una fórmula empírico-mecánica que relaciona el Índice Estructural necesario para resistir el tráfico vehicular proyectado, tomando en cuenta la resistencia del suelo subrasante medida por el CBR, las cargas del tráfico (número y tipo de ejes equivalentes), y factores climáticos. El espesor del afirmado se deduce para alcanzar el índice estructural requerido. Este método es uno de los más utilizados por su precisión y facilidad.
2. El método NAASRA es una metodología empírica ampliamente utilizada para el cálculo del espesor del afirmado en vías, la cual relaciona directamente la resistencia de la subrasante (medida por el índice CBR) con el número de repeticiones de ejes equivalentes (Nrep) para el tránsito proyectado.
3. El método establece que para subrasantes con CBR mayor a 6% y tráfico de hasta 300,000 repeticiones de ejes equivalentes, el espesor del afirmado se calcula mediante una fórmula que integra el CBR y la carga actuante, considerando que en suelos con CBR menor a 6%, se deben realizar estabilización o reemplazo de la subrasante por suelos mejorados. El espesor resultante se redondea y ajusta según criterios prácticos para garantizar la capacidad portante y durabilidad de la vía.
4. La metodología USACEE, que es un marco para el diseño estructural de capas de afirmado utilizado en algunos países, complementa este enfoque empírico con un análisis más detallado, basado en propiedades mecánicas del suelo, capacidad resistente de materiales y condiciones específicas de carga y tránsito, integrando principios de la ingeniería de pavimentos para optimizar el espesor.

2.3 Marco conceptual

- a. **Ceniza de eucalipto.** - Es un residuo sólido que se produce por la combustión controlada de la biomasa del eucalipto (madera, ramas y hojas). Está compuesto principalmente por óxidos de calcio, sílice, potasio y magnesio, que le dan propiedades puzolánicas. Estas propiedades la hacen un material potencial para ser utilizado en la ingeniería civil, en particular en la estabilización de suelos y en la mejora de las propiedades mecánicas de materiales para pavimentación.
- b. **Subrasante.** - Es la capa de suelo natural o modificado sobre la cual se apoya la estructura del pavimento. Su misión es la de servir de soporte y de regularizar las cargas que le transmiten las capas superiores. La capacidad portante y estabilidad de la subrasante son determinantes para la vida útil y estructural de una vía.
- c. **Índice CBR.** - El CBR es un valor que expresa la capacidad portante de un suelo en términos de la relación entre la presión necesaria para producir una penetración normal en el suelo y la presión necesaria para producir la misma penetración en un material de referencia (piedra triturada). Este valor es un parámetro de diseño, evaluación y control de calidad de pavimentos.
- d. **Capacidad de soporte.** - Es la capacidad del suelo para soportar cargas sin fallar ni deformarse excesivamente. Es uno de los criterios fundamentales en el diseño y dimensionamiento de cimentaciones, terraplenes y estructuras de pavimento, que asegura la estabilidad y buen comportamiento de las obras civiles.
- e. **Afirmado de vías.** - El afirmado de vías es una capa estructural conformada por materiales granulares seleccionados y compactados, ubicada sobre la subrasante o la subbase. Su función es proporcionar resistencia, estabilidad y una superficie adecuada para la transitabilidad vehicular en carreteras no pavimentadas o de bajo volumen de tránsito.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1 Enfoque de la investigación

La investigación es cuantitativa, ya que el análisis se apoya en datos numéricos recopilados de laboratorios, como CBR y compactación, para determinar en términos medibles el impacto de la ceniza de eucalipto en suelos de subsuelo.

El enfoque cuantitativo implica la recopilación y el análisis de datos numéricos para descubrir patrones, probar hipótesis y determinar relaciones de causa y efecto entre variables. Según Hernández et al. (2019), el enfoque cuantitativo es capaz de medir fenómenos, hacer inferencias objetivas y usar estadísticas para analizar la información recogida. Este enfoque es objetivo, replicable y controlado, lo que permite obtener resultados generalizables y exactos.

3.2 Tipo de la investigación

La investigación es de tipo aplicada, ya que pretende solucionar un problema real y práctico, mejorando la capacidad portante de suelos en vías rurales utilizando ceniza de eucalipto como material estabilizante en la provincia de Moho.

La investigación aplicada busca resolver problemas prácticos aplicando conocimientos científicos. Para Alfonso et al. (2020), este tipo de investigación busca la

aplicabilidad inmediata y usa los resultados científicos para cambiar la realidad, crear innovaciones de procesos o mejorar sistemas existentes. Se distingue de la investigación básica en que busca resultados prácticos aplicables a la práctica profesional.

3.3 Nivel de la Investigación

El nivel es explicativo, ya que no solo presenta datos numéricos, sino que también explica la relación de causa y efecto de la ceniza de eucalipto en la mejora de la capacidad estructural del suelo y cómo esto afecta directamente el diseño de pavimentos.

La investigación explicativa busca determinar las causas de los fenómenos y explicar cómo funcionan. Para González (2022), este es el nivel que trata de explicar el porqué de las cosas, encontrando las variables que determinan el fenómeno. El objetivo es conocer en profundidad las causas, creando conocimiento científico y fiable.

3.4 Diseño de la Investigación

El diseño experimental consiste en tomar muestras de suelo, mezclarlas con diferentes porcentajes de ceniza de eucalipto (5%, 7% y 9%) y compararlas con los resultados de laboratorio del CBR y otras especificaciones técnicas, en cumplimiento de las normas nacionales.

El diseño experimental, de acuerdo con Iglesias (2021), es la manipulación de las variables independientes para medir sus efectos sobre las variables dependientes, controlando las variables extrañas. Utiliza grupos control y grupos experimentales para determinar relaciones de causa y efecto confiables y objetivas.

3.5 Método de la Investigación

Se aplica el método científico, con pasos estrictos de observación, hipótesis, experimentación de laboratorio y análisis de resultados. Los procesos involucran la toma,

preparación y análisis de muestras, aplicación de protocolos y fórmulas normalizadas para el diseño del suelo, todo ello con bases teóricas y metodológicas.

El método científico es un proceso sistemático y organizado para obtener conocimiento, el cual fue teorizado por Paitán (2014) y que plantea la observación, experimentación y formulación de hipótesis como pasos. Este método garantiza la objetividad, verificabilidad y reproducibilidad de los resultados a través de la razón y la evidencia empírica.

3.6 Población y Muestra

3.6.1 Población

Según Guadalupe y Concepción (2020) definen la población como “el conjunto completo de elementos o sujetos que comparten características comunes y que constituyen el universo a investigar”. Esta definición resalta que la población es el grupo general al que se quiere generalizar los resultados.

La población está conformada por los suelos de subrasante de la red vial no pavimentada de la provincia de Moho, que presentan características de baja capacidad de soporte, alta variabilidad granulométrica y deficiencias en su comportamiento estructural ante cargas repetidas. Se incluyen tramos de vías rurales con afirmado granular tradicional o situaciones de subrasante expuesto, susceptibles de estabilización y mejoramiento mediante técnicas alternativas, como la incorporación de ceniza de eucalipto.

3.6.2 Muestra

Según Reyes (2022) destaca que la muestra debe poseer las mismas propiedades que la población de la cual proviene, pues de esta manera se asegura que los resultados puedan generalizarse adecuadamente.

La muestra se constituyó por suelos de subrasante extraídos de tres tramos representativos de la red vial departamental de Moho, seleccionados considerando su

relevancia en la conectividad local, sus rasgos críticos de capacidad portante y su historial de requerimientos de mantenimiento. En cada tramo se obtuvieron muestras inalteradas para caracterización geotécnica y se sometieron a procesos de estabilización en laboratorio con tres dosificaciones controladas de ceniza de eucalipto (5%, 7% y 9% en peso respecto al suelo seco a ser ensayado).

Se consideraron los siguientes tramos viales:

- Vía 1: Chaca Lequeña – Parcialidad de Jojorfa
- Vía 2: Moho – Cheje Cheje
- Vía 3: Moho – Lloquesani

Tabla 2

Características de la muestra seleccionada

N.º	Tipo de suelo de subrasante	Estado inicial	Dosificaciones de ceniza de eucalipto	N.º de muestras
VIA - 1	Arcilloso granular	Natural	0%, 5%, 7%, 9%	4
VIA - 2	Arenoso limoso	Natural	0%, 5%, 7%, 9%	4
VIA - 3	Arcilloso	Natural	0%, 5%, 7%, 9%	4

Se muestra las características de tres vías con diferentes tipos de suelos y dosificaciones de ceniza de eucalipto (0%, 5%, 7%, 9%). Se seleccionaron según criterios como demanda de mantenimiento, tránsito de carga y capacidad de soporte.

3.7 Técnicas e instrumentos para la recolección de datos

3.7.1 Técnicas.

La investigación adoptó un enfoque experimental-metodológico multidisciplinario, estructurado sobre procedimientos validados internacionalmente en ingeniería geotécnica para la caracterización, modificación y evaluación de suelos subrasantes mediante

estabilización con ceniza de eucalipto. Las técnicas implementadas garantizan trazabilidad, precisión y relevancia ingenieril en cada fase del proceso:

- **Caracterización geotécnica avanzada de suelos:** Se realizó muestreo inalterado y perturbado siguiendo los protocolos ASTM D421 y D1587, preservando las propiedades físicas y mecánicas originales. La selección de puntos se fundamentó en análisis geoespacial, criterios de tránsito y vulnerabilidad vial.
- **Diseño experimental de estabilización:** Mediante metodología factorial, se prepararon mezclas con tres proporciones de ceniza de eucalipto (5%, 7%, 9% en peso seco), con estricto control de homogeneidad, humedad y curado. El proceso se guió por literatura técnica y especificaciones MTC, asegurando la reproducibilidad.
- **Batería de ensayos geotécnicos normalizados:**
 - ✓ **Granulometría por tamizado (ASTM C136):** evaluación de los parámetros D₁₀, D₃₀, D₆₀ y curva de distribución para identificar la textura y aptitud del suelo a la estabilización.
 - ✓ **Límites de Atterberg (ASTM D4318):** determinación de plasticidad, potencial de expansión y comportamiento frente a la humedad.
 - ✓ **Compactación Proctor Modificado (ASTM D1557):** determinación precisa de humedad óptima y densidad seca máxima para cada mezcla, base del diseño de compactación in situ.
 - ✓ **Ensayo CBR (ASTM D1883):** cuantificación directa de la capacidad portante, parámetro clave para el diseño estructural de afirmado.
- **Registro, georreferenciación y sistematización digital:** La totalidad del trabajo de campo y laboratorio fue georreferenciada con GPS diferencial de precisión submétrica, documentada fotográficamente y estructurada en una base de datos digital homologada, facilitando la trazabilidad y revisión por pares.

3.7.2 Instrumentos.

Para la ejecución de los ensayos y procedimientos de laboratorio y campo se emplean instrumentos certificados y de especificaciones técnicas exigentes, adecuados al nivel profesional requerido para proyectos de estabilización de suelos y caracterización geotécnica:

- **Kit de tamices granulométricos normalizados ASTM (N°4 a N°200):** Permiten la obtención de la curva granulométrica y la determinación de parámetros como D10, D30, D60, fundamentales para analizar la textura del suelo y su potencial de estabilización.
- **Compactadora Proctor mecánica (ASTM D1557):** Equipo calibrado para establecer la humedad óptima y la densidad máxima seca de compactación, criterio base para el diseño y control de obras viales
- **Moldes y pistones para ensayo CBR (ASTM D1883):** Incluyen sistemas completos de carga, medidores de desplazamiento y anillos de calibración, asegurando la precisión en la evaluación de la capacidad portante del suelo natural y estabilizado.
- **Balanza digital de alta precisión (0.01 g):** Instrumento para ensayos de compactación como para dosificación de mezclas y el control de pérdidas por secado.
- **Estufa de secado de temperatura controlada:** Fundamental para el secado uniforme de muestras, minimizando la alteración de las propiedades físico-mecánicas del suelo.
- **GPS:** Para georreferenciar todos los puntos de muestreo, garantizando la trazabilidad espacial de los resultados y la replicabilidad de futuras investigaciones
- **Cámara fotográfica profesional con geolocalización:** Permite el registro visual y documental de los procedimientos ejecutados, condiciones de muestreo y estado inicial/final de los materiales testificados.
- **Software (Excel):** Utilizados para la sistematización y procesamiento avanzado de datos experimentales, diseño de tablas y gráficos comparativos, y la ejecución de análisis correlacional entre variables geotécnicas

3.8 Proceso para la recopilación de información.

El proceso incluyó la selección de muestras, preparación y secado de materiales, y ensayos granulométricos, de compactación, límites de consistencia y CBR. Los resultados se tabularon y graficaron para comparar suelos naturales y estabilizados.

3.8.1 Selección y ubicación de tramos de estudio

Se identificaron y ubicaron los tramos de estudio en la provincia de Moho. Se demostró la accesibilidad, el tipo de tráfico y la representatividad de los suelos presentes.

Se realizó la excavación de calicatas y la toma de muestras perturbadas y no perturbadas del suelo natural y del afirmado existente, siguiendo las recomendaciones del Manual de Carreteras del MTC y las normas ASTM relacionadas.

Tabla 3

Coordenadas geográficas de las muestras tomadas en las vías estudiadas

N.º de vías	Coordenadas (GCS)
VIA - 1	15°19'41.79"S
	69°30'0.43"O
VIA - 2	15°22'7.35"S
	69°28'41.43"O
VIA - 3	15°21'54.24"S
	69°30'50.22"O

Las coordenadas están expresadas en grados, minutos y segundos, tanto para latitud como longitud.

Figura 3

Puntos de muestreo de las vías analizadas



Nota. Google Earth

Figura 4

Vía 1: Chaca Lequeña – Parcialidad de Jojoría



Vía 1, Chaca Lequeña – Parcialidad de Jojoría

Figura 5

Vía 2: Moho – Cheje Cheje



Vía 2, Cheje Cheje – Provincia de Moho

Figura 6

Vía 3: Moho – Lloquesani



Vía 3, Lloquesani – Provincia de Moho

EL IMDA DE LAS 3 VÍAS ESTUDIADAS:

- El IMDA estimado para las tres vías después de ajustar el flujo diario y factores de corrección es aproximadamente 170 ejes equivalentes por día.

- Esto se clasificó conforme al Manual de Carreteras del MTC como tránsito medio bajo (categoría T2: 51–200 ejes/día).

3.8.2 Extracción de muestras de campo

En cada uno de los tramos seleccionados, se procedió a la extracción de muestras representativas de suelo natural de la subrasante y del afirmado existente, asegurando cantidades suficientes para la realización de los diversos ensayos de caracterización y capacidad de soporte. La recolección se llevó a cabo siguiendo protocolos establecidos en las normas técnicas vigentes (ASTM D420, ASTM D75 y el Manual de Carreteras del MTC), lo que permitió mantener la integridad física y química de los materiales.

Para evitar alteraciones en las propiedades originales del suelo, la toma de muestras se realizó mediante excavación cuidadosa de calicatas y uso de herramientas limpias, almacenando el material en bolsas plásticas identificadas y selladas. Las muestras fueron trasladadas inmediatamente al laboratorio, donde se mantuvieron bajo condiciones controladas hasta el momento de su análisis, garantizando así la confiabilidad de los resultados obtenidos en los ensayos posteriores.

3.8.3 Preparación y secado controlado de materiales

Las muestras extraídas del campo fueron trasladadas cuidadosamente al laboratorio, donde se identificaron y etiquetaron de acuerdo a su procedencia y características específicas. Para garantizar la confiabilidad de los resultados, se almacenaron bajo condiciones controladas de temperatura y humedad, previniendo cualquier alteración en sus propiedades físico-mecánicas.

Posteriormente, se realizó el proceso de secado parcial en horno, manteniendo una temperatura constante de aproximadamente 110 °C. Este procedimiento se prolongó hasta que las muestras alcancen peso constante, asegurando la eliminación de la humedad excesiva, pero conservando la uniformidad original del material. Este control estricto de secado es fundamental para evitar variaciones en los ensayos posteriores, permitiendo

que todas las muestras sean analizadas en igualdad de condiciones y asegurando que los resultados obtenidos sean comparables y reproducibles.

3.8.4 Realización de ensayos de caracterización

El proceso de caracterización de materiales es esencial para determinar las propiedades físicas y mecánicas del suelo y sus modificaciones tras la incorporación de ceniza de eucalipto. Se realizaron los siguientes ensayos bajo estándares técnicos reconocidos.

a) Ensayo granulométrico

Según (RD N° 18_2014_MTC_14. *Manual de Ensayo de Materiales*).

Se considerará 10 kilos para el ensayo de granulometría para cada vía.

Para determinar la distribución del tamaño de partículas se aplican dos métodos:

- ✚ **Tamizado mecánico:** las muestras secas se pasaron por una serie de tamices normalizados (generalmente desde $\frac{3}{4}$ " hasta 0.075 mm), registrando el peso retenido en cada tamiz. Se construyó la curva granulométrica, identificando los porcentajes de grava, arena, limo y arcilla.
- ✚ **Sedimentación por hidrómetro:** en fracciones finas (<0.075 mm), se utilizó el método del hidrómetro para analizar la cantidad relativa de limo y arcilla. Las lecturas se realizaron a intervalos específicos tras dispersar la muestra en solución calibrada, siguiendo la Norma ASTM D422 o equivalente nacional.
- ✚ **Resultados:** estos datos permitieron clasificar el suelo según sistemas unificados (SUCS/AASHTO), facilitando la comparación entre suelos naturales y estabilizados.

NORMA APLICADA: ASTM D422

Preparación de la muestra:

- Secar la muestra al horno a 110 ± 5 °C hasta obtener masa constante.
- Dividir la muestra seca, mediante cuarteo, hasta lograr la cantidad requerida (generalmente 500 g para suelos arenosos y 100 g para suelos finos).

- Registrar el peso exacto de la muestra utilizada.

Procedimiento:

- Colocar la muestra en una serie de tamices decrecientes (N°4, 10, 40, 100, 200, etc.) dentro de una columna de tamices.
- Agitar por 10 a 15 minutos con ayuda de agitador mecánico, asegurando dispersión y separación completa.
- Pesar el material retenido en cada tamiz y registrar los resultados.
- Calcular los porcentajes retenidos y acumulados para cada tamiz.
- Graficar la curva granulométrica y clasificar el suelo según los resultados.

b) Límites de consistencia (líquido y plástico)

Se evaluó la plasticidad y la capacidad de cambio de volumen del suelo mediante:

- ✚ Límite líquido: Se usó el aparato de Casagrande, se colocó la pasta de suelo en la copa y se dividió con la espátula. El recipiente se golpea en la base, según la norma ASTM D4318, y se anota el número de golpes requeridos para que la ranura se cierre. El resultado representa el contenido de humedad (%) en el cual el suelo pasa de un estado plástico a líquido.
- ✚ Límite plástico: Se cogió una muestra de suelo y se enrolló un hilo sobre una superficie lisa. Límite plástico: es la humedad (%) a la cual el hilo de suelo de 3 mm se rompe antes de deformarse.
- ✚ Índice de plasticidad: El índice se determina restando el límite líquido al límite plástico. Este valor es determinante para establecer la susceptibilidad de los suelos a deformarse o contraerse.

Se realizaron estos ensayos tanto en muestras de suelo natural como en suelos estabilizados con diferentes porcentajes de ceniza de eucalipto, observando cambios significativos en plasticidad.

NORMA APLICADA: ASTM D4318**Preparación de la muestra:**

- Tomar al menos 200 g de suelo seco, pasado por tamiz N°40.
- Humedecer gradualmente hasta obtener plasticidad uniforme.

Procedimiento:**Límite Líquido (Casagrande):**

- Coloque en la copa de Casagrande una porción de muestra.
- Hacer un surco central usando la herramienta estándar.
- Hacer golpear la copa a 2 golpes por segundo hasta que ambas mitades se unan en el fondo (en 12-25 golpes).
- Registre el número de golpes y obtenga la humedad correspondiente.
- Repita el ensayo para varios puntos y graficar golpes vs humedad.
- Determinar la humedad al interpolar para 25 golpes.

Límite Plástico:

- Tomar una porción y hacer rollos de 3 mm de grosor.
- La humedad a la que el rollo se quiebra es el límite plástico.

Índice de plasticidad:

- Calcule la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico.

c) Ensayo de compactación (Proctor modificado)

Para establecer las propiedades óptimas de compactación y la densidad máxima alcanzable:

Según (RD N° 18_2014_MTC_14. *Manual de Ensayo de Materiales*)

Se considerará 25 kilos para el ensayo de proctor modificado para cada vía.

- **Preparación de muestras:** Cada tipo de suelo (natural y con adición de ceniza) se mezcló con agua en diferentes contenidos de humedad.

- ✚ **Compactación:** Las muestras se compactaron en moldes cilíndricos estándar utilizando el estándar Proctor (ASTM D698) y, en algunos casos, el Proctor modificado (ASTM D1557), replicando la energía de compactación en campo.
- ✚ **Obtención de curva:** Se determine la relación entre el contenido de humedad y la densidad seca para cada lote de muestras, obteniendo la curva de compactación respectiva y el valor máximo de densidad seca y humedad óptima.
- ✚ **Utilidad:** Estos datos garantizan que las mezclas empleadas para estabilización se coloquen a las condiciones de mayor eficiencia mecánica y menor susceptibilidad al deterioro.

El mismo procedimiento se aplicó a las mezclas con ceniza de eucalipto en diferentes porcentajes, permitiendo comparar cómo afecta la adición de ceniza a la compactabilidad y la densidad del suelo.

NORMA APLICADA: ASTM D1557

Preparación de la muestra:

- Secar y mezclar el suelo, preparando de 3 a 5 subconjuntos con diferente hidratación (alrededor del contenido de agua óptimo estimado).

Procedimiento:

- Compactar el suelo dentro del molde, en 5 capas iguales, cada una golpeada 25 veces con un mazo de 4,54 kg, desde 45,7 cm.
- Nivelar, limpiar el borde y pesar el molde y el contenido.
- Extraer una muestra para determinar el contenido de humedad por secado al horno.
- Para cada subconjunto/humedad, repita el proceso.
- Determinar la densidad seca de cada ciclo y graficar la curva Proctor.
- Identificar el punto más alto (máxima densidad seca y humedad óptima).

4. Ensayo CBR (California Bearing Ratio)

El ensayo CBR (California Bearing Ratio) es una de las pruebas más comunes en ingeniería vial para establecer la capacidad portante de suelos y materiales de construcción de subrasantes y capas de afirmado.

Su propósito es medir la resistencia a la penetración de un pistón normalizado en el suelo inalterado o compactado.

Según (RD N° 18_2014_MTC_14. Manual de Ensayo de Materiales).

Se tomará 25 kg para el ensayo CBR por cada vía.

Procedimiento general

- Preparación de la muestra:

El suelo, previamente identificado y clasificado, es secado, desmenuzado y se mezcla si es necesario con estabilizantes (como la ceniza de eucalipto, en este estudio), hasta obtener una composición homogénea.

- **Compactación:**

La muestra se introduce en el molde CBR y se compacta en capas, aplicando la energía de compactación determinada (Proctor estándar o modificado) para simular las condiciones de obra.

- **Curado (si aplica):**

En el caso de suelos estabilizados, las muestras pueden almacenarse por un período controlado (24–96 horas) para evaluar posibles reacciones y obtener resultados más representativos.

- **Saturación:**

Algunas muestras se someten a saturación previa para simular condiciones desfavorables de humedad en el campo.

- **Prueba de penetración:**

Se aplica una carga vertical a través de un pistón con velocidad constante, midiendo el esfuerzo necesario para penetrar el suelo a profundidades específicas (normalmente 2,5 mm y 5 mm).

3.8.5 Obtención, tratamiento y mezcla de la ceniza de eucalipto

Se elaboraron mezclas controladas de suelo con ceniza de eucalipto en proporciones del 5%, 7% y 9% en peso, asegurando una dispersión homogénea antes de los ensayos mecánicos.

Según (UNE-EN ISO 18122:2023 Biocombustibles sólidos), sostiene que:

Selección de la ceniza de eucalipto

✓ Obtención del eucalipto:

Se recolectó troncos de eucalipto proveniente de la misma provincia de Moho, asegurándose de usar restos limpios, libres de contaminantes orgánicos o inorgánicos.

✓ Proceso de calcinación:

El eucalipto se quemó en condiciones semi controladas de temperatura entre 600 – 800 °C. Según Es el rango más utilizado en investigaciones de cenizas vegetales para estabilización de suelos se produce una ceniza más estable y generalmente más rica en óxidos (SiO_2 , CaO , K_2O). en un horno ladrillero ubicado en la salida a Arequipa (sector Chullunquiani), por un tiempo de 5 horas consecutivas, obteniéndose una ceniza en forma de carbón, fina, homogénea y de color gris oscuro.

✓ Triturado y tamizado:

Después de la calcinación, se realizó la extracción de la ceniza en forma de carbón, lo que posteriormente se trituro manualmente con comba, hasta obtener tamaños más finos de material, finalmente se tamizó las cenizas usando el bloque de tamices finos desde la malla N° 4, y para el presente estudio, se empleó el material pasante la malla N° 200, el cual se almaceno y se empleó en las pruebas de laboratorio.

Proceso de Tratamiento del Material

1. Dosificación de la ceniza de eucalipto

- Se calcularon porcentajes de ceniza de eucalipto respecto al peso del suelo seco: 5%, 7% y 9%, siguiendo estudios previos de estabilización (antecedentes de investigación),

lo que sugiere la adición en relación al peso seco de la muestra a estabilizar y según la cantidad de ensayos a realizarse.

- La ceniza de eucalipto utilizada fue previamente tamizada hasta pasar completamente por la malla N° 200 (abertura de 0.075 mm), de acuerdo con las recomendaciones de la norma ASTM y buenas prácticas de estabilización de suelos.
- La cantidad de ceniza necesaria para cubrir los ensayos de la investigación, se dan de la siguiente manera:

Tabla 4*Cantidad ceniza de eucalipto*

Cantidad de ceniza de eucalipto		
Adición	Cantidad de material de subrasante para los ensayos (kg)	Cantidad ceniza de eucalipto (kg)
5% Ceniza de Eucalipto	60 x 3(*)	1.95
7% Ceniza de Eucalipto	60 x 3(*)	2.73
9% Ceniza de Eucalipto	60 x 3(*)	3.51
	Cantidad del material (kg)	8.19 kg

(*) Cantidad de vías.

Para el estudio la cantidad de ceniza de eucalipto empleada fue de 8.19 kg. mientras que la cantidad conseguida aproximada fue de 10 kg. ceniza de eucalipto.

Proceso de Aplicación del Material Utilizado

1. Mezcla y homogeneización

- La mezcla del suelo con los distintos porcentajes de ceniza se realizó manualmente y mediante herramientas de laboratorio, realizando movimientos circulares y longitudinales hasta obtener una masa uniforme y sin zonas grumosas.

Figura 7*Ceniza de Eucalipto*



- Después de la mezcla homogénea para cada grupo de experimentación, se agregó agua gradualmente, y mediante las pruebas de proctor se estableció la humedad óptima.
- Finalmente se reparte el procedimiento para las pruebas de CBR, cabe indicar que las mezclas homogéneas con cenizas de eucalipto se realizan para la cantidad requerida de material para Proctor Modificado y CBR.

3.8.6 Importancia en la investigación

Se realizó un análisis comparativo para identificar tendencias y la dosificación óptima de la ceniza de eucalipto. Finalmente, se validaron los resultados mediante comparación con especificaciones técnicas y literatura relevante.

En esta tesis, el ensayo CBR se emplea para comparar la capacidad de soporte de:

- Suelo natural (sin tratamiento).
- Estimar el espesor de afirmado en las vías seleccionadas.
- Suelo estabilizado con ceniza de eucalipto en diferentes proporciones.

Esta comparación permite establecer el efecto real de la incorporación de la ceniza de eucalipto sobre las características mecánicas del suelo y fundamentar el diseño del espesor del afirmado requerido para las vías rurales en la provincia de Mocho.

La relevancia técnica del resultado del ensayo CBR es fundamental en el diseño y dimensionamiento de pavimentos no rígidos, ya que un mayor valor de CBR indica un suelo



con mejor capacidad de soporte, lo que generalmente permite una reducción del espesor del afirmado requerido y, en consecuencia, una optimización técnica y económica del proyecto vial.

3.9 Procesamiento de datos

Los datos obtenidos se analizaron mediante estadística descriptiva y comparativa, elaborando gráficos de tendencia y tablas comparativas por rango y dosis. Se utilizaron ecuaciones de diseño estructural según el CBR y el espesor óptimo del afirmado en función de la carga de diseño. Los análisis abarcan aspectos de eficiencia técnica, económica y ambiental de la estabilización con ceniza de eucalipto en la zona.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Este capítulo presenta los resultados de la investigación. Se evaluaron las propiedades geotécnicas y mecánicas del suelo de subrasante antes y después de estabilizarlo con ceniza de eucalipto en distintas proporciones, considerando las características de las vías rurales. Para ello, se realizó la caracterización física y mecánica del suelo, determinando la capacidad de soporte (CBR), densidad seca máxima y humedad óptima. Posteriormente, se estabilizó el suelo con diferentes porcentajes de ceniza de eucalipto, analizando su efecto sobre la capacidad de soporte. Con los valores de CBR obtenidos y el tránsito vehicular estimado, se calculó el espesor de afirmado requerido según la normativa del MTC. Los resultados identifican el porcentaje óptimo de ceniza de eucalipto que mejora el rendimiento mecánico de la subrasante y proporcionan criterios técnicos para el diseño de capas estructurales en vías no pavimentadas en Moho.

4.1 Resultados.

a) Tamizado del material:

A continuación, se muestra las granulometrías de los materiales extraídos de la capa del suelo de subrasante:

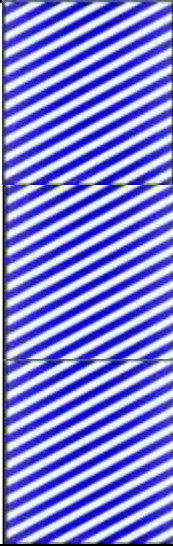
Tabla 5

Análisis granulométrica de la vía – 1

Tamices ASTM	Peso Retenido	% Que Pasa
3/8"	100,00	96,00
No4	97,30	92,11
No10	96,90	88,23
No20	96,70	84,36
No40	96,30	80,51
No 50	96,30	76,66
No100	91,60	73,00
No200	87,50	69,50
BASE	1737,40	0,00
TOTAL	2500,00	
% PERDIDA	69,50	

Figura 8

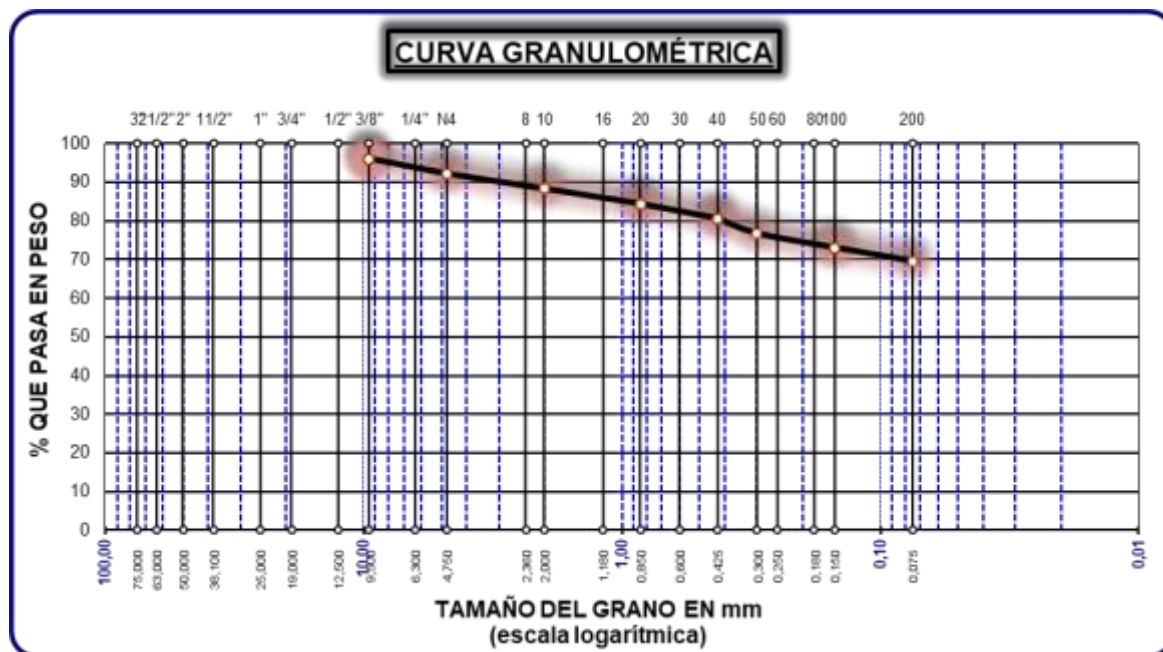
Perfil estratigráfico – Calicata 1 – Vía 1

PROF. (m)	MUESTRA	CLASIF. SUCS	DESCRIPCIÓN	SIMBOLO
0.10	CALICATA-01	CH	ARCILLA DE ALTA PLASTICIDAD	
0.20				
0.30				
0.40				
0.50				
0.60				
0.70				
0.80				
0.90				
1.00				
1.10				
1.20				
1.30				
1.40				
1.50				

Perfil estratigráfico: Calicata 1: 1.50 metros de profundidad de la vía 1, indica una arcilla de alta plasticidad.

Figura 9

Curva granulométrica de la vía - 1



La curva granulométrica, representada en escala logarítmica, ilustra la distribución del tamaño de partículas a través del porcentaje de material que pasa por cada tamiz.

Tabla 6

Análisis granulométrica de la Vía – 2

Tamices ASTM	Peso Retenido	% Que Pasa
3/8"	96.20	96,00
No4	95.52	92,15
No10	97.51	88,33
No20	95.58	84,43
No40	95.16	80,61
No 50	90.26	76,80
No100	88.47	73,19
No200	1741,40	69,65
BASE	2500,00	0,00
TOTAL	69,65	
% PERDIDA	96.20	

Figura 10

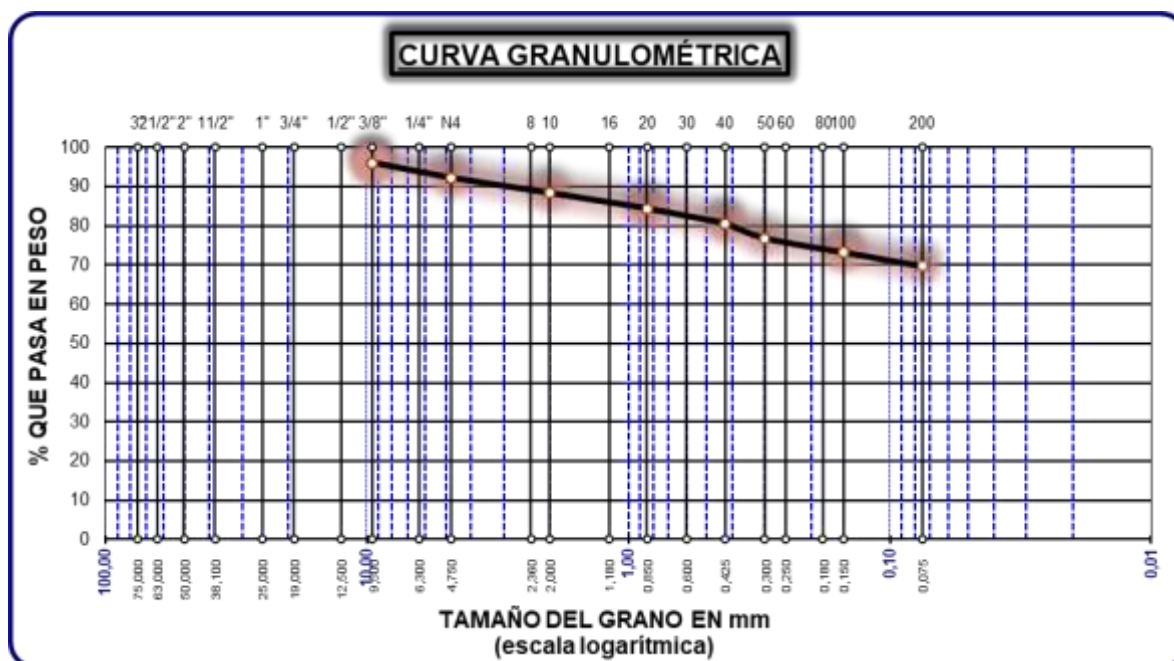
Perfil estratigráfico – Calicata 2 – Vía 2

PROF. (m)	MUESTRA	CLASIF. SUCS	DESCRIPCIÓN	SIMBOLO
0.10	CALICATA-02	CH	ARCILLA DE ALTA PLASTICIDAD	
0.20				
0.30				
0.40				
0.50				
0.60				
0.70				
0.80				
0.90				
1.00				
1.10				
1.20				
1.30				
1.40				
1.50				

Perfil estratigráfico: Calicata 2: 1.50 metros de profundidad de la vía 2, indica una arcilla de alta plasticidad.

Figura 11

Curva granulométrica de la Vía - 2



La curva refleja cómo se distribuyen las partículas según su tamaño, lo que es esencial para determinar la calidad y la estabilidad del material utilizado en la construcción.

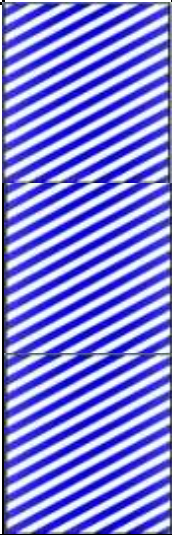
Tabla 7

Análisis granulométrica de la Vía – 3

Tamices ASTM	Peso Retenido	% Que Pasa
3/8"	100,00	96,00
No4	96,50	92,14
No10	96,40	88,28
No20	96,50	84,42
No40	95,32	80,61
No 50	96,10	76,77
No100	90,85	73,13
No200	88,10	69,61
BASE	1740,23	0,00
TOTAL	2500,00	
% PERDIDA	69,61	

Figura 12

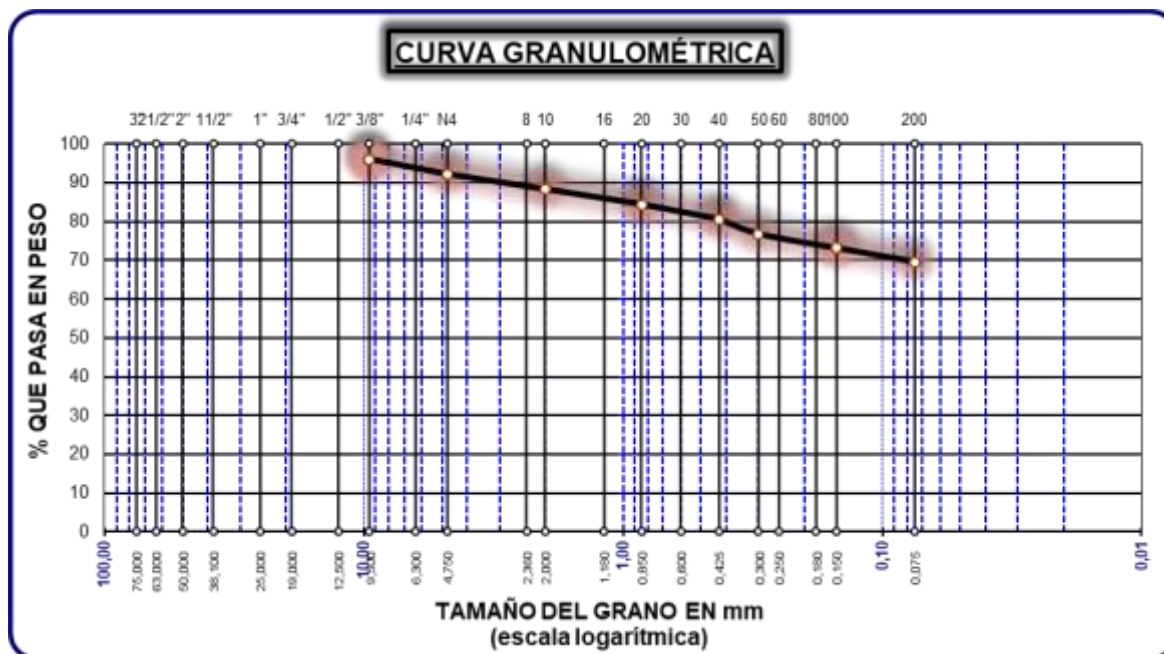
Perfil estratigráfico – Calicata 3 – Vía 3

PROF. (m)	MUESTRA	CLASIF. SUCS	DESCRIPCIÓN	SIMBOLO
0.10	CALICATA-03	CH	ARCILLA DE ALTA PLASTICIDAD	
0.20				
0.30				
0.40				
0.50				
0.60				
0.70				
0.80				
0.90				
1.00				
1.10				
1.20				
1.30				
1.40				
1.50				

Perfil estratigráfico: Calicata 3: 1.50 metros de profundidad de la vía 3, indica una arcilla de alta plasticidad.

Figura 13

Curva granulométrica de la Vía - 3



Los valores de porcentaje de paso para cada tamaño de grano y la pérdida porcentual del material indican las características del material en términos de su composición y su idoneidad para ser utilizado en la construcción de la vía.

b) Humedad:

Tabla 8

Humedad de las muestras de suelos.

Contenido de humedad	
Muestras	Humedad (%)
Vía – 01	17.71
Vía – 02	17.77
Vía – 03	17.67

Los resultados indican los valores porcentuales de humedad para cada muestreo: Vía 01 con 17.71%, Vía 02 con 17.77% y Vía 03 con 17.67%. Estos datos son importantes para evaluar las condiciones de los suelos, ya que la humedad influye en las cualidades y la capacidad de compactación de los materiales.

c) Índice de plasticidad:

Tabla 9

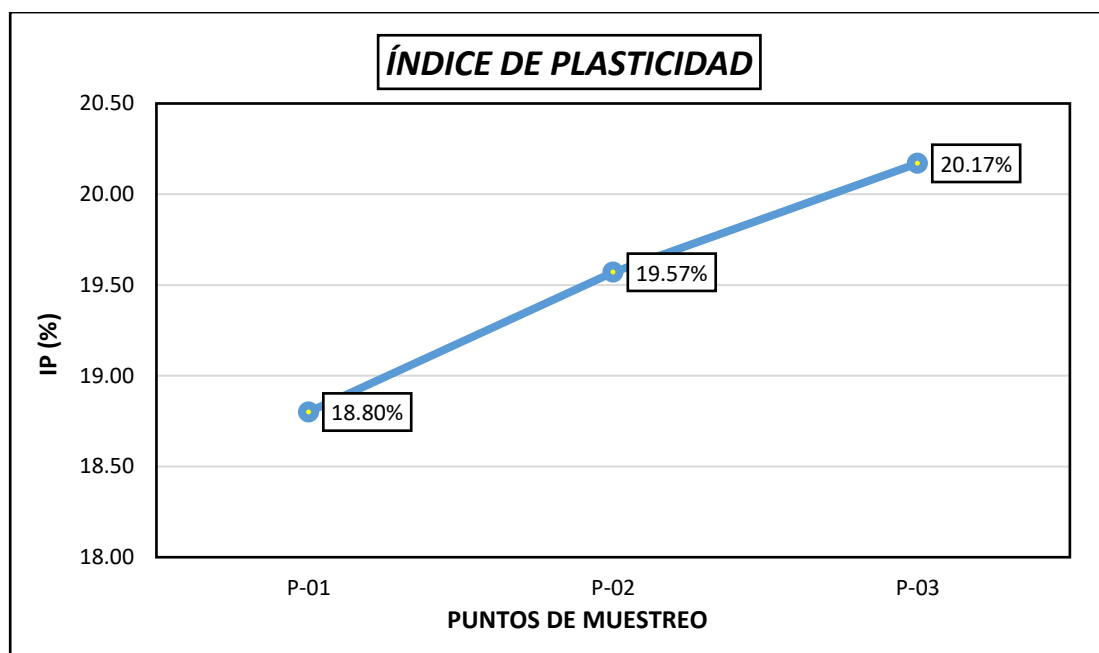
Límites de consistencia de los puntos de muestreo.

Muestreo	Límites		
	"LL" (%)	"LP" (%)	"IP" (%)
Vía – 01	30.94	13.21	18.80
Vía – 02	32.73	13.16	19.57
Vía – 03	33.38	13.21	20.17

Los valores obtenidos indican la plasticidad del suelo, con la (LL) variando entre 30.94% y 33.38%, el (LP) entre 13.16% y 13.21%, y el (IP) entre 18.80% y 20.17%. Estos parámetros son fundamentales para determinar el comportamiento del suelo ante cambios en el contenido de agua y su aptitud para la construcción de obras viales.

Figura 14

Índice de plasticidad del muestreo



Este gráfico es útil para visualizar cómo varía la capacidad de deformación del suelo en función de los cambios en la humedad y su comportamiento frente a esfuerzos mecánicos.

Tabla 10*Clasificación SUCS – Vías 1, 2 y 3*

Vía	Clasificación SUCS	Descripción
Vía 1	CH	Arcilla De Alta Plasticidad
Vía 2	CH	Arcilla De Alta Plasticidad
Vía 3	CH	Arcilla De Alta Plasticidad

Este tipo de suelo se caracteriza por una alta capacidad de deformación antes de fracturarse, siendo sensible a los cambios de humedad. Los suelos "CH" pueden presentar problemas de estabilidad y comportamiento en proyectos de construcción vial, especialmente en condiciones de humedad variable.

Tabla 11*Clasificación AASHTO de las Subrasantes – Vías 1, 2 y 3*

Vía	Clasificación AASHTO	Descripción según norma
1	A - 7	Suelo Arcilloso De Baja Calidad, Con Alta Plasticidad
2	A - 7	Suelo Arcilloso De Baja Calidad, Con Alta Plasticidad
3	A - 7	Suelo Arcilloso De Baja Calidad, Con Alta Plasticidad

Este tipo de suelo se caracteriza por ser arcilloso, con baja calidad para la construcción vial debido a su alta plasticidad, lo que puede generar problemas de deformación y estabilidad. Los suelos clasificados como "A-7" requieren tratamiento o estabilización para mejorar su desempeño en proyectos de pavimentación. Esta clasificación es clave para determinar la necesidad de intervención en el diseño de la infraestructura vial.

4.1.1 CBR del suelo de subrasante existente de las vías

Tabla 12

Relación densidad seca y humedad optima (compactación suelo natural)

Tramo	Densidad seca (gr/cm3)	Humedad (%)
Vía 1	1.791	8.03
Vía 2	1.813	7.97
Vía 3	1.773	8.08

Se aprecia que después de realizar el ensayo de compactación de la vía 1, vía 2 y vía 3 se obtuvo una relación entre la densidad seca (gr/cm3) y la humedad (%); vía 1 de 1.791gr/cm3 y 8.03%; vía 2 de 1.813gr/cm3 y 7.97%; vía 3 de 1.773gr/cm3 y 8.08% respectivamente.

Tabla 13

CBR – vía 1 – suelo natural

RESULTADOS CBR - SUELO NATURAL - VÍA 1	
Máxima Densidad Seca (Gr/Cm3.)	1.791
Óptimo Contenido De Humedad (%)	8.03
CBR:100% M.D.S(%)	5.47
CBR:95% M.D.S(%)	
AASHTO	A-7
SUCS	CH

Se aprecia que después de realizar el ensayo de CBR de la vía 1 se aprecian los resultados de CBR al 100% de máxima densidad seca de 5.47%, y el CBR al 95% de su máxima densidad seca de 4.74%, respectivamente.

Tabla 14*CBR – vía 2 – suelo natural*

RESULTADOS CBR - SUELO NATURAL - VÍA 2	
Máxima Densidad Seca (Gr/Cm3.)	1.813
Óptimo Contenido De Humedad (%)	7.97
CBR:100% M.D.S(%)	5.62
CBR:95% M.D.S(%)	
AASHTO	A-7
SUCS	CH

Se aprecia que después de realizar el ensayo de CBR de la vía 2 se aprecian los resultados de CBR al 100% de M.D.S. de 5.62%, y el CBR al 95% de su M.D.S. de 4.60%, respectivamente

Tabla 15*CBR – vía 3 – suelo natural*

RESULTADOS CBR - SUELO NATURAL - VÍA 3	
Máxima Densidad Seca (Gr/Cm3.)	1.773
Óptimo Contenido De Humedad (%)	8.08
CBR:100% M.D.S(%)	4.27
CBR:95% M.D.S(%)	
AASHTO	A-7
SUCS	CH

Se aprecia que después de realizar el ensayo de CBR de la vía 3 se aprecian los resultados de CBR al 100% de M.D.S. de 4.27%, y el CBR al 95% de su M.D.S. de 3.26%, respectivamente.

Tabla 16

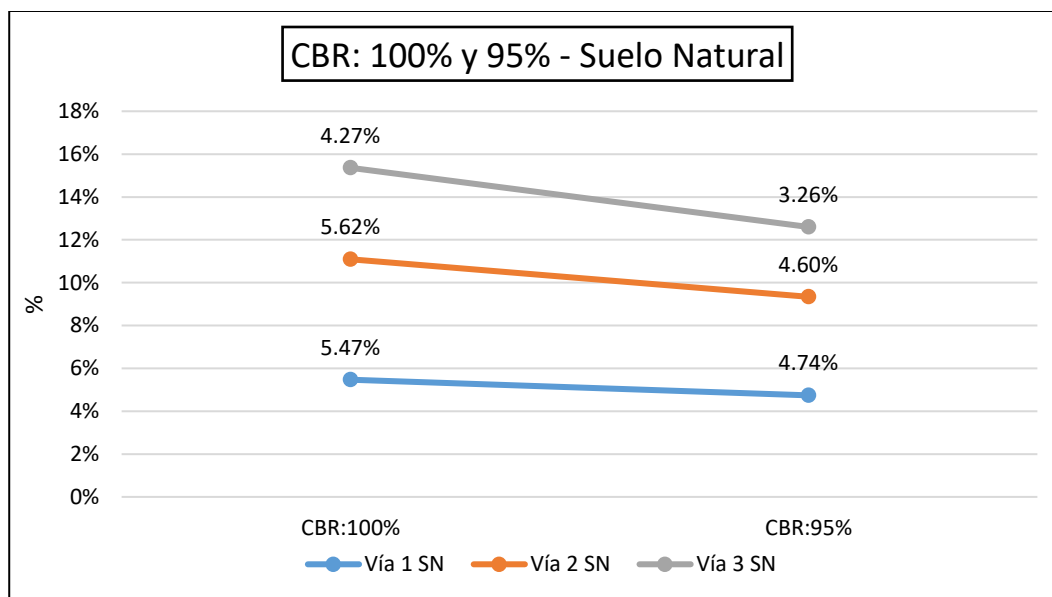
CBR al 100% y 95% de suelo natural, Vía 1, Vía 2, Vía 3

	Vía 1 Suelo natural	Vía 2 Suelo natural	Vía 3 Suelo natural
CBR 100% MDS	5.47%	5.62%	4.27%
CBR 95% MDS	4.74%	4.60%	3.26%

Los resultados indican que la Vía 2 presenta el mayor valor de CBR al 100% (5.62%) y la Vía 3 el más bajo (4.27%). Al compactar al 95%, la Vía 1 y Vía 2 tienen valores similares, mientras que la Vía 3 muestra un CBR significativamente más bajo (3.26%). Estos datos son fundamentales para evaluar la capacidad de soporte de las subrasantes y su desempeño en la construcción de vías.

Figura 15

Representación gráfica de CBR de suelo natural de las Vías 1, 2 y 3



Se puede apreciar los índices de CBR al 95% y 100% de su máxima densidad seca las cuales oscilan de entre; vía 1: 4.74% hasta 5.47%; vía 2: 4.60% hasta 5.62%; vía 3: 3.26% hasta 4.27%; considerando esta investigación se tomará los CBR al 95%; las cuales son vía 1 de 4.74%, vía 2 de 4.60%, vía 3 de 3.26%, respectivamente.

4.1.2 Influencia de la adición de ceniza de eucalipto

COMPACTACIÓN – VÍA 1

Tabla 17

Grado de compactación del suelo natural estabilizada de la vía 1

Tramo	Densidad seca (gr/cm3)	Humedad (%)
Vía 1 (5% de ceniza de eucalipto)	1.979	7.73
Vía 1 (7% de ceniza de eucalipto)	2.108	8.06
Vía 1 (9% de ceniza de eucalipto)	2.051	8.12

Se obtuvo una relación entre la densidad seca (gr/cm3) y la humedad (%); vía 1 (5% CE) de 1.979gr/cm3 y 7.73%; vía 1(7% CE) de 2.108gr/cm3 y 8.06%; vía 1 (9% CE) de 2.051gr/cm3 y 8.12% respectivamente.

CBR – suelo + 5% de ceniza de eucalipto – Vía 1

Tabla 18

CBR – vía 1 – suelo + 5% de ceniza de eucalipto

RESULTADOS CBR - SUELO + 5% CENIZA DE EUCALIPTO - VÍA 1	
Máxima Densidad Seca (Gr/Cm3.)	1.979
Óptimo Contenido De Humedad (%)	7.74%
CBR:100% M.D.S(%)	7.64
CBR:95% M.D.S(%)	
AASHTO	A-2-6
SUCS	SC

Se aprecia que después de realizar el ensayo de CBR de la vía 1 con 5% de ceniza de eucalipto se aprecian los resultados de CBR al 100% de M.D.S. de 7.64%, y el CBR al 95% de su M.D.S. de 6.11%, respectivamente.

CBR – suelo + 7% de ceniza de eucalipto – Vía 1**Tabla 19***CBR – vía 1 – suelo + 7% de ceniza de eucalipto*

RESULTADOS CBR - SUELO + 7% CENIZA DE EUCALIPTO - VÍA 1	
Máxima Densidad Seca (Gr/Cm3.)	2.108
Óptimo Contenido De Humedad (%)	8.06%
CBR:100% M.D.S(%)	14.77
CBR:95% M.D.S(%)	
AASHTO	A-2-6
SUCS	SP-SC

Se aprecia que después de realizar el ensayo de CBR de la vía 1 con 7% de ceniza de eucalipto se aprecian los resultados de CBR al 100% de M.D.S. de 14.77%, y el CBR al 95% de su M.D.S. de 11.99%, respectivamente.

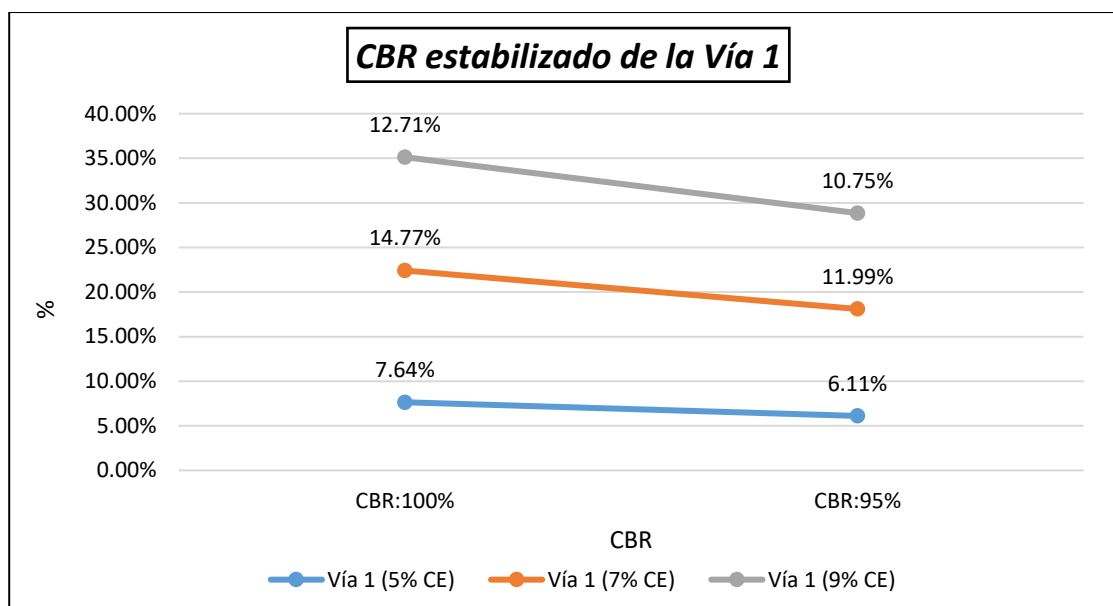
CBR – suelo + 9% de ceniza de eucalipto – Vía 1**Tabla 20***CBR – vía 1 – suelo + 9% de ceniza de eucalipto*

RESULTADOS CBR - SUELO + 9% CENIZA DE EUCALIPTO - VÍA 1	
Máxima Densidad Seca (Gr/Cm3.)	2.051
Óptimo Contenido De Humedad (%)	8.12%
CBR:100% M.D.S(%)	12.71
CBR:95% M.D.S(%)	
AASHTO	A-2-6
SUCS	SC

Se aprecia que después de realizar el ensayo de CBR de la vía 1 con 9% de ceniza de eucalipto se aprecian los resultados de CBR al 100% de M.D.S. de 12.71%, y el CBR al 95% de su M.D.S. de 10.75%, respectivamente.

Figura 16

Representación gráfica del CBR estabilizado de la vía 1



Se observa un incremento significativo del CBR conforme aumenta el porcentaje de ceniza, alcanzando los valores más altos con 9% (12.71% al 100% y 10.75% al 95%). La reducción general del CBR al compactar al 95% también se evidencia en todas las dosificaciones.

Tabla 21

Grado de compactación del suelo natural estabilizada de la vía 2

Tramo	Densidad seca (gr/cm3)	Humedad (%)
vía 2 (5% de ceniza de eucalipto)	1.979	7.73
vía 2 (7% de ceniza de eucalipto)	2.108	8.06
vía 2 (9% de ceniza de eucalipto)	2.051	8.12

Se observa un aumento en la densidad seca a medida que se incrementa el porcentaje de ceniza, alcanzando 2.108 gr/cm³ con 7% de ceniza. La humedad óptima también aumenta ligeramente, siendo 8.12% con el 9% de ceniza.

CBR – suelo + 5% de ceniza de eucalipto – Vía 2**Tabla 22***CBR – vía 2 – suelo + 5% de ceniza de eucalipto*

RESULTADOS CBR - SUELO + 5% CENIZA DE EUCALIPTO - VÍA 2	
Máxima Densidad Seca (Gr/Cm3.)	1.979
Óptimo Contenido De Humedad (%)	7.73%
CBR:100% M.D.S(%)	7.66
CBR:95% M.D.S(%)	
AASHTO	A-2-6
SUCS	SC

Se aprecia que después de realizar el ensayo de CBR de la vía 2 con 5% de ceniza de eucalipto se aprecian los resultados de CBR al 100% de M.D.S. de 7.66%, y el CBR al 95% de su M.D.S. de 6.12%, respectivamente.

CBR – suelo + 7% de ceniza de eucalipto – Vía 2**Tabla 23***CBR – vía 2 – suelo + 7% de ceniza de eucalipto*

RESULTADOS CBR - SUELO + 7% CENIZA DE EUCALIPTO - VÍA 2	
Máxima Densidad Seca (Gr/Cm3.)	2.108
Óptimo Contenido De Humedad (%)	8.06%
CBR:100% M.D.S(%)	14.81
CBR:95% M.D.S(%)	
AASHTO	A-2-6
SUCS	SC

Se aprecia que después de realizar el ensayo de CBR de la vía 2 con 7% de ceniza de eucalipto se aprecian los resultados de CBR al 100% de M.D.S. de 14.81%, y el CBR al 95% de su M.D.S. de 12.04%, respectivamente.

CBR – suelo + 9% de ceniza de eucalipto – Vía 2

Tabla 24

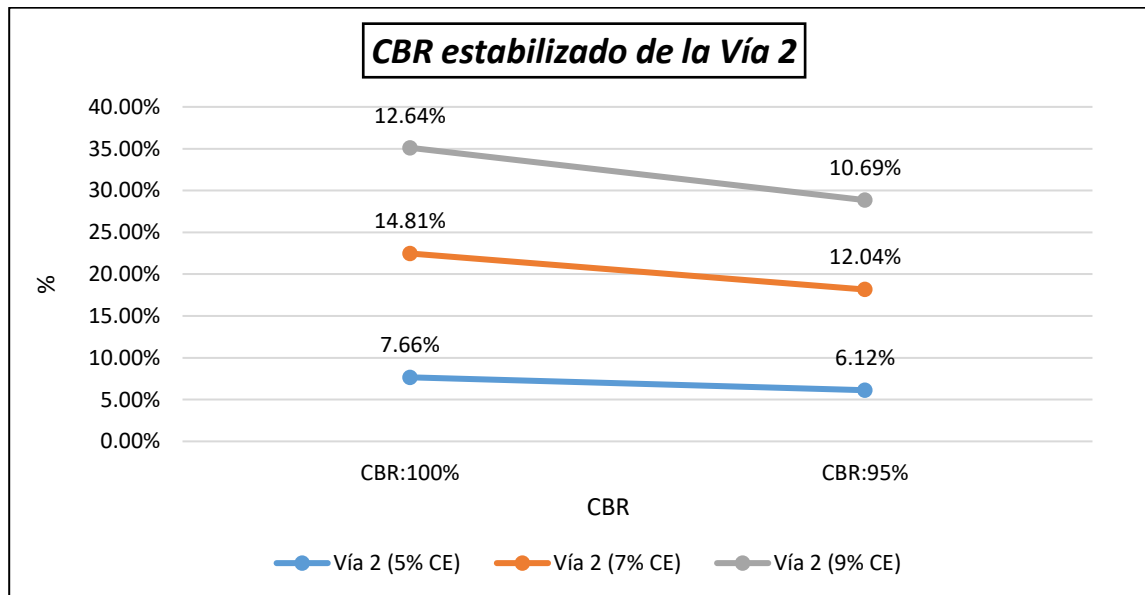
CBR – vía 2 – suelo + 9% de ceniza de eucalipto

RESULTADOS CBR - SUELO + 9% CENIZA DE EUCALIPTO - VÍA 2	
Máxima Densidad Seca (Gr/Cm3.)	2.051
Óptimo Contenido De Humedad (%)	8.12%
CBR:100% M.D.S(%)	12.64
CBR:95% M.D.S(%)	10.69
AASHTO	A-2-6
SUCS	SC

Se aprecia que después de realizar el ensayo de CBR de la vía 2 con 9% de ceniza de eucalipto se aprecian los resultados de CBR al 100% de M.D.S. de 12.64%, y el CBR al 95% de su M.D.S. de 10.69%, respectivamente.

Figura 17

Representación gráfica del CBR estabilizado de la vía 2



Se observa un aumento en el CBR con el 5% de ceniza, alcanzando 12.64% al 100% y 7.66% al 95%. A medida que se incrementa la ceniza, el CBR disminuye, con el 9% de ceniza mostrando valores de 10.69% al 100% y 6.12% al 95%.

Tabla 25*Grado de compactación del suelo natural estabilizada de la vía 3*

Tramo	Densidad seca (gr/cm3)	Humedad (%)
vía 3 (5% de ceniza de eucalipto)	1.979	7.73
vía 3 (7% de ceniza de eucalipto)	2.108	8.06
vía 3 (9% de ceniza de eucalipto)	2.051	8.12

Se aprecia que después de realizar el ensayo de compactación de la vía 3 con adición de ceniza de eucalipto en 5%, 7% y 9% se obtuvo una relación entre la densidad seca (gr/cm3) y la humedad (%); vía 3(5% de ceniza de eucalipto) de 1.979gr/cm3 y 7.73%; vía 3(7% de ceniza de eucalipto) de 2.108gr/cm3 y 8.06%; vía 3 (9% de ceniza de eucalipto) de 2.051gr/cm3 y 8.12% respectivamente.

CBR – suelo + 5% de ceniza de eucalipto – Vía 3**Tabla 26***CBR – vía 3 – suelo + 5% de ceniza de eucalipto*

RESULTADOS CBR - SUELO + 5% CENIZA DE EUCALIPTO - VÍA 3	
Máxima Densidad Seca (Gr/Cm3.)	1.979
Óptimo Contenido De Humedad (%)	7.73%
CBR:100% M.D.S(%)	7.65
CBR:95% M.D.S(%)	
AASHTO	A-2-6
SUCS	SC

Se aprecia que después de realizar el ensayo de CBR de la vía 3 con 5% de ceniza de eucalipto se aprecian los resultados de CBR al 100% de M.D.S. de 7.65%, y el CBR al 95% de M.D.S. de 6.09%, respectivamente.

CBR – suelo + 7% de ceniza de eucalipto – Vía 3**Tabla 27***CBR – vía 3 – suelo + 7% de ceniza de eucalipto*

RESULTADOS CBR - SUELO + 7% CENIZA DE EUCALIPTO - VÍA 3	
Máxima Densidad Seca (Gr/Cm3.)	2.108
Óptimo Contenido De Humedad (%)	8.06%
CBR:100% M.D.S(%)	14.78
CBR:95% M.D.S(%)	
AASHTO	A-2-6
SUCS	SC

Se aprecia que después de realizar el ensayo de CBR de la vía 3 con 7% de ceniza de eucalipto se aprecian los resultados de CBR al 100% de M.D.S. de 14.78%, y el CBR al 95% de su M.D.S. de 12.02%, respectivamente.

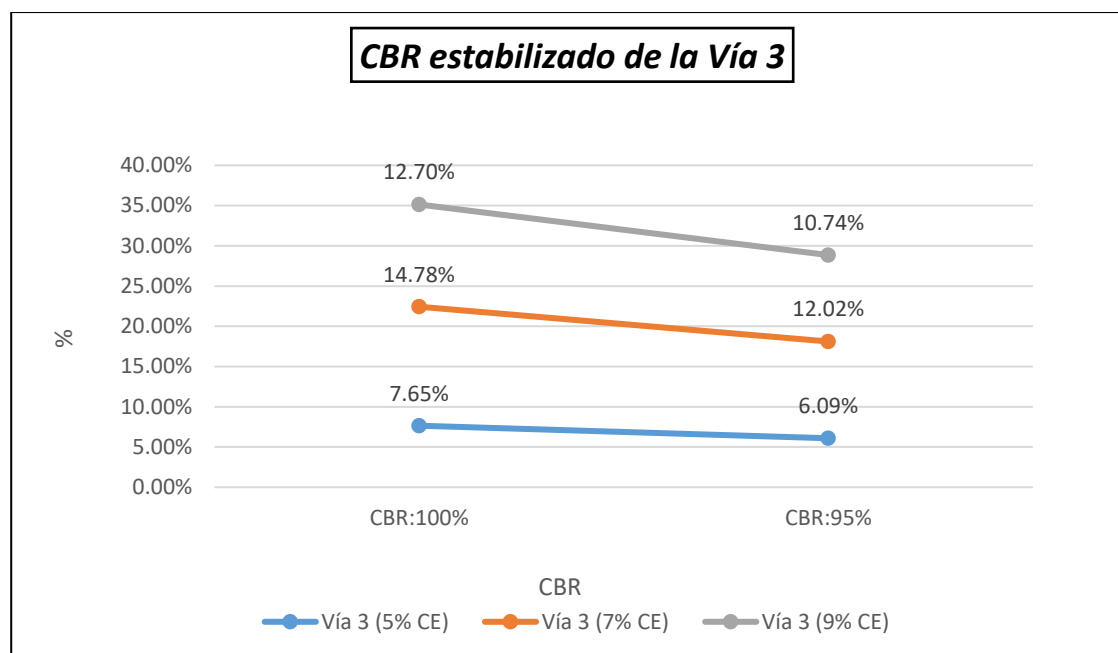
CBR – suelo + 9% de ceniza de eucalipto – Vía 3**Tabla 28***CBR – vía 3 – suelo + 9% de ceniza de eucalipto*

RESULTADOS CBR - SUELO + 9% CENIZA DE EUCALIPTO - VÍA 3	
Máxima Densidad Seca (Gr/Cm3.)	2.051
Óptimo Contenido De Humedad (%)	8.12%
CBR:100% M.D.S(%)	12.70
CBR:95% M.D.S(%)	10.74
AASHTO	A-2-6
SUCS	SC

Se aprecia que después de realizar el ensayo de CBR de la vía 3 con 9% de ceniza de eucalipto se aprecian los resultados de CBR al 100% de M.D.S. de 12.70%, y el CBR al 95% de su M.D.S. de 10.74%, respectivamente.

Figura 18

Representación gráfica del CBR estabilizado de la vía 3



Se observa un aumento del CBR al 100% con el 5% de ceniza (12.70%) y una disminución a medida que aumenta la cantidad de ceniza, alcanzando 10.74% con el 9% de ceniza. Al compactar al 95%, el CBR también disminuye, con un valor de 6.09% para el 9% de ceniza.

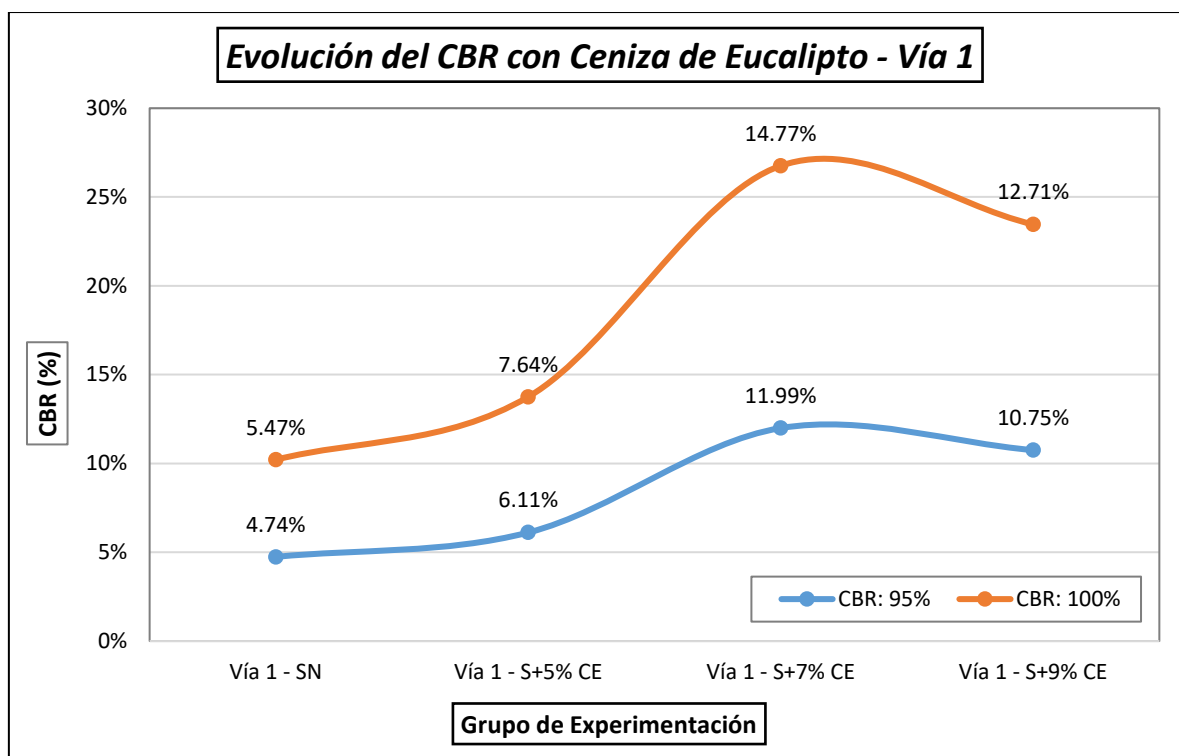
Tabla 29

Comparativa de la evolución del CBR para la vía 1

Vía 1: Chaca Lequeña – P. Jojoría	CBR al 100% MDS	CBR al 100% MDS
Vía 1 – Suelo natural	4.74%	5.47%
Vía 1 - Suelo+5% CE	6.11%	7.64%
Vía 1 - Suelo+7% CE	11.99%	14.77%
Vía 1 - Suelo+9% CE	10.75%	12.71%

Figura 19

Representación de la evolución del CBR para la vía 1



Se observa un aumento significativo del CBR al 100% al agregar ceniza, alcanzando 11.99% con 7% de ceniza, mientras que al compactar al 95%, el CBR máximo se da con el 7% de ceniza (14.77%). La gráfica muestra cómo la adición de ceniza mejora la capacidad de soporte del suelo, destacando la influencia de los diferentes porcentajes de ceniza en el rendimiento mecánico de la subrasante.

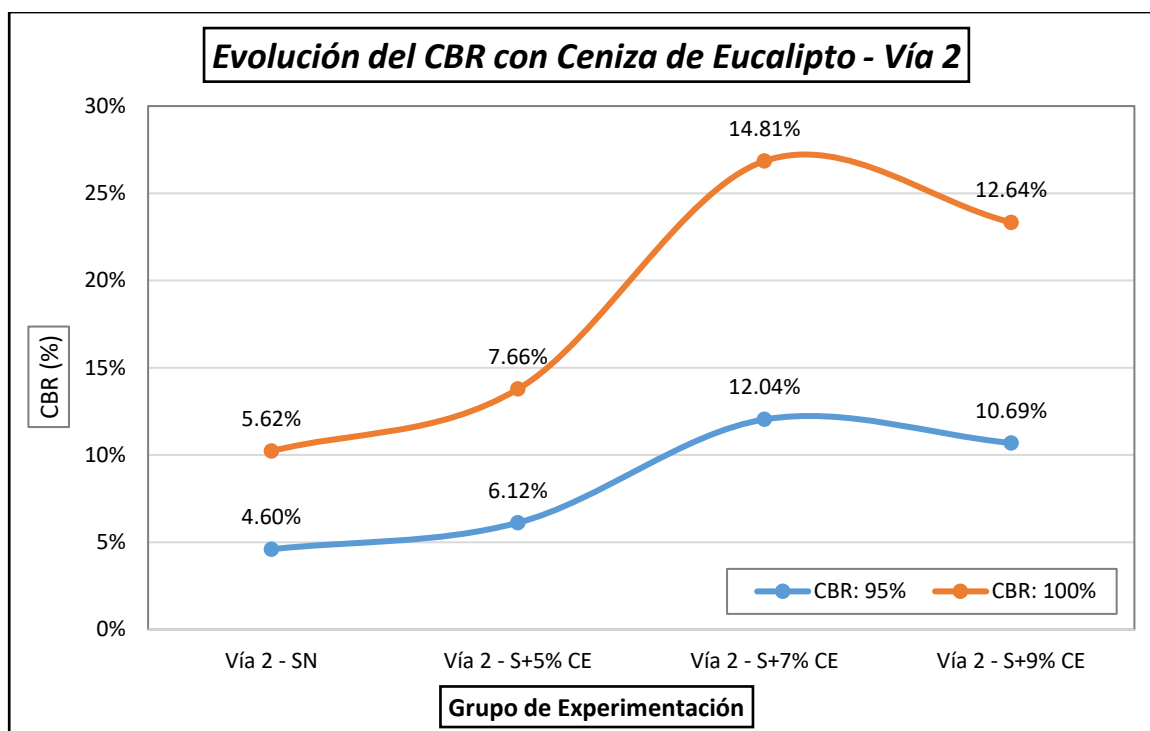
Tabla 30

Comparativa de la evolución del CBR para la vía 2

Vía 2: Moho – Cheje Cheje	CBR al 100% MDS	CBR al 100% MDS
Vía 2 – Suelo natural	4.60%	5.62%
Vía 2 - Suelo+5% CE	6.12%	7.66%
Vía 2 - Suelo+7% CE	12.04%	14.81%
Vía 2 - Suelo+9% CE	10.69%	12.64%

Figura 20

Representación de la evolución del CBR para la vía 2

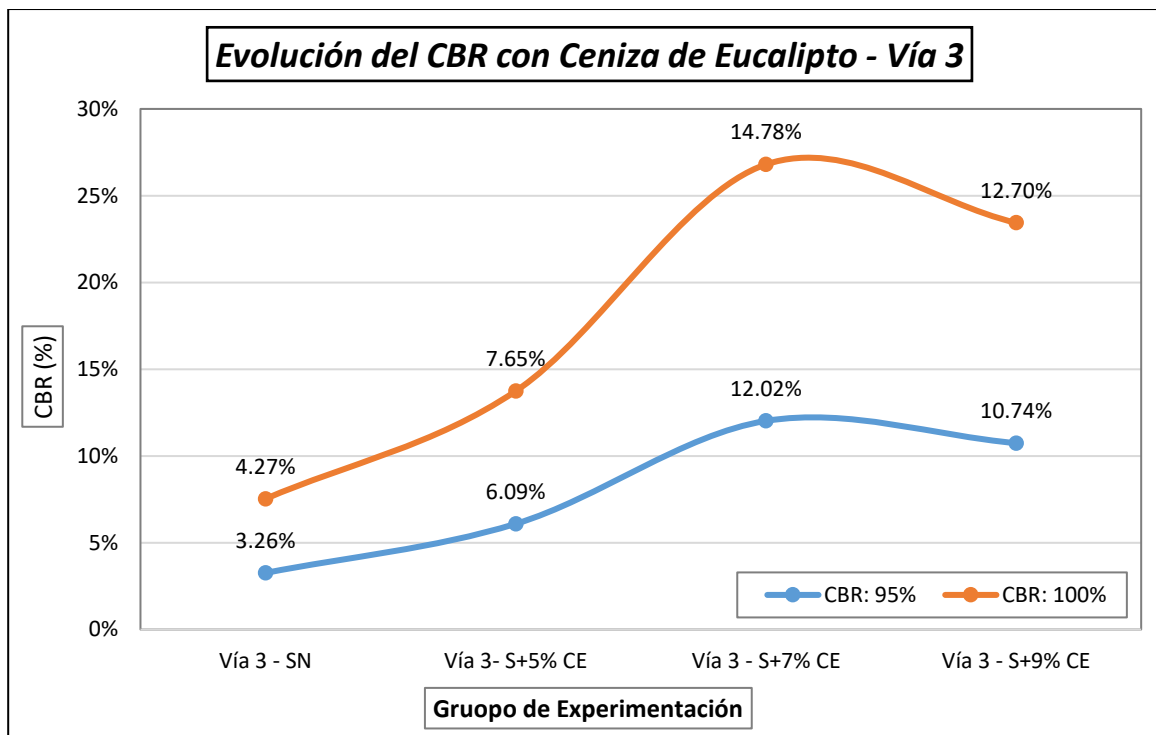


Se observa un aumento significativo del CBR al 100% al agregar ceniza, alcanzando un valor de 12.04% con 7% de ceniza. Al compactar al 95%, el CBR máximo también se alcanza con 7% de ceniza, con un valor de 14.81%. Estos resultados destacan la mejora en la capacidad de soporte del suelo estabilizado con ceniza de eucalipto, evidenciando su efecto positivo en las propiedades geotécnicas del material.

Tabla 31

Comparativa de la evolución del CBR para la vía 3

Vía 3: Moho – Lloquesani	CBR al 100% MDS	CBR al 100% MDS
Vía 3 – Suelo natural	3.26%	4.27%
Vía 3- Suelo+5% CE	6.09%	7.65%
Vía 3 - Suelo+7% CE	12.02%	14.78%
Vía 3 - Suelo+9% CE	10.74%	12.70%

Figura 21*Representación de la evolución del CBR para la vía 3*

Se observa un incremento en el CBR al 100% con la adición de ceniza, alcanzando 12.02% con 7% de ceniza. Al compactar al 95%, el CBR más alto también se presenta con 7% de ceniza, con un valor de 14.78%. Estos resultados destacan el efecto positivo de la ceniza de eucalipto en la capacidad de soporte del suelo, lo que mejora su desempeño en la construcción de vías.

4.1.3 Espesor del afirmado mediante estabilización de subrasante

La estimación de los espesores de afirmado resultantes tras la estabilización de subrasante, se da de la siguiente manera:

Tabla 32

Factores de crecimiento, valor aplicado

Parámetros	Valor aplicado	Cálculo
Factor de crecimiento (FC)	1.15	136.56
Factor estacional y de corrección	1.25	170.70
IMDA estimado final	—	≈ 170 ejes equivalentes/día

El IMDA estimado final es aproximadamente 170 ejes equivalentes por día, lo que refleja la influencia de los factores de crecimiento y corrección en la estimación del tráfico vehicular.

Tabla 33

Clasificación según MTC

Categoría MTC	Rango IMDA (ejes/día)	Clasificación
T1	> 200	Alto tránsito
T2	51 – 200	Tránsito medio/bajo
T3	≤ 50	Tránsito local/muy bajo

Se presenta la clasificación del tráfico según el MTC, basada en el Índice de Movilidad Diaria Acelerada (IMDA). Con un IMDA estimado de 170 ejes/día, la clasificación final corresponde a tránsito medio/bajo (T2), lo que indica una carga de tráfico moderada en la vía evaluada.

- **Normativa aplicada:** Manual de Carreteras - Suelos, Geotecnia y Pavimentos del MTC
- **Tipo de vía:** Camino rural e interurbano de la provincia de Moho
- **Tránsito considerado:** IMDA estimado = 200 ejes equivalentes/día

Tabla 34*Estimación global de ejes equivalentes Vía 1, Vía 2, Vía 3*

Tipo de vehículo	Cantidad estimada por día	Factor de conversión a ejes equivalentes	Ejes equivalentes por día
Motocicletas	40	0.0	0.0
Mototaxis	25	0.0	0.0
Autos / station wagon	15	0.25	3.75
Camionetas / 4x4	20	0.50	10.00
Camiones livianos (2 ejes)	15	1.00	15.00
Camiones medianos (2–3 ejes)	10	2.00	20.00
Buses rurales / escolares	10	1.50	15.00
Camiones pesados (4–5 ejes)	10	4.00	40.00
Vehículos agrícolas y otros	15	1.00	15.00
Total, ejes equivalentes/día	—	—	118.75

Se detallan los vehículos como motocicletas, autos, camionetas, camiones livianos, medianos y pesados, buses y vehículos agrícolas, con sus respectivas cantidades diarias y factores de conversión. El total de ejes equivalentes por día es de 118.75, lo que permite evaluar el impacto del tránsito vehicular en el diseño y la capacidad de las vías.

Estimación de Nrep

Resumen del cálculo (verificación)

- Días año = 365
- Fines de semana = 104 (52 semanas × 2)
- Días restantes = 365 – 104 = 261
- Días festivos/feriados a descontar = 25 (*)

(*)18 nacionales + 7 locales/municipales

- **18 días festivos nacionales:** Año Nuevo, Jueves Santo, Viernes Santo, Día del Trabajo, Fiesta Patrias (2 días), Santa Rosa, Señor de los Milagros, Todos los Santos, Inmaculada Concepción, Navidad, y otros días nacionales o feriados móviles.
- **7 días locales/municipales:** ferias locales, fiestas patronales del distrito/provincia, asuntos municipales, fiestas cívicas regionales, o días administrativos específicos del municipio.

Total, de días hábiles 236 días

$N_{rep} = (\text{total de ejes equivalente/día}) \times (\text{días hábiles})$

$N_{rep} = (118.75) \times (236)$

$N_{rep} = 28025 \text{ (Error } \pm 20 \text{ repeticiones)} / 28005 < \mathbf{28010} > 28025$

$N_{rep} = 28010$

La estimación de los espesores de afirmado, se da bajo la metodología del Ministerio de Transportes y Comunicaciones del 2014, dentro de ellos se hace la utilización del método de NAASRA.

Cálculo de los espesores por CBR

$$e = [219 - 211 * (\log CBR) + 58 * (\log CBR)^2] * \log \left(\frac{28010}{120} \right)$$

Tabla 35*Espesores del afirmado – Vía 1*

Suelo	CBR (%)	Espesor (cm)
Suelo natural	4.74	24.37
Suelo + 5% CE	6.11	21.07
Suelo + 7% CE	11.99	13.94
Suelo + 9% CE	10.75	14.94

Se observa que el espesor del afirmado disminuye con el aumento de la cantidad de ceniza, pasando de 24.37 cm para el suelo natural a 13.94 cm para el suelo con 7% de ceniza. Esto refleja cómo el aumento del CBR con la estabilización mejora la capacidad de soporte del suelo, reduciendo el espesor necesario para el afirmado.

Tabla 36*Espesores calculados y espesor estimado según MTC – Vía 1*

Suelo	Espesor calculado	Espesor a considerar
Suelo natural	24.37 cm	15 cm
Suelo + 5% Ceniza de eucalipto	21.07 cm	15 cm
Suelo + 7% Ceniza de eucalipto	13.94 cm	15 cm
Suelo + 9% Ceniza de eucalipto	14.94 cm	15 cm

Los espesores calculados varían según el CBR de la subrasante, por lo que los valores de espesor más cercanos a los recomendados por el MTC son 13.94 cm y 14.94 cm, con 7% y 9% de CE respectivamente, estableciéndose un espesor de 15 cm para la vía en general. Esto refleja el cumplimiento de los requisitos del MTC para garantizar la estabilidad y capacidad de carga para la vía 1.

Tabla 37*Espesores del afirmado – Vía 2*

Suelo	CBR (%)	Espesor (cm)
Suelo natural	4.60	24.78
Suelo + 5% Ceniza de eucalipto	6.12	21.05
Suelo + 7% Ceniza de eucalipto	12.04	13.91
Suelo + 9% Ceniza de eucalipto	10.69	14.99

Se observa que el espesor del afirmado disminuye con el aumento de la cantidad de ceniza, pasando de 24.78 cm para el suelo natural a 13.91 cm para el suelo con 7% de ceniza. Esto refleja cómo el aumento del CBR con la estabilización mejora la capacidad de soporte del suelo, reduciendo el espesor necesario para el afirmado.

Tabla 38*Espesores calculados y espesor estimado según MTC – Vía 2*

Suelo	Espesor calculado	Espesor a considerar
Suelo natural	24.78 cm	15 cm
Suelo + 5% Ceniza de eucalipto	21.05 cm	15 cm
Suelo + 7% Ceniza de eucalipto	13.91 cm	15 cm
Suelo + 9% Ceniza de eucalipto	14.99 cm	15 cm

Los espesores calculados varían según el CBR de la subrasante, por lo que los valores de espesor más cercanos a los recomendados por el MTC son 13.91 cm y 14.99 cm, con 7% y 9% de CE respectivamente, estableciéndose un espesor de 15 cm para la vía en general. Esto refleja el cumplimiento de los requisitos del MTC para garantizar la estabilidad y capacidad de carga para la vía 2.

Tabla 39*Espesores del afirmado – Vía 3*

Suelo	CBR (%)	Espesor (cm)
Suelo natural	3.26	29.84
Suelo + 5% Ceniza de eucalipto	6.09	21.11
Suelo + 7% Ceniza de eucalipto	12.02	13.92
Suelo + 9% Ceniza de eucalipto	10.74	14.95

Se observa que el espesor del afirmado disminuye con el aumento de la cantidad de ceniza, pasando de 29.84 cm para el suelo natural a 13.92 cm para el suelo con 7% de ceniza. Esto refleja cómo el aumento del CBR con la estabilización mejora la capacidad de soporte del suelo, reduciendo el espesor necesario para el afirmado.

Tabla 40*Espesores calculados y espesor estimado según MTC – Vía 3*

Suelo	Espesor calculado	Espesor a considerar
Suelo	29.84 cm	15 cm
Suelo + 5% Ceniza de eucalipto	21.11 cm	15 cm
Suelo + 7% Ceniza de eucalipto	13.92 cm	15 cm
Suelo + 9% Ceniza de eucalipto	14.95 cm	15 cm

Los espesores calculados varían según el CBR de la subrasante, por lo que los valores de espesor más cercanos a los recomendados por el MTC son 13.92 cm y 14.95 cm, con 7% y 9% de CE respectivamente, estableciéndose un espesor de 15 cm para la vía en general. Esto refleja el cumplimiento de los requisitos del MTC para garantizar la estabilidad y capacidad de carga para la vía 3.

4.2 Discusión de resultados

Comparación con Antecedentes Internacionales

Tus resultados muestran que el 7% de ceniza de eucalipto incrementó el CBR de la subrasante hasta aproximadamente 12% en diferentes vías. Noorak et al. (2025) reportaron incluso mejoras más sobresalientes, alcanzando un CBR de 70% y multiplicando 12 veces la resistencia a la compresión al emplear ceniza de eucalipto y cemento, en suelos arcillosos-arenosos pobres. Aunque el aumento en Suelos de Moho no llega a ese umbral, se confirma claramente la tendencia de incremento de soporte identificado internacionalmente, atribuido en ambas investigaciones a los efectos puzolánicos y a la formación de hidratos de silicato de calcio.

Lhajai et al. (2025) también destacan el potencial de las mezclas óptimas de ceniza de eucalipto y cemento, donde un 10% de ceniza alcanzó CBR de 47%. Tu investigación, aunque sin adición de cemento, encuentra sus valores máximos alrededor del 7% de ceniza, observando que dosificaciones superiores no producen mayores beneficios, lo cual coincide con la "zona óptima" mencionada en estos estudios internacionales para maximizar economía y rendimiento estructural.

Por otro lado, Dabou et al. (2021) encontraron incrementos espectaculares en CBR (hasta 348%) al reemplazar parcialmente el cemento por ceniza de eucalipto en suelos lateríticos, reforzando la validez de emplear la ceniza como agente estabilizante de bajo costo, pero señalando que el óptimo se halla en mezclas balanceadas y que una dosificación excesiva no es eficiente.

Comparación con Antecedentes Nacionales

Tus valores de CBR (8 a 12% ya optimizado) son comparables y coherentes con lo encontrado por Gonzales (2023) en Huari, quien obtuvo con 5% de ceniza de hoja de eucalipto aumentos de CBR al 95% hasta el 13% y al 100% hasta el 20%, así como notables mejoras en densidad seca y reducción de plasticidad. El resultado en Moho confirma así la tendencia de que la dosificación de entre 5% y 7% de ceniza es la más

eficiente ambos estudios señalan caída de rendimientos al adicionar más ceniza, reforzando la importancia de la dosificación óptima. Gonzales (2023).

Gavancho y Baltazar (2022) en Junín registraron mejoras aún superiores (CBR 385% con 10% de ceniza), pero advierten que el efecto puede ser más o menos notorio dependiendo de las características específicas de cada suelo, factor observado también en tu trabajo: el efecto positivo es marcadamente mayor en suelos con mayor necesidad de estabilización, como los arcillosos de Moho. Además, ambas investigaciones muestran una reducción conjunta del índice de plasticidad y un incremento en el módulo de resiliencia, aspectos que dan sustento mecánico a la reducción de los espesores de afirmado necesaria para vías rurales.

Santiago (2023) destaca que la incorporación simultánea de ceniza y cemento genera mejoras sustanciales en densidad, plasticidad y resistencia al corte, siendo el tratamiento de suelos cohesivos con aditivos (ceniza, cemento) óptimo para garantizar desempeño estructural duradero incluso en condiciones de humedad variable, reflejando nuevamente similares conclusiones para el contexto andino y suelos de Moho.

Comparación con Antecedentes Locales

Quispe (2024) en Juliaca (Puno) reportó aumentos de CBR de 6% a más de 8% con la adición de 4-12% de ceniza de eucalipto, además de disminuciones notables en el índice de plasticidad, lo que evidencia que en la región sur andina el uso de ceniza mejora la resistencia y reduce la expansividad y plasticidad de los suelos. Tu investigación, logrando un CBR óptimo con 7% de ceniza, sigue la misma tendencia, con ventajas concretas en la rehabilitación de subrasantes arcillosas de baja calidad.

Asimismo, otros estudios regionales Condori (2024); Pequeña y Sánchez (2024) han comprobado que la utilización de cenizas vegetales reduce costos y mejoran sensiblemente las propiedades mecánicas de la subrasante, aportando alternativas ecológicas y económicas que coinciden plenamente con la orientación y alcance de tu trabajo.

CONCLUSIONES

General, la incorporación del 7% de ceniza de eucalipto en la subrasante de las vías rurales de Moho incrementó significativamente el CBR del suelo, alcanzando valores óptimos para el diseño de un afirmado más resistente y eficiente. Este porcentaje de adición mejoró la capacidad portante de la subrasante y permitió reducir los espesores requeridos del afirmado, optimizando así el desempeño estructural y la economía del proyecto vial.

Primera, los suelos de subrasante evaluados en las tres vías de la provincia de Moho presentan CBR bajos, entre 3.26% y 4.74% al 95% de la MDS, clasificándose como A-2-6 según AASHTO y como arenas arcillosas (SC y SP-SC) según el SUCS. Estos resultados confirman su limitada capacidad de soporte y la necesidad de aplicar técnicas de estabilización para garantizar un mejor desempeño estructural de las vías.

Segunda, la incorporación de ceniza de eucalipto elevó de manera notable la capacidad de soporte de la subrasante, identificándose el 7% como el contenido óptimo al alcanzar CBR entre 11.99% y 12.04% al 95% de la MDS. Este valor triplica la capacidad inicial del suelo, mientras que dosis mayores, como el 9%, generan una ligera disminución del CBR. Por ello, el 7% de ceniza se confirma como la proporción ideal para optimizar el afirmado y mejorar el desempeño estructural de la vía.

Tercera, la estabilización de la subrasante con 7% de ceniza de eucalipto elevó el CBR lo suficiente para que los espesores de afirmado calculados, considerando 28 010 repeticiones de carga, se aproximen a 13.92 cm en las tres vías evaluadas. Dado que este valor se encuentra muy cercano al espesor mínimo establecido por el MTC, se recomienda adoptar un afirmado de 15 cm, garantizando así una estructura vial eficiente, segura y conforme a la normativa vigente para las condiciones de la provincia de Moho.

RECOMENDACIONES

Primera, se recomienda explorar el uso de ceniza de eucalipto en diferentes porcentajes y condiciones geotécnicas, realizar estudios de durabilidad a largo plazo, y evaluar el impacto socioambiental y económico de su implementación en otros contextos viales rurales. Así se podrá optimizar su aplicación y replicabilidad en proyectos de infraestructura sostenible.

Segunda, se recomienda ampliar el estudio a otros tipos de suelos presentes en la provincia de Moho y evaluar la incidencia de diferentes porcentajes de ceniza de eucalipto en su capacidad de soporte. También es esencial realizar evaluaciones a largo plazo del comportamiento mecánico y ambiental de los suelos estabilizados para confirmar su durabilidad y sostenibilidad.

Tercera, para validar el contenido óptimo de ceniza de eucalipto (7%), se recomienda realizar pruebas adicionales en distintas condiciones climáticas y con tránsito diverso, considerando también la interacción con otros estabilizantes naturales o residuales. Además, comparar los efectos de ceniza de diferentes especies de eucalipto podría aportar datos relevantes para futuras aplicaciones.

Cuarta, se recomienda efectuar monitoreo estructural de los afirmados ejecutados con ceniza de eucalipto durante varios años, verificando su desempeño real bajo cargas vehiculares y condiciones ambientales de Moho. Asimismo, una evaluación de costos y beneficios socioambientales proporcionará bases más sólidas para la adopción masiva de esta alternativa en programas de infraestructura vial rural.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Carrasco, J. (2024). Muestreo en investigaciones científicas: principios y aplicaciones. Editorial Universitaria. <https://editorialuniversitaria.edu.pe/libros/muestreo-en-investigaciones-cientificas>
- Chinkhuntha, W. Owayo, A. y Ambassah, N. (2024). Performance Evaluation of Red Clay Soils stabilized with Bluegum Sawdust Ash and Sisal Fiber as Low-Volume Road Sub-base Materials. *Engineering, Technology y Applied Science Research*, 14(6), 18105-18113. <https://doi.org/10.48084/etasr.8772>
- Condori Mamani, L. K. (2024). Incidencia de la ceniza Lemna gibba en las propiedades físico-mecánicas de la subrasante en la avenida Andrés Avelino Cáceres de la ciudad de Juliaca, Puno, 2023. Universidad Continental. <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/16241>
- Cristobal Gavancho, F. P. y Quinte Baltazar, M. M. (2022). Estabilización de subrasante con cenizas de eucalipto, paraje turístico Piedra Parada, Concepción, Junín 2021.
- Cutipa Machicado, A. A. (2024). Mejoramiento de la capacidad de soporte de la subrasante con incorporación de ceniza de carbón para la reducción de espesor de afirmado de la Carretera Huatasani – Munaypa 2024.
- Dabou, B. Kanali, C. y Abiero-Gariy, Zachary. (2021). Structural Performance of Laterite soil Stabilised with Cement and Blue Gum (Eucalyptus Globulus) Wood Ash for Use as a Road base Material. *International Journal of Engineering Trends and Technology*, 69(9), 257-264. <https://doi.org/10.14445/22315381/IJETT-V69I9P231>
- Dabou, B. Kanali, C. y Abiero-Gariy, Zachary. (2021). Structural Performance of Laterite soil Stabilised with Cement and Blue Gum (Eucalyptus Globulus) Wood Ash for Use as a Road base Material. *International Journal of Engineering Trends and Technology*, 69(9), 257-264. <https://doi.org/10.14445/22315381/IJETT-V69I9P231>



- Estrada Bustamante, R. M. (2022). Suelos arenosos mejorados con fibras de acero y la influencia del CBR en pavimentos del A.H. Nueva Villa, Santa, Ancash, 2022. Repositorio Institucional - UCV. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/109221>
- Flores Jurado, M. N. (2023). Estabilización de subrasantes con cenizas de eucalipto y cal en caminos vecinales, carretera Mallan Bajo, Pasco 2022. Universidad Peruana Los Andes. <http://repositorio.upla.edu.pe/handle/20.500.12848/6024>
- Gastiaburú Quinteros, C. A. (2023). Análisis de las características físicas y mecánicas del material de la cantera Las Tortolitas para el diseño de afirmados en vías secundarias en el caserío de Trapiche-distrito de Los Molinos—Ica, Ica. <https://hdl.handle.net/20.500.13028/6238>
- Gómez, M. M. (2006). Introducción a la metodología de la investigación científica. Editorial Brujas.
- Gonzales Ortega, W. B. (2023). Mejoramiento de la estabilización de la capa de rodadura a nivel de afirmado incorporando ceniza de hoja de eucalipto, Huari, 2023. Repositorio Institucional - UCV. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/135914>
- Gonzales Ortega, W. B. (2023). Mejoramiento de la estabilización de la capa de rodadura a nivel de afirmado incorporando ceniza de hoja de eucalipto, Huari, 2023. Repositorio Institucional - UCV. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/135914>
- Gonzales Rojas, M. Y. (2024). Diseño del afirmado estabilizando la subrasante con ceniza cáscara de café y líquido de musa paradisíaca, carretera Jaén – Virginia, Cajamarca 2023. Repositorio Institucional - UCV. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/143082>
- González, H. D. L. (2022). Metodología de la investigación: Propuesta, anteproyecto y proyecto. Ecoe Ediciones.



- Guadalupe, G. D. y Concepción, G. D. (2020). Metodología de la investigación. Grupo Editorial Patria.
- Hernández Sampieri, R. Fernández Collado, C. y Baptista Lucio, P. (2019). Metodología de la investigación (7ª ed.). McGraw-Hill.
- <https://www.mheducation.es/9786071512848/metodologia-de-la-investigacion>
- Jaime Romero, R. (2025). Influencia de la ceniza de eucalipto en las propiedades mecánicas del suelo arcilloso, en las vías de Huancán 2022. Repositorio Institucional - UPLA. <http://repositorio.upla.edu.pe/handle/20.500.12848/10444>
- Jamnongwong, M. Wongvatana, N. Noorak, A. Jongpradist, P. Chaiprakaikeow, S. y Jamsawang, P. (2025). Mechanical and Environmental Performance of Cement-Eucalyptus Ash Stabilized Dam Sediments for Sustainable Road Construction. International Journal of Geosynthetics and Ground Engineering, 11(3), 31. <https://doi.org/10.1007/s40891-025-00637-8>
- La Torre Flores, M. y Neira Picon, C. Y. (2025). Influencia de la escoria en la subrasante para el dimensionamiento del espesor del afirmado de la vía san isidro – Jaén 2023. <http://hdl.handle.net/20.500.14689/982>
- Martins, C. Rodrigues, D. Carlos, D. M. Macedo, J. y Pinho-Lopes, M. (2025). Characterization of Fluidized Bed Sands from the Forest Value Chain for Use on Unpaved Roads. En C. Rujikiatkamjorn, J. Xue, y B. Indraratna (Eds.), Proceedings of the 5th International Conference on Transportation Geotechnics (ICTG) 2024, Volume 5 (pp. 193-202). Springer Nature. https://doi.org/10.1007/978-981-97-8229-1_21
- Nangulama, H. K. y Kuotcha, W. (2025). Efficiency of Bagasse Ash Incorporated With Limestone Calcined Clay Cement on Improvement of Geotechnical Properties of Black Cotton Soils: A Cleaner Approach. Journal of Engineering, 2025(1), 2225558. <https://doi.org/10.1155/je/2225558>



- Niyomukiza, J. B. y Yasir, Y. (2023). Effects of Using Sawdust Ash as a Stabilizer for Expansive Soils. E3S Web of Conferences, 448, 03075. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202344803075>
- Otieno, M. Gariy, Z. y Kabubo, C. (2023). An Evaluation of the Performance of Lateritic Soil Stabilized with Cement and Biochars to be Used in Road Bases of Low-Volume Sealed Roads. Engineering, Technology y Applied Science Research, 13(4), 11366-11374. <https://doi.org/10.48084/etasr.6040>
- Otieno, M. Kabubo, C. y Gariy, Z. (2023). Mechanical and Structural Correlation of Lateritic Soil Road Base Stabilized with Cement and Selected Biochars. Engineering, Technology y Applied Science Research, 13(4), 11070-11077. <https://doi.org/10.48084/etasr.5973>
- Paitán, H. Ñ. (2014). Metodología de la investigación: Cuantitativa-cualitativa y redacción de la tesis. Ediciones De La U Ltda.
- Pequeña Huanuco, J. P. y Sanchez Perez, J. C. (2024). Diseño del pavimento afirmado adicionando cenizas de tallo de quinua y de aserrín a la subrasante, carretera Crucero-Oscoroque, Puno 2023. Repositorio Institucional - UCV. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/140651>
- RD N° 18_2014_MTC_14 Original_Aprueba Manual de Ensayo de Materiales.PDF. (s. f.). Recuperado 4 de diciembre de 2025, de https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/Manual%20Ensayo%20de%20Materiales.pdf
- Quispe Vilca, M. X. (2024). Estabilización de la subrasante en suelos arcillosos empleando cenizas de eucalipto en la avenida tasa de la Ciudad de Juliaca Provincia de San Román Región Puno. <https://repositorio.uancv.edu.pe/handle/UANCV/3458>
- Reyes, E. (2022). Metodologia de la Investigacion Cientifica. Page Publishing Inc.
- Rujikiatkamjorn, C. Xue, J. y Indraratna, B. (2024). Proceedings of the 5th International Conference on Transportation Geotechnics (ICTG) 2024, Volume 5: Unsaturated Subgrades, Recycled Materials, and Soft Subgrade Stability. Springer Nature.



Sampieri, R. H. (2018). METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN: LAS RUTAS CUANTITATIVA, CUALITATIVA Y MIXTA. McGraw-Hill Education.

Wongvatana, N. Lhajai, S. Poorahong, H. Jongpradist, P. y Jamsawang, P. (2025). Performance, environmental impact, and cost evaluation of eucalyptus ash-stabilised dam sediments for sustainable pavement engineering. International Journal of Pavement Engineering, 26(1), 2520028. <https://doi.org/10.1080/10298436.2025.2520028>

Wongvatana, N. Noorak, A. Jongpradist, P. y Jamsawang, P. (2025). Geotechnical Performance and Environmental Assessment of Eucalyptus Wood Ash–stabilized Sediment for Pavement Infrastructure. Transportation Infrastructure Geotechnology, 12(5), 145. <https://doi.org/10.1007/s40515-025-00600-0>

UNE-EN ISO 18122:2016 Biocombustibles sólidos. Determinación d... (s. f.). Recuperado 20 de noviembre de 2025, de <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0056486>

Wongvatana, N. Lhajai, S. Poorahong, H. Jongpradist, P. y Jamsawang, P. (2025). Performance, environmental impact, and cost evaluation of eucalyptus ash-stabilised dam sediments for sustainable pavement engineering. International Journal of Pavement Engineering, 26(1), 2520028. <https://doi.org/10.1080/10298436.2025.2520028>



ANEXOS



Anexo 1. Matriz de Consistencia

TÍTULO DE LA TESIS: INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DE CENIZA DE EUCALIPTO SOBRE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE Y SU EFECTO EN EL ESPESOR DE AFIRMADO DE VÍAS EN LA PROVINCIA DE MOHO 2025				
Problemas	Objetivos	Hipótesis	Variables	Inst. de Medición
Problema General: ¿Cuál es la influencia de la aplicación de ceniza de eucalipto sobre la capacidad de soporte de la subrasante y su efecto en el espesor de afirmado de vías en la provincia de Moho 2025?	Objetivo General: Evaluar la influencia de la incorporación de ceniza de eucalipto sobre la capacidad de soporte de la subrasante y su efecto en el espesor de afirmado de vías en la provincia de Moho 2025.	Hipótesis General: La influencia de la incorporación de ceniza de eucalipto sobre la capacidad de soporte de la subrasante y su efecto en el espesor de afirmado de vías en la provincia de Moho 2025, será positiva.	Variable Independiente Ceniza de eucalipto Dimensiones: <i>Proporciones de adición de ceniza de eucalipto en 5%, 7% y 9%</i>	Ficha de recolección
Problemas Específicos ¿Cuál es la capacidad relativa de soporte CBR del suelo de subrasante existente en vías en la provincia de Moho? ¿Cuál es la influencia de la adición de ceniza de eucalipto en cantidades controladas sobre la capacidad relativa de soporte de la subrasante en vías en la provincia de Moho? ¿Cuál es el espesor del afirmado resultante mediante estabilización de subrasante y la consideración de los ejes equivalentes actuales en vías en la provincia de Moho?	Objetivos Específicos Determinar la capacidad relativa de soporte CBR del suelo de subrasante existente en vías en la provincia de Moho Evaluar la influencia de la adición de ceniza de eucalipto en cantidades controladas sobre la capacidad relativa de soporte de la subrasante en vías en la provincia de Moho Determinar el espesor del afirmado resultante mediante estabilización de subrasante y la consideración de los ejes equivalentes actuales en vías en la provincia de Moho	Hipótesis Específicas La capacidad relativa de soporte CBR del suelo de subrasante existente en vías en la provincia de Moho, estará por debajo de las especificaciones mínimas de calidad, requiriendo estabilización. La influencia de la adición de ceniza de eucalipto en cantidades controladas mejorará la capacidad relativa de soporte de la subrasante en vías en la provincia de Moho El espesor del afirmado resultante mediante estabilización de subrasante y la consideración de los ejes equivalentes actuales en vías en la provincia de Moho, estará por debajo 15 cm que es lo recomendado.	Variable Dependiente <i>Capacidad Relativa de Soporte del Suelo de Subrasante</i> <i>Espesor de Afirmado.</i> Dimensiones: • CBR • IMDA	

Anexo 2. Panel fotográfico



Fotografía 1. Trituración de ceniza de eucalipto



Fotografía 2. Tamizado de ceniza de eucalipto por malla N° 200



Fotografía 3. Vía 1: Chaca Lequeña – Parcialidad de Jojoria



Fotografía 4. Vía 2: Cheje Cheje –Moho



Fotografía 5. Vía 3: Lloquesani –Moho



Fotografía 6. Extracción de muestras Vía 1



Fotografía 7. Extracción de muestras Vía 2



Fotografía 8. Extracción de muestras Vía



GEOTECNIA PUNO E.I.R.L.

MECÁNICA DE SUELOS - PAVIMENTOS - CIMENTACIONES - SUPERVISIÓN DE INGENIERÍA

Jr. Tahuamanu H-17 Urbanización Residencial Kollasuyo 1 Etapa Juliaca

Cel. 979000744-954879700 geotecniapunoenr@gmail.com



ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO (ASTM D422)

ENSAYOS ESTANDAR DE CLASIFICACIÓN (D422 - D2216 - D4318 - D427 - D2487)

PROYECTO : INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DE CENIZA DE EUCALIPTO SOBRE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE Y SU EFECTO EN EL ESPESOR DE AFIRMADO DE VIAS EN LA PROVINCIA DE MOHO 2025

SOLICITANTE : Bach. JESUS DANIEL TITO MAMANI

LUGAR : PROVINCIA DE MOHO

MUESTRA : MUESTRA 1 - VÍA 1

FECHA : 25 DE AGOSTO DEL 2025

TAMICES ASTM	ABERTURA mm	PESO RETENIDO	%RETENIDO PARCIAL	%RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	ESPECIF.	TAMAÑO MAXIMO: DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
3"	75.000						P.I.= 2500.00
2 1/2"	63.000						P.L.= 762.60
2"	50.000						P.P.= 1737.40
1 1/2"	38.100						%W= 17.71
1"	25.000						LIMITES DE CONSISTENCIA:
3/4"	19.000						L.L.= 32.02
1/2"	12.500						L.P.= 13.21
3/8"	9.500	100.00	4.00	4.00	96.00		L.P.= 18.80
1/4"	6.300						CARACT. GRANULOMÉTRICAS:
No4	4.750	97.30	3.89	7.89	92.11		D10= ---- Cu= ----
No8	2.360						D30= ---- Cc= ----
No10	2.000	96.90	3.88	11.77	88.23		
No16	1.180						CLASIFICACIÓN:
No20	0.850	96.70	3.87	15.64	84.36		I.G. = :
No30	0.600						SUCS : CH
No40	0.425	96.30	3.85	19.49	80.51		ASSTHO : A-7
No50	0.300	96.30	3.85	23.34	76.66		OBSERVACIONES:
No60	0.250						
No80	0.180						
No100	0.150	91.80	3.66	27.00	73.00		
No200	0.075	87.50	3.50	30.50	69.50		
BASE		1737.40	69.50	100.00	0.00		
TOTAL		2500.00	100.00				
% PERDIDA		69.50					



NOTA : LAS MUESTRAS FUERON PUESTAS EN LABORATORIO POR EL SOLICITANTE

GEOTECNIA PUNO E.I.R.L.
Ingeniería de Pavimentos, Geotecnia, Geodetecnia y Construcción

ALFREDO MARCON ATAHUACHI
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP 81732



PROYECTO : INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DE CENIZA DE EUCALIPTO SOBRE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE Y SU EFECTO EN EL ESPESOR DE AFIRMADO DE VÍAS EN LA PROVINCIA DE MOHO 2025

SOLICITANTE : Bach. JESUS DANIEL TITO MAMANI

LUGAR : PROVINCIA DE MOHO

MUESTRA : MUESTRA 1 - VÍA 1

FECHA : 25 DE AGOSTO DEL 2025

CONTENIDO DE HUMEDAD ASTM - D - 2216 - MTC - E 108

SUELO HUMEDO + TARRO	gr	91.27
SUELO SECO + TARRO	gr	81.18
PESO DEL TARRO	gr	24.21
PESO DEL AGUA	gr	10.09
PESO DEL SUELO SECO	gr	56.97
HUMEDAD %	%	17.71

LÍMITE LÍQUIDO - LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD ASTM - D424 D-4318 AASHTO - T90

LÍMITE LÍQUIDO

TARRO N°		T-04	T-10	T-19
SUELO HUMEDO + TARRO	gr	30.94	31.02	31.15
SUELO SECO + TARRO	gr	28.67	28.90	28.74
PESO DEL TARRO	gr	21.25	22.41	21.75
PESO DEL AGUA	gr	2.27	2.12	2.41
PESO DEL SUELO SECO	gr	7.42	6.49	6.99
HUMEDAD %	%	30.59	32.67	34.48
N° DE GOLPES	-	31	24	14

LÍMITE PLÁSTICO

T-14	T-15
18.23	18.19
17.13	16.97
8.12	8.39
1.10	1.22
9.01	8.58
12.21	14.22

LÍMITE LÍQUIDO % : 32.02

LÍMITE PLÁSTICO % : 13.21

ÍNDICE PLÁSTICO % : 18.80

$$LL = W_n * (N/25)^{0.121}$$

Donde:

LL = Límite Líquido

Wn = Contenido de Humedad Promedio (%)

N = Número de Golpes

GEOTECNIA PUNO E.I.R.L.
Ingeniería de Pavimentos, Gestión Consultoría y Construcción

ALFREDO ALARCON ATAHUACHI
INGENIERO CIVIL
Reg. CIR: 1737



PROYECTO

: INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DE CENIZA DE EUCALIPTO SOBRE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE Y SU EFECTO EN EL ESPESOR DE AFIRMACIÓN DE VÍAS EN LA PROVINCIA DE MOHO 2025

SOLICITANTE

: Bach. JESUS DANIEL TITO MAMANI

LUGAR

: PROVINCIA DE MOHO

MUESTRA

: MUESTRA 1 - VÍA 2

FECHA

: 25 DE AGOSTO DEL 2025

CONTENIDO DE HUMEDAD ASTM - D - 2216 - MTC - E 108

SUELO HUMEDO + TARRO	gr	91.29
SUELO SECO + TARRO	gr	81.17
PESO DEL TARRO	gr	24.21
PESO DEL AGUA	gr	10.12
PESO DEL SUELO SECO	gr	56.96
HUMEDAD %	%	17.77

LÍMITE LÍQUIDO - LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD ASTM - D424 D-4318 AASHTO - T90

LÍMITE LÍQUIDO

TARRO N°		T-04	T-10	T-19
SUELO HUMEDO + TARRO	gr	30.92	31.05	31.14
SUELO SECO + TARRO	gr	28.62	28.80	28.72
PESO DEL TARRO	gr	21.20	22.42	21.71
PESO DEL AGUA	gr	2.30	2.25	2.42
PESO DEL SUELO SECO	gr	7.42	6.38	7.01
HUMEDAD %	%	31.00	35.27	34.52
N° DE GOLPES	-	30	23	12

LÍMITE PLÁSTICO

T-14	T-15
18.21	18.18
17.12	16.96
8.11	8.38
1.09	1.22
9.01	8.58
12.10	14.22

LÍMITE LÍQUIDO % : 32.73

LÍMITE PLÁSTICO % : 13.16

ÍNDICE PLÁSTICO % : 19.57

$$LL = W_n * (N/25)^{0.121}$$

Donde:

LL = Límite Líquido

Wn = Contenido de Humedad Promedio (%)

N = Número de Golpes

GEOTECNIA PUNO E.I.R.L.
Ingeniería de Proyectos, Estudios de Factibilidad y Construcción

ALFREDO ALARCÓN ATAHUACHI
INGENIERO CIVIL
REG. CIP. 87732



GEOTECNIA PUNO E.I.R.L.

MECANICA DE SUELOS- PAVIMENTOS- CIMENTACIONES- SUPERVISION DE INGENIERIA

Jr. Tahuariaco N-17 Urbanización Residencial Kollasuyo I Etapa Juliaca
Cel. 979000744-954879700 geotecniapunoeirl@gmail.com

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO (ASTM D422)

ENSAYOS ESTANDAR DE CLASIFICACIÓN (D422 - D2216 - D4318 - D427 - D2487)

PROYECTO : INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DE CENIZA DE EUCALIPTO SOBRE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE Y SU EFECTO EN EL ESPESOR DE AFIRMADO DE VÍAS EN LA PROVINCIA DE MOHO 2025

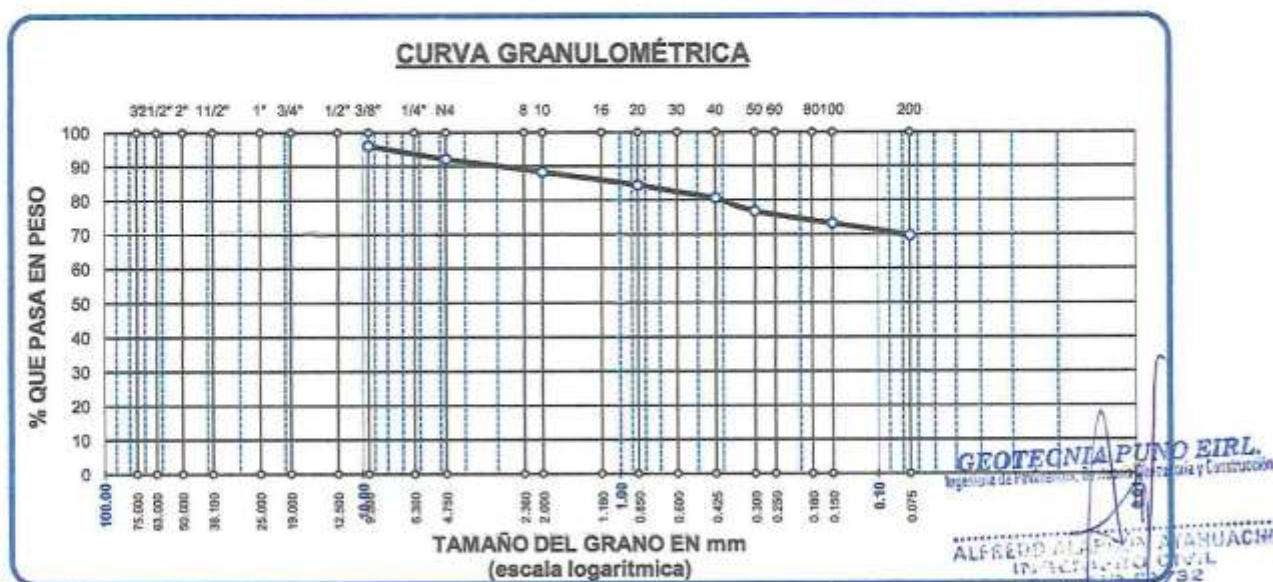
SOLICITANTE : Bach. JESUS DANIEL TITO MAMANI

LUGAR : PROVINCIA DE MOHO

MUESTRA : MUESTRA 1 - VÍA 2

FECHA : 25 DE AGOSTO DEL 2025

TAMICES ASTM	ABERTURA mm	PESO RETENIDO	%RETENIDO PARCIAL	%RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	ESPECIF.	TAMANO MAXIMO: DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
3"	75.000						P.L.= 2500.00
2 1/2"	63.000						P.L.= 758.70
2"	50.000						P.P.= 1741.30
1 1/2"	38.100						%W= 17.77
1"	25.000						LIMITES DE CONSISTENCIA:
3/4"	19.000						L.L.= 32.73
1/2"	12.500						L.P.= 13.16
3/8"	9.500	100.00	4.00	4.00	96.00		L.P.= 19.57
1/4"	6.300						CARACT. GRANULOMÉTRICAS:
No4	4.750	96.20	3.85	7.85	92.15		D10= --- Cu= ---
No8	2.360						D30= --- Cc= ---
No10	2.000	95.52	3.82	11.67	88.33		
No16	1.180						
No20	0.850	97.51	3.90	15.57	84.43		
No30	0.600						
No40	0.425	95.58	3.82	19.39	80.61		CLASIFICACIÓN:
No 50	0.300	95.16	3.81	23.20	76.80		I.G. = :
No60	0.250						SUCS : CH
No80	0.180						ASSTHO : A-7
No100	0.150	90.26	3.61	26.81	73.19		OBSERVACIONES:
No200	0.075	88.47	3.54	30.35	69.65		
BASE		1741.30	69.65	100.00	0.00		
TOTAL		2500.00	100.00				
% PERDIDA		69.65					



NOTA : LAS MUESTRAS FUERON PUESTAS EN LABORATORIO POR EL SOLICITANTE



GEOTECNIA PUNO E.I.R.L.

MECANICA DE SUELOS- PAVIMENTOS - CIMENTACIONES- SUPERVISIÓN DE INGENIERIA
Jr. Tiahuanaco H-17 Urbanización Residencial Kollasuyo 1 Etapa Juliaca
Cel : 979000744-954879700 geotecniapuneir@gmail.com



PROYECTO : INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DE CENIZA DE EUCALIPTO SOBRE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE Y SU EFECTO EN EL ESPESOR DE AFIRMADO DE VÍAS EN LA PROVINCIA DE MOHO 2025

SOLICITANTE : Bach. JESUS DANIEL TITO MAMANI

LUGAR : PROVINCIA DE MOHO

MUESTRA : MUESTRA 1 - VÍA 3

FECHA : 25 DE AGOSTO DEL 2025

CONTENIDO DE HUMEDAD ASTM - D - 2216 - MTC - E 108

SUELO HUMEDO + TARRO	gr	91.20
SUELO SECO + TARRO	gr	81.14
PESO DEL TARRO	gr	24.20
PESO DEL AGUA	gr	10.06
PESO DEL SUELO SECO	gr	56.94
HUMEDAD %	%	17.67

LÍMITE LÍQUIDO - LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD ASTM - D424 D-4318 AASHTO - T90

LÍMITE LÍQUIDO

TARRO N°		T-04	T-10	T-19
SUELO HUMEDO + TARRO	gr	30.90	31.09	31.11
SUELO SECO + TARRO	gr	28.64	28.70	28.73
PESO DEL TARRO	gr	21.24	22.42	21.72
PESO DEL AGUA	gr	2.26	2.39	2.38
PESO DEL SUELO SECO	gr	7.40	6.28	7.01
HUMEDAD %	%	30.54	38.06	33.95
N° DE GOLPES	-	29	23	13

LÍMITE PLÁSTICO

T-14	T-15
18.22	18.18
17.12	16.96
8.11	8.38
1.10	1.22
9.01	8.58
12.21	14.22

LÍMITE LÍQUIDO % : 33.38

LÍMITE PLÁSTICO % : 13.21

ÍNDICE PLÁSTICO % : 20.17

$$LL = W_n * (N/25)^{0.121}$$

Donde:

LL = Límite Líquido

Wn = Contenido de Humedad Promedio (%)

N = Número de Golpes

GEOTECNIA PUNO E.I.R.L.
Ingeniería de Pavimentos, Geotecnia Consultoría y Construcción

ALFREDO ALARCON ATAHUACHI
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP 31732



GEOTECNIA PUNO E.I.R.L.

MECÁNICA DE SUELOS - PAVIMENTOS - CIMENTACIONES - SUPERVISIÓN DE INGENIERÍA

Jr. Tiahuanaco H-17 Urbanización Residencial Kollasuyo I Etapa Juliaca

Cel.: 979000744-954879700 geotecniapunogiri@gmail.com



ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO (ASTM D422)

ENSAYOS ESTÁNDAR DE CLASIFICACIÓN (D422 - D2216 - D4318 - D427 - D2487)

PROYECTO : INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DE CENIZA DE EUCALIPTO SOBRE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE Y SU EFECTO EN EL ESPESOR DE AFIRMADE DE VIAS EN LA PROVINCIA DE MOHO 2025

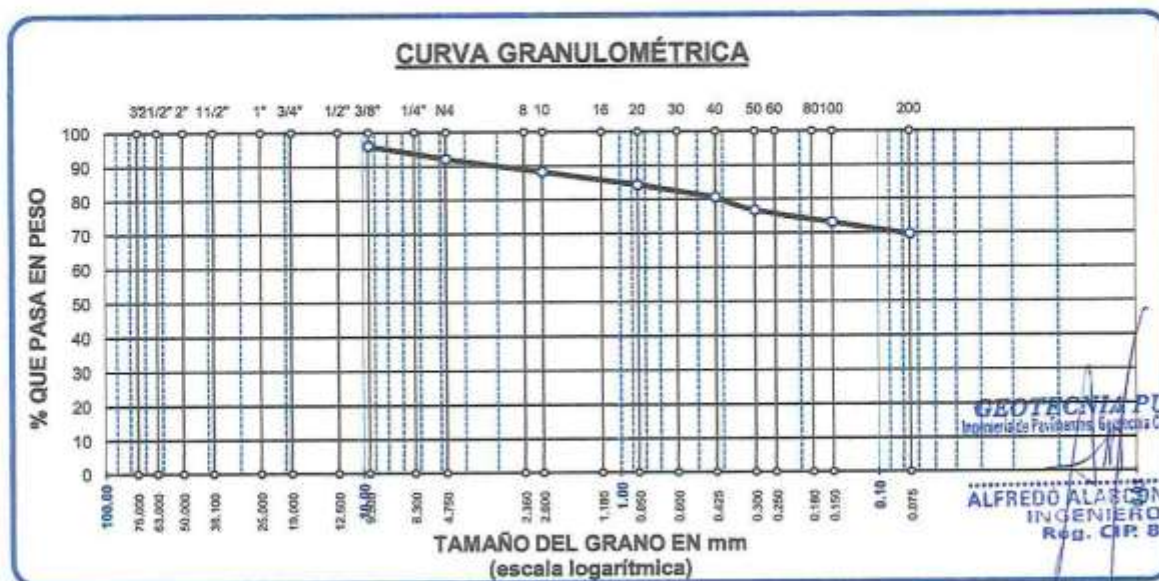
SOLICITANTE : Bach. JESUS DANIEL TITO MAMANI

LUGAR : PROVINCIA DE MOHO

MUESTRA : MUESTRA 1 - VÍA 3

FECHA : 25 DE AGOSTO DEL 2025

TAMICES ASTM	ABERTURA mm	PESO RETENIDO	%RETENIDO PARCIAL	%RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	ESPECIF.	TAMAÑO MÁXIMO: DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
3"	75.000						P.L.= 2500.00
2 1/2"	63.000						P.L.= 759.77
2"	50.000						P.P.= 1740.23
1 1/2"	38.100						%W= 17.67
1"	25.000						LIMITES DE CONSISTENCIA:
3/4"	19.000						L.L.= 33.38
1/2"	12.500						L.P.= 13.21
3/8"	9.500	100.00	4.00	4.00	96.00		I.P.= 20.17
1/4"	6.300						CARACT. GRANULOMÉTRICAS:
No4	4.750	96.50	3.86	7.86	92.14		D10= --- Cu= ---
No8	2.360						D30= --- Cc= ---
No10	2.000	96.40	3.86	11.72	88.28		
No16	1.180						
No20	0.850	96.50	3.86	15.58	84.42		
No30	0.600						
No40	0.425	95.32	3.81	19.39	80.61		
No 50	0.300	96.10	3.84	23.23	76.77		
No60	0.250						
No80	0.180						
No100	0.150	90.85	3.63	26.87	73.13		
No200	0.075	88.10	3.52	30.39	69.61		
BASE		1740.23	69.61	100.00	0.00		CLASIFICACIÓN:
TOTAL		2500.00	100.00				I.G. = :
% PERDIDA		69.61					SUCS : CH
							ASSTHO : A-7
							OBSERVACIONES:



NOTA : LAS MUESTRAS FUERON PUESTAS EN LABORATORIO POR EL SOLICITANTE



ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

ASTM D-698 D-1557 AASHTO T-99 T-180

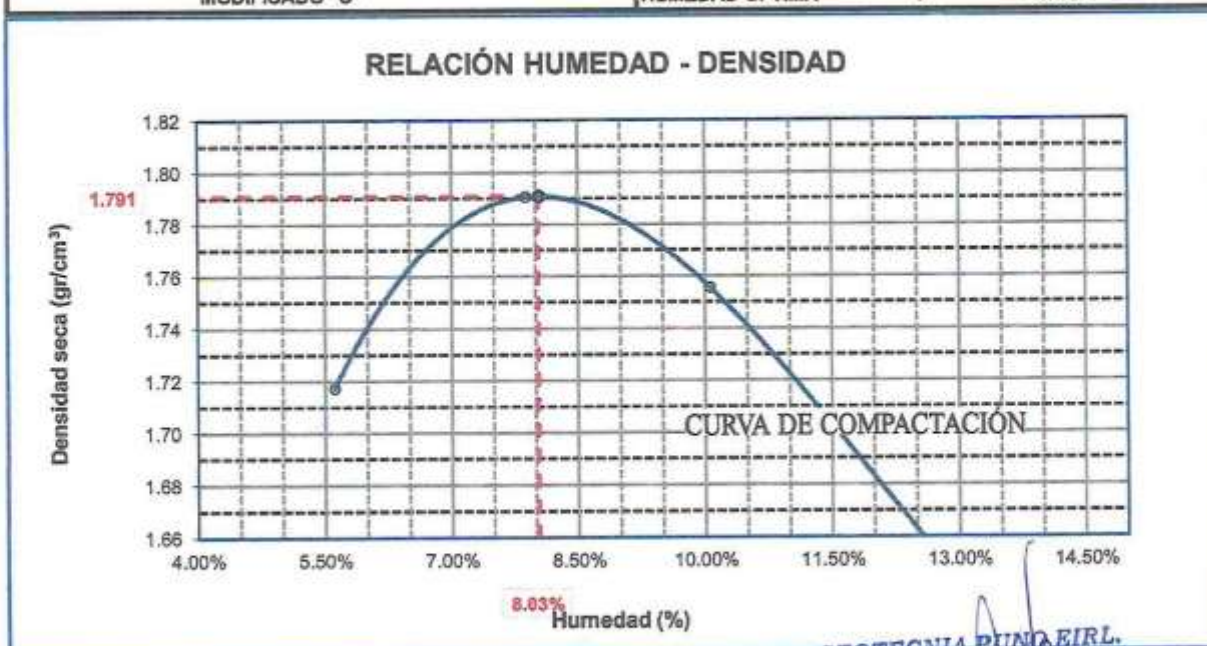
TESIS	: INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DE CENIZA DE EUCALIPTO SOBRE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE Y SU EFECTO EN EL ESPESOR DE AFIRMACIÓN DE VÍAS EN LA PROVINCIA DE MOHO 2025
SOLICITANTE	: Bach. JESUS DANIEL TITO MAMANI
UBICACIÓN	: PROVINCIA DE MOHO
MUESTRA	: SUELO NATURAL - VIA 1
FECHA	: 01 DE SETIEMBRE DEL 2025

MOLDE No	:	1	VOLUMEN DEL MOLDE	:	2105 cm ³
No DE CAPAS	:	5	GOLPES POR CAPA	:	56 golpes

Peso Suelo Húmedo + Molde	gr.	9800	10048	10048	9869
Peso del Molde	gr.	5982	5982	5982	5982
Peso del Suelo Húmedo	gr/cm ³	3818	4066	4067	3887
Densidad del Suelo Húmedo	gr/cm ³	1.814	1.932	1.932	1.847

Capsula No	No	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.
Suelo Húmedo + Capsula	gr.	423.72	412.74	441.23	421.89	433.67	412.91	409.83	388.74
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	403.88	394.87	416.84	393.01	401.32	380.07	360.00	359.55
Peso del Agua	gr.	19.74	17.87	24.39	28.88	32.35	32.84	49.83	28.19
Peso de la Capsula	gr.	64.74	64.39	63.44	64.56	66.69	65.90	65.82	66.57
Peso del Suelo Seco	gr.	339.24	330.48	353.20	328.35	334.83	314.17	294.18	292.98
% de Humedad	%	5.82%	5.41%	6.96%	8.80%	9.67%	10.45%	16.94%	9.96%
Promedio de Humedad	%	5.61%		7.88%		10.06%		13.45%	
Densidad del Suelo Seco	%	1.717		1.791		1.755		1.628	

METODO:	ASTM D - 1557	MAXIMA DENSIDAD SECA	:	1.791 gr/cm ³
	MODIFICADO "C"	HUMEDAD OPTIMA	:	8.03%



GEOTECNIA PUNO E.I.R.L.
Ingeniería de Pavimentos, Geotecnia Consultoría y Construcción

ALFREDO ALARCON ATAHUACHI
INGENIERO CIVIL
R. 01732



GEOTECNIA PUNO E.I.R.L.

MECANICA DE SUELOS - PAVIMENTOS - CIMENTACIONES - SUPERVISIÓN DE INGENIERÍA

Jr. Tiahuanaco H-17 Urbanización Residencial Kollasuyo I Etapa Juliaca

Cel.: 979000744-954879700 geotecniapunoeir@gmail.com



RELACION HUMEDAD - DENSIDAD PROCTOR

TESIS	: INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DE CENIZA DE EUCALIPTO SOBRE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE Y SU EFECTO EN EL ESPESOR DE AFIRMADO DE VIAS EN LA PROVINCIA DE MOHO 2025
SOLICITANTE	: Bach. JESUS DANIEL TITO MAMANI
UBICACIÓN	: PROVINCIA DE MOHO
MUESTRA	: SUELO NATURAL - VIA 1
FECHA	: 01 DE SETIEMBRE DEL 2025

MOLDE No	III	II	I			
No DE CAPAS	5	5	5			
NUMERO DE GOLPES POR CAPA	12	25	56			
CONDICIONES DE LA MUESTRA	SATURADO	SIN SATURAR	SATURADO	SIN SATURAR	SATURADO	SIN SATURAR

Peso Suelo Humedo + Molde	gr.	12268	12397	12408	12541	12728	12952
Peso del Molde	gr.	8150	8150	8030	8030	8290	8290
Peso del Suelo Humedo	gr.	4118	4247	4378	4511	4438	4662
Volumen del Suelo	cc.	2104.81	2104.81	2101.91	2101.91	2096.50	2096.50
Densidad del Suelo Humedo	gr/cc.	1.956	2.018	2.083	2.146	2.117	2.224

Capsula No	No	5	4	B		15	14	E		4	10	T
Suelo Humedo + Capsula	gr.	270.72	267.55	230.15		284.78	282.83	238.63		222.60	213.40	228.27
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	221.60	222.40	199.95		221.70	222.30	207.38		193.30	187.90	199.74
Peso del Agua	gr.	49.12	45.15	30.20		43.08	40.53	31.25		29.30	25.50	28.53
Peso de la Capsula	gr.	39.75	39.98	23.65		38.94	39.84	23.41		40.12	38.81	23.13
Peso del Suelo Seco	gr.	181.85	182.42	176.30		182.76	182.66	183.97		153.18	148.09	176.61
% de Humedad	%	27.01%	24.75%	17.13%		23.57%	22.19%	16.89%		19.13%	17.22%	16.15%
Promedio de Humedad	%	25.88%		17.13%		22.88%		16.99%		18.17%		16.15%
Densidad del Suelo Seco	gr/cc.	1.554		1.723		1.695		1.835		1.791		1.914

EXPANSION

Fecha	Hora	Tiempo	Dial	Expansion mm	Expansion %	Dial	Expansion mm	Expansion %	Dial	Expansion mm	Expansion %
18/09/2023	08:25: a.m.	0	0.00	0.00	0	0.00	0	0	0.00	0	0
19/09/2023	08:25: a.m.	24:00:00	0.13	0.00	0.03	0.16	0.00	0.03	0.20	0.01	0.04
20/09/2023	08:25: a.m.	48:00:00	0.18	0.00	0.04	0.24	0.01	0.05	0.27	0.01	0.06
21/09/2023	08:25: a.m.	72:00:00	0.20	0.01	0.04	0.29	0.01	0.06	0.33	0.01	0.07
22/09/2023	08:25: a.m.	96:00:00	0.28	0.01	0.08	0.32	0.01	0.07	0.36	0.01	0.08

PENETRACION

Penetracion mm	Tiempo	Carga Est.	MOLDE No III				MOLDE No II				MOLDE No I			
			Dial	Kg	Kg/cm2	Correc.	Dial	Kg	Kg/cm2	Correc.	Dial	Kg	Kg/cm2	Correc.
0.00	0:00		0.0	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00		0.0	0.00	0.00	
0.63	00:30		0.0	25.1	0.9		1.7	32	1.8		4.2	43	2.2	
1.27	01:00		1.0	29.5	1.5		3.7	41	2.1		6.2	51	2.6	
1.91	01:30		2.6	36.9	1.9		6.7	54	2.7		9.2	64	3.2	
2.54	02:00	70.31	4.2	42.9	2.2		9.6	66	3.3		12.0	76	3.8	
3.81	03:00		6.8	53.9	2.7		14.7	86	4.4		17.1	98	4.9	
5.09	04:00	105.00	8.7	61.9	3.1		18.7	105	5.3		21.2	115	5.8	
6.35	05:00		10.5	69.8	3.5		21.8	118	6.0		24.9	131	6.6	
7.62	06:00		12.0	76.2	3.9		24.2	128	6.5		28.9	139	7.1	
8.84	07:00		13.3	81.6	4.1		27.2	141	7.1		29.1	149	7.5	
10.16	08:00		12.8	79.4	4.0		26.3	137	6.9		28.2	145	7.3	

GEOTECNIA PUNO E.I.R.L.
Ingeniería de Pavimentos, Geotecnia, Construcción y Construcción

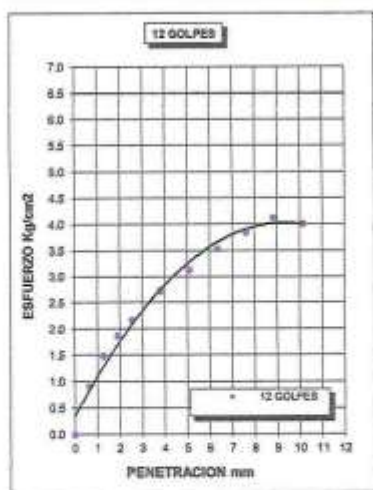
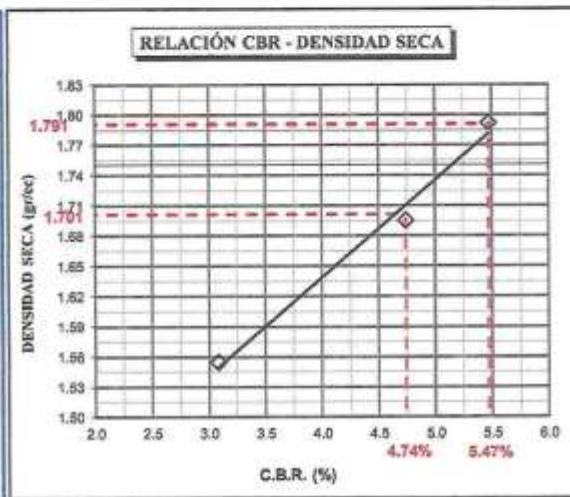
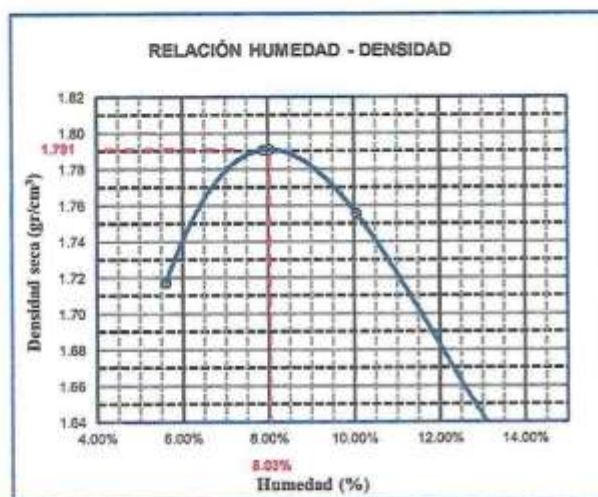
ALFREDO ALARCON ATAHUACMI
INGENIERO CIVIL
Reg. CIR 81732

GEOTECNIA PUNO E.I.R.L.

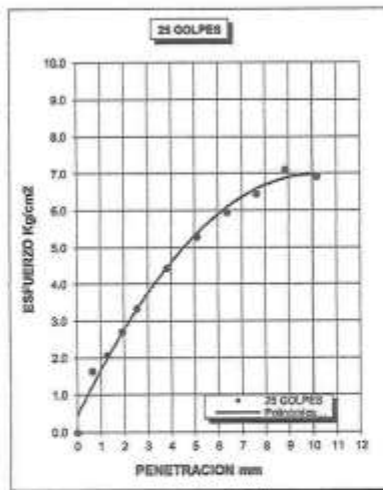
MECÁNICA DE SUELOS - PAVIMENTOS - CIMENTACIONES - SUPERVISIÓN DE INGENIERÍA

Jr. Tiahuanaco H-17 Urbanización Residencial Kollasuyo I Etapa Juliaca
Cel.: 979000744-954879700 geotecniapunoelrl@gmail.com

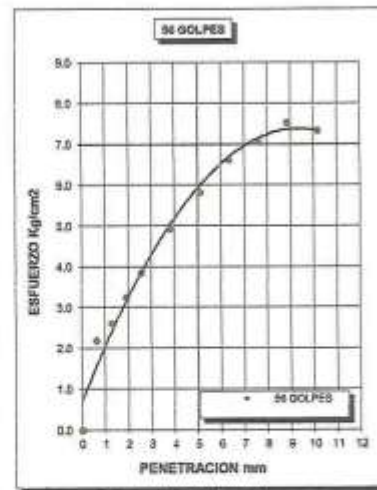
PROYECTO : INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DE CENIZA DE EUCALIPTO SOBRE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE Y SU EFECTO EN EL ESPESOR DE AFIRMADO DE VÍAS EN LA PROVINCIA DE MOHO 2025	METODO DE COMPACTACIÓN ASTM D1557-91
SOLICITADO : Bach. JESUS DANIEL TITO MAMANI	MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm³.) 1.791 HUMEDAD OPTIMA (%) 8.03% CBR AL 100 DE M.D.S. (%) 5.47 CBR AL 95% DE M.D.S. (%) 4.74
UBICACIÓN : PROVINCIA DE MOHO	CLASIFICACIÓN : A-2-6 AASHTO SC
MUESTRA : SUELO NATURAL - VÍA 1	
FECHA : 01 DE SETIEMBRE DEL 2025	



CBR 3.08



CBR 4.74



CBR 5.47

GEOTECNIA PUNO E.I.R.L.

ALFREDO ALARCON ATAHUACSI
INGENIERO CIVIL
R.O.B. CIP 81732



GEOTECNIA PUNO E.I.R.L.

MECANICA DE SUELOS - PAVIMENTOS - CIMENTACIONES - SUPERVISIÓN DE INGENIERÍA

Jr. Tiahuanaco H-17 Urbanización Residencial Kollasuyo I Etapa Juliaca

Cel.: 979000744-954879700 geotecniapunoeirl@gmail.com



ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

ASTM D-698 D-1557 AASHTO T-99 T-180

TESIS	: INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DE CENIZA DE EUCALIPTO SOBRE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE Y SU EFECTO EN EL ESPESOR DE AFIRMADO DE VÍAS EN LA PROVINCIA DE MOHO 2025
SOLICITANTE	: Bach. JESUS DANIEL TITO MAMANI
UBICACIÓN	: PROVINCIA DE MOHO
MUESTRA	: SUELO NATURAL - VÍA 2
FECHA	: 02 DE SETIEMBRE DEL 2025

MOLDE No	: 1	VOLUMEN DEL MOLDE	: 2105 cm ³
No DE CAPAS	: 5	GOLPES POR CAPA	: 56 golpes

Peso Suelo Humedo + Molde	gr.	9840	10098	10089	9904
Peso del Molde	gr.	5981	5981	5981	5981
Peso del Suelo Humedo	gr/cm ³ .	3859	4117	4108	3923
Densidad del Suelo Humedo	gr/cm ³ .	1.833	1.956	1.952	1.864

Capsula No	No	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.
Suelo Humedo + Capsula	gr.	424.69	413.71	442.20	422.88	434.94	413.88	410.80	389.71
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	404.95	395.84	417.81	393.98	402.29	381.04	360.97	360.52
Peso del Agua	gr.	19.74	17.87	24.39	28.88	32.65	32.84	49.83	29.19
Peso de la Capsula	gr.	64.73	64.41	63.54	64.62	66.24	65.96	64.96	65.84
Peso del Suelo Seco	gr.	340.22	331.43	354.07	329.36	336.05	315.08	296.01	294.68
% de Humedad	%	5.80%	5.39%	6.94%	8.77%	9.72%	10.42%	16.83%	9.91%
Promedio de Humedad	%	5.60%		7.86%		10.07%		13.37%	
Densidad del Suelo Seco	%	1.736		1.813		1.773		1.644	

METODO:	ASTM D - 1557	MAXIMA DENSIDAD SECA	: 1.813 gr/cm ³
	MODIFICADO "C"	HUMEDAD OPTIMA	: 7.97%



GEOTECNIA PUNO E.I.R.L.
Ingeniería de Pavimentos, Edificación, Construcción y Construcción

ALFREDO ALARCÓN ATAHUACMI
INGENIERO CIVIL
Reg. CIR 81732



GEOTECNIA PUNO E.I.R.L.

MECANICA DE SUELOS - PAVIMENTOS - CIMENTACIONES - SUPERVISIÓN DE INGENIERÍA

Jr. Tiahuanaco H-17 Urbanización Residencial Kollasuyo I Etapa Juliaca

Cel.: 979000744-954879700 geotecniapunoel@gmail.com



RELACION HUMEDAD - DENSIDAD PROCTOR

TESIS	: INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DE CENIZA DE EUCALIPTO SOBRE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE Y SU EFECTO EN EL ESPESOR DE AFIRMADO DE VIAS EN LA PROVINCIA DE MOHO 2025
SOLICITANTE	: Bach. JESUS DANIEL TITO MAMANI
UBICACIÓN	: PROVINCIA DE MOHO
MUESTRA	: SUELO NATURAL - VÍA 2
FECHA	: 02 DE SETIEMBRE DEL 2025

MOLDE No	III		II		I	
No DE CAPAS	5		5		5	
NUMERO DE GOLPES POR CAPA	12		25		56	
CONDICIONES DE LA MUESTRA	SATURADO	SIN SATURAR	SATURADO	SIN SATURAR	SATURADO	SIN SATURAR

Peso Suelo Humedo + Molde	gr.	12308	12437	12448	12581	12778	12995
Peso del Molde	gr.	8150	8150	8030	8030	8290	8290
Peso del Suelo Humedo	gr.	4158	4287	4418	4551	4488	4705
Volumen del Suelo	cc.	2104.81	2104.81	2101.91	2101.91	2096.50	2096.50
Densidad del Suelo Humedo	gr/cc.	1.975	2.037	2.102	2.165	2.141	2.244

Capsula No	No	6	7	C		13	12	F		8	9	U	
Suelo Humedo + Capsula	gr.	271.71	268.54	231.14		265.77	263.82	239.62		223.59	214.39	229.26	
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	222.59	223.39	200.94		222.69	223.29	208.37		194.29	188.89	200.73	
Peso del Agua	gr.	49.12	45.15	30.20		43.08	40.53	31.25		29.30	25.50	28.53	
Peso de la Capsula	gr.	39.75	39.98	23.65		38.94	39.64	23.41		40.12	39.81	23.13	
Peso del Suelo Seco	gr.	182.84	183.41	177.29		183.75	183.65	184.96		154.17	149.08	177.60	
% de Humedad	%	26.87%	24.62%	17.03%		23.44%	22.07%	16.90%		19.00%	17.10%	16.06%	
Promedio de Humedad	%	25.74%		17.03%		22.76%		16.90%		18.05%		16.06%	
Densidad del Suelo Seco	gr/cc.	1.571		1.740		1.712		1.852		1.813		1.934	

EXPANSION

Fecha	Hora	Tiempo	Dial	Expansion mm	%	Dial	Expansion mm	%	Dial	Expansion mm	%
18/09/2023	08:25: a.m.	0	0.00	0.00	0	0.00	0	0	0.00	0	0
19/09/2023	08:25: a.m.	24:00:00	0.20	0.01	0.04	0.16	0.00	0.03	0.13	0.00	0.03
20/09/2023	08:25: a.m.	48:00:00	0.27	0.01	0.06	0.24	0.01	0.05	0.18	0.00	0.04
21/09/2023	08:25: a.m.	72:00:00	0.33	0.01	0.07	0.29	0.01	0.06	0.20	0.01	0.04
22/09/2023	08:25: a.m.	96:00:00	0.36	0.01	0.08	0.32	0.01	0.07	0.26	0.01	0.06

PENETRACION

Penetración mm	Tiempo	Carga Est.	MOLDE No III				MOLDE No II				MOLDE No I			
			Dial	Kg	Kg/cm2	Correc.	Dial	Kg	Kg/cm2	Correc.	Dial	Kg	Kg/cm2	Correc.
0.00	0.00		0.0	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00		0.0	0.00	0.00	
0.63	00:30		0.0	25.1	0.9		2.1	34	1.7		4.4	44	2.2	
1.27	01:00		1.6	31.9	1.6		5.0	47	2.4		6.4	52	2.6	
1.91	01:30		3.1	38.3	1.9		7.0	55	2.8		9.4	65	3.3	
2.54	02:00	70.31	4.2	43.0	2.2		9.2	64	3.2		12.5	78	4.0	
3.81	03:00		6.8	54.2	2.7		14.8	88	4.4		17.3	99	5.0	
5.09	04:00	105.00	8.7	62.1	3.1		18.9	105	5.3		21.6	117	5.9	
6.35	05:00		10.6	70.0	3.5		21.9	118	6.0		25.3	133	6.7	
7.62	06:00		12.1	76.4	3.9		24.3	128	6.5		27.3	141	7.1	
8.84	07:00		13.4	81.6	4.1		27.3	141	7.1		29.5	150	7.6	
10.16	08:00		12.8	79.6	4.0		26.4	137	6.9		28.6	147	7.4	

GEOTECNIA PUNO E.I.R.L.
Ingeniería de Pavimentos, Bases y Contrucción

ALFREDO ALARCON ATAHUACMA
INGENIERO CIVIL
Reg. CIR 91732

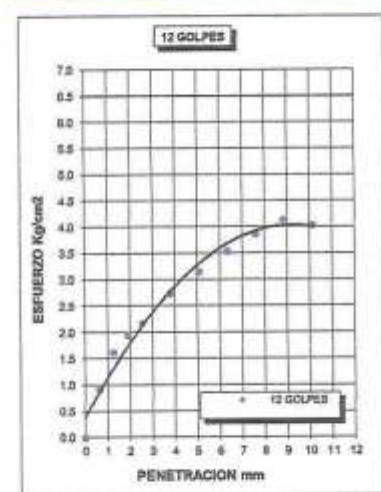
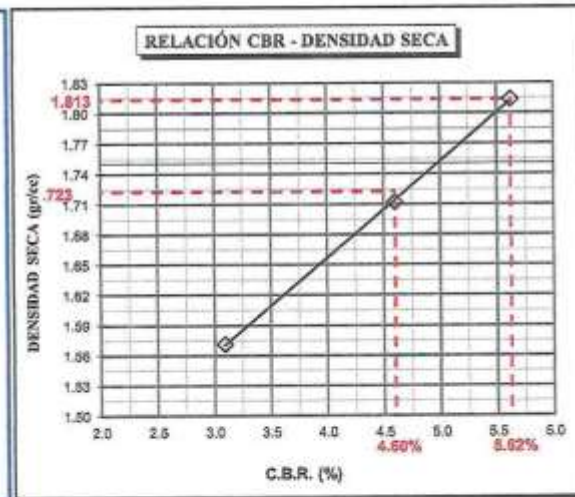
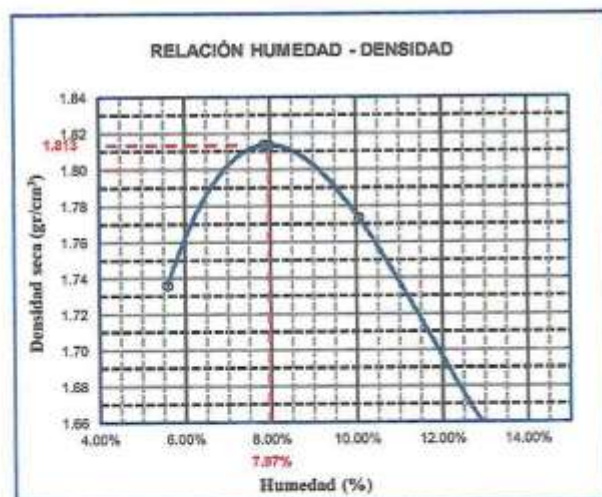


GEOTECNIA PUNO E.I.R.L.

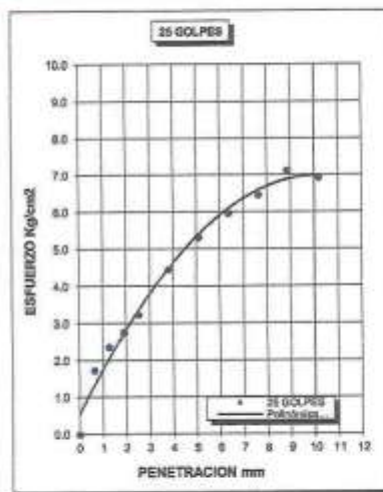
MECANICA DE SUELOS - PAVIMENTOS - CIMENTACIONES - SUPERVISIÓN DE INGENIERÍA
Jr. Tiahuanaco H-17 Urbanización Residencial Kollasuyo I Etapa Juliaca
Cel.: 979000744-954879700 geotecniaspunoelr@gmail.com



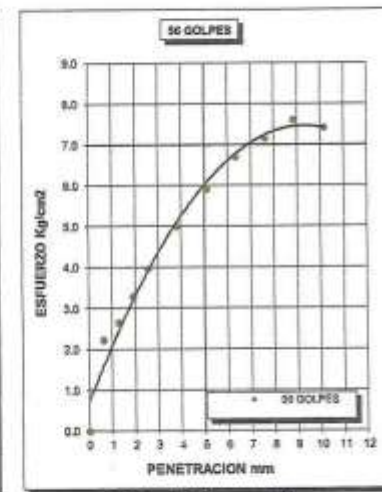
PROYECTO : INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DE CENIZA DE EUCALIPTO SOBRE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE Y SU EFECTO EN EL ESPESOR DE AFIRMADO DE VIAS EN LA PROVINCIA DE MOHO 2025	METODO DE COMPACTACIÓN ASTM D1557-91
SOLICITADO : Bach. JESUS DANIEL TITO MAMANI	MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm³.) 1.813 HUMEDAD OPTIMA (%) 7.97%
UBICACIÓN : PROVINCIA DE MOHO	CBR AL 100 DE M.D.S. (%) 5.62 CBR AL 95% DE M.D.S. (%) 4.60
MUESTRA : SUELO NATURAL - VÍA 2	CLASIFICACIÓN : A-2-6
FECHA : 02 DE SETIEMBRE DEL 2025	AASHTO SP-SC



CBR 3.09



CBR 4.60



CBR 5.62

GEOTECNIA PUNO E.I.R.L.
Ingeniería de Pavimentos, Geotecnia, Construcción y Construcción

ALFREDO ALARCÓN ATAHUACHI
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP 81732



GEOTECNIA PUNO E.I.R.L.

MECANICA DE SUELOS- PAVIMENTOS - CIMENTACIONES- SUPERVISION DE INGENIERIA

Jr. Tiahuanaco H-17 Urbanización Residencial Kallasuyo I Etapa Juliaca

Cel.: 979000744-954879700 geotecniapunoeir@gmail.com



ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

ASTM D-698 D-1557 AASHTO T-99 T-180

TESIS	: INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DE CENIZA DE EUCALIPTO SOBRE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE Y SU EFECTO EN EL ESPESOR DE AFIRMADO DE VIAS EN LA PROVINCIA DE MOHO 2025
SOLICITANTE	: Bach. JESUS DANIEL TITO MAMANI
UBICACIÓN	: PROVINCIA DE MOHO
MUESTRA	: SUELO NATURAL - VÍA 3
FECHA	: 03 DE SETIEMBRE DEL 2025

MOLDE No	: 1	VOLUMEN DEL MOLDE	: 2105 cm ³
No DE CAPAS	: 5	GOLPES POR CAPA	: 56 golpes

Peso Suelo Humedo + Molde	gr.	9760	10008	10009	9829
Peso del Molde	gr.	5980	5980	5980	5980
Peso del Suelo Humedo	gr/cm ³ .	3780	4028	4029	3849
Densidad del Suelo Humedo	gr/cm ³ .	1.796	1.914	1.914	1.829

Capsula No	No	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.
Suelo Humedo + Capsula	gr.	421.89	410.71	439.20	419.86	431.64	410.88	407.80	386.71
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	401.95	392.84	414.61	390.96	399.29	378.04	357.97	357.52
Peso del Agua	gr.	19.74	17.87	24.59	28.88	32.35	32.84	49.83	29.19
Peso de la Capsula	gr.	64.74	64.39	63.44	64.66	66.69	65.90	65.82	66.57
Peso del Suelo Seco	gr.	337.21	328.45	351.17	326.32	332.60	312.14	292.15	290.95
% de Humedad	%	5.85%	5.44%	7.00%	8.85%	9.73%	10.52%	17.06%	10.03%
Promedio de Humedad	%	5.85%		7.93%		10.12%		13.54%	
Densidad del Suelo Seco	%	1.700		1.773		1.738		1.610	

METODO:	ASTM D - 1557	MAXIMA DENSIDAD SECA	: 1.773 gr/cm ³
	MODIFICADO "C"	HUMEDAD OPTIMA	: 8.08%





RELACION HUMEDAD - DENSIDAD PROCTOR

TESIS	: INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DE CENIZA DE EUCALIPTO SOBRE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE Y SU EFECTO EN EL ESPESOR DE AFIRMADO DE VÍAS EN LA PROVINCIA DE MOHO 2025
SOLICITANTE	: Bach. JESUS DANIEL TITO MAMANI
UBICACIÓN	: PROVINCIA DE MOHO
MUESTRA	: SUELO NATURAL - VÍA 3
FECHA	: 03 DE SETIEMBRE DEL 2025

MOLDE No	III		II		I	
No DE CAPAS	5		5		5	
NUMERO DE GOLPES POR CAPA	12		25		56	
CONDICIONES DE LA MUESTRA	SATURADO	SIN SATURAR	SATURADO	SIN SATURAR	SATURADO	SIN SATURAR

Peso Suelo Humedo + Molde	gr.	12225	12354	12365	12496	12693	12908
Peso del Molde	gr.	8150	8150	8030	8030	8290	8290
Peso del Suelo Humedo	gr.	4075	4204	4335	4466	4403	4618
Volumen del Suelo	cc.	2104.81	2104.81	2101.91	2101.91	2096.50	2096.50
Densidad del Suelo Humedo	gr/cc.	1.936	1.997	2.062	2.125	2.100	2.203

Capsula No	No	5	4	B		15	14	E		4	10	T	
Suelo Humedo + Capsula	gr.	288.87	265.68	228.26		281.85	259.91	235.74		219.71	210.55	225.37	
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	219.79	220.57	198.08		218.82	219.43	204.46		190.42	185.02	198.86	
Peso del Agua	gr.	49.08	45.11	30.18		43.03	40.48	31.28		29.29	25.53	26.51	
Peso de la Capsula	gr.	39.82	39.75	23.44		39.28	39.51	23.36		39.42	39.56	23.31	
Peso del Suelo Seco	gr.	179.97	180.82	174.64		179.54	179.92	181.10		151.00	145.48	173.55	
% de Humedad	%	27.27%	24.95%	17.28%		23.97%	22.50%	17.27%		19.40%	17.55%	16.43%	
Promedio de Humedad	%	26.11%		17.28%		23.23%		17.27%		18.47%		16.43%	
Densidad del Suelo Seco	gr/cc.	1.535		1.703		1.674		1.812		1.773		1.892	

EXPANSION

Fecha	Hora	Tiempo	Dial	Expansion		Dial	Expansion		Dial	Expansion	
				mm	%		mm	%		mm	%
18/09/2023	08:25: a.m.	0	0.00	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0	0
19/09/2023	08:25: a.m.	24:00:00	0.20	0.01	0.04	0.16	0.00	0.03	0.13	0.00	0.03
20/09/2023	08:25: a.m.	48:00:00	0.27	0.01	0.06	0.24	0.01	0.05	0.18	0.00	0.04
21/09/2023	08:25: a.m.	72:00:00	0.33	0.01	0.07	0.29	0.01	0.06	0.20	0.01	0.04
22/09/2023	08:25: a.m.	96:00:00	0.36	0.01	0.08	0.32	0.01	0.07	0.26	0.01	0.06

PENETRACION

Penetración mm	Tiempo	Carga Est.	MOLDE No III				MOLDE No II				MOLDE No I			
			Dial	Kg	Kg/cm2	Correc.	Dial	Kg	Kg/cm2	Correc.	Dial	Kg	Kg/cm2	Correc.
0.00	0:00		0.0	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00	0.0	0.00	0.00		
0.63	00:30		0.0	25.1	0.9		0.9	29	1.5		2.8	37	1.9	
1.27	01:00		0.6	27.8	1.4		1.9	33	1.7		4.1	43	2.2	
1.91	01:30		1.4	31.2	1.8		3.4	39	2.0		6.2	51	2.6	
2.54	02:00	70.31	2.1	33.8	1.7		4.8	45	2.3		8.1	59	3.0	
3.81	03:00		3.4	39.5	2.0		7.4	56	2.9		14.4	86	4.4	
5.09	04:00	105.00	4.3	43.2	2.2		9.3	65	3.3		14.1	85	4.3	
6.35	05:00		5.3	47.5	2.4		10.9	71	3.6		16.6	96	4.8	
7.62	06:00		6.0	50.7	2.6		12.1	77	3.9		18.0	101	5.1	
8.84	07:00		6.6	53.2	2.7		13.6	83	4.2		19.4	108	5.4	
10.16	08:00		8.4	52.3	2.6		13.2	81	4.1		18.8	105	5.3	

GEOTECNIA PUNO E.I.R.L.
Ingeniería de Pavimentos, Geotecnia y Obras de Arte
ALFREDO ALARCON ATAHUACHI
INGENIERO CIVIL
Reg. G.O. 51732

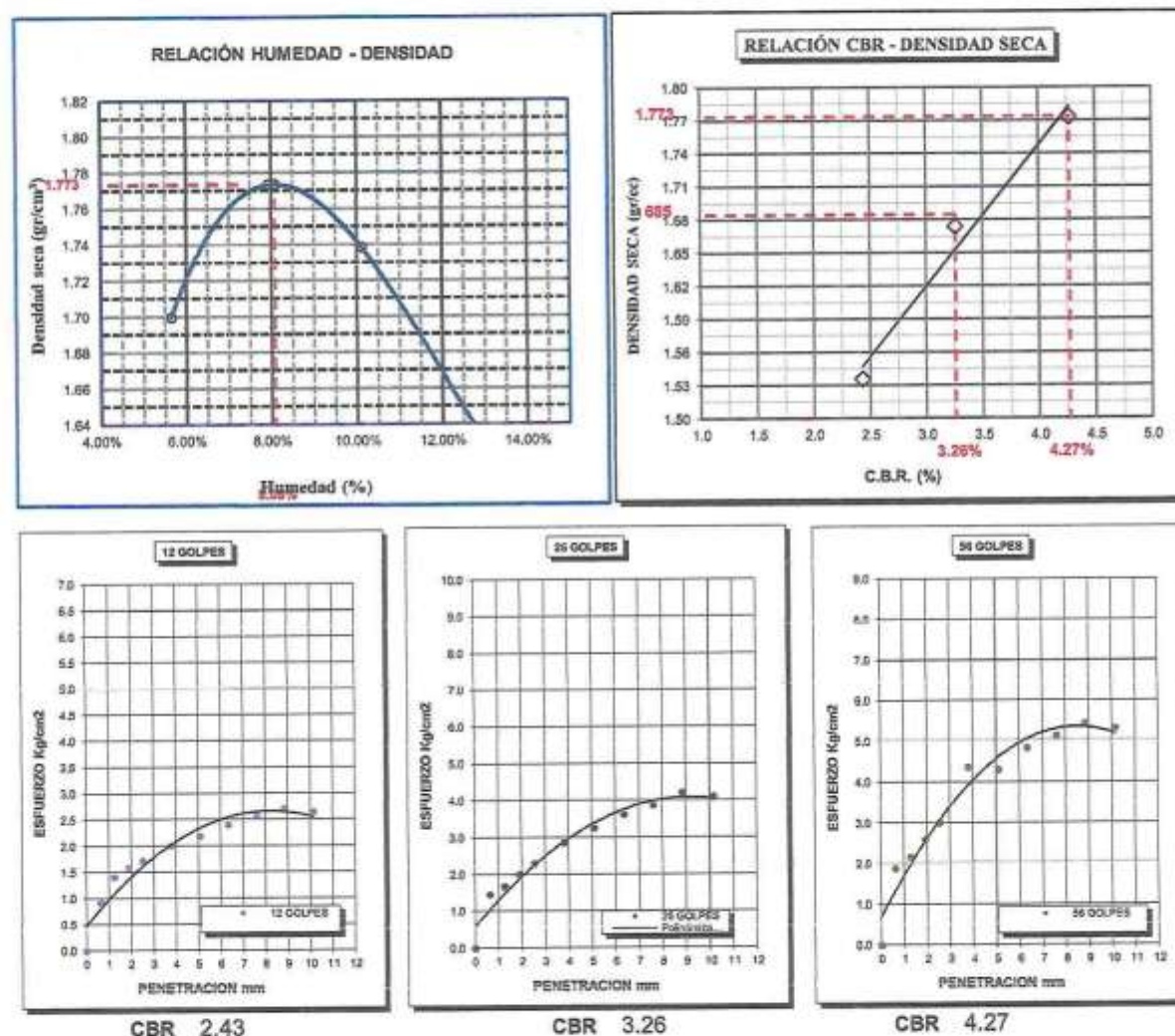
GEOTECNIA PUNO E.I.R.L.

MECANICA DE SUELOS - PAVIMENTOS - CIMENTACIONES - SUPERVISION DE INGENIERIA

Jr. Tiahuanaco H-17 Urbanización Residencial Kollasuyo I Etapa Juliaca

Cel.: 979000744-854879700 geotecniapunoelr@gmail.com

PROYECTO : INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DE CENIZA DE EUCALIPTO SOBRE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE Y SU EFECTO EN EL ESPESOR DE AFIRMADO DE VIAS EN LA PROVINCIA DE MOHO 2025	METODO DE COMPACTACIÓN ASTM D1557-91
SOLICITADO : Bach. JESUS DANIEL TITO MAMANI	MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm³.) 1.773 HUMEDAD OPTIMA (%) 8.08% CBR AL 100 DE M.D.S. (%) 4.27 CBR AL 95% DE M.D.S. (%) 3.26
UBICACIÓN : PROVINCIA DE MOHO	CLASIFICACIÓN : A-2-6 AASHTO SP-SC
MUESTRA : SUELO NATURAL - VÍA 3	
FECHA : 03 DE SETIEMBRE DEL 2025	



GEOTECNIA PUNO E.I.R.L.

Ingeniería de Pavimentos, Estructuras Civiles y Construcción

ALFREDO ALVARO ATAHUACHI

INGENIERO CIVIL

RUC 81732



GEOTECNIA PUNO E.I.R.L.

MECANICA DE SUELOS - PAVIMENTOS - CIMENTACIONES - SUPERVISIÓN DE INGENIERÍA
Jr. Tiahuanaco H-17 Urbanización Residencial Kollasuyo I Etapa Juliaca
Cel.: 979000744-954879709 geotecniapunoeir@gmail.com



ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

ASTM D-698 D-1557 AASHTO T-99 T-180

TESIS	: INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DE CENIZA DE EUCALIPTO SOBRE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE Y SU EFECTO EN EL ESPESOR DE AFIRMADO DE VIAS EN LA PROVINCIA DE MOHO 2025
SOLICITANTE	: Bach. JESUS DANIEL TITO MAMANI
UBICACIÓN	: PROVINCIA DE MOHO
MUESTRA	: SUELO + 5% DE CENIZA DE EUCALIPTO - VÍA 1
FECHA	: 04 DE SETIEMBRE DEL 2025

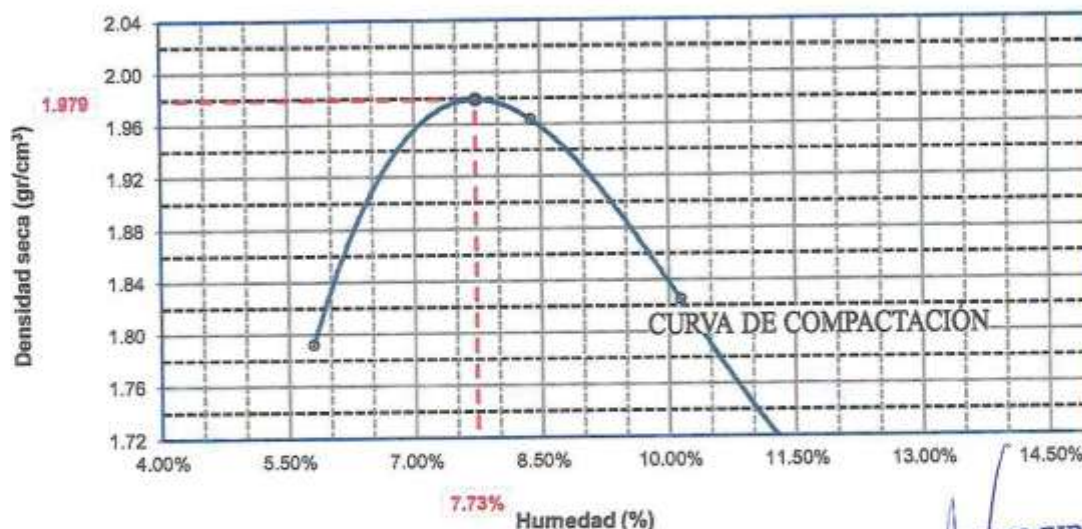
MOLDE No	:	1	VOLUMEN DEL MOLDE	:	2104 cm ³
No DE CAPAS	:	5	GOLPES POR CAPA	:	56 golpes

Peso Suelo Húmedo + Molde	gr.	9970	10460	10210	9910
Peso del Molde	gr.	5982	5982	5982	5982
Peso del Suelo Húmedo	gr/cm ³ .	3988	4478	4228	3928
Densidad del Suelo Húmedo	gr/cm ³ .	1.895	2.128	2.010	1.867

Capsula No	No	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.
Suelo Húmedo + Capsula	gr.	424.12	414.35	443.22	423.11	435.24	414.62	411.41	390.29
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	404.03	395.48	413.98	395.23	400.67	383.12	365.98	361.24
Peso del Agua	gr.	20.09	18.87	29.24	27.88	34.57	31.50	45.43	29.05
Peso de la Capsula	gr.	62.72	64.36	63.42	64.62	66.67	65.88	66.79	66.55
Peso del Suelo Seco	gr.	341.31	331.12	350.56	330.61	334.00	317.24	300.19	294.69
% de Humedad	%	5.89%	5.70%	8.34%	8.43%	10.35%	9.93%	15.13%	9.88%
Promedio de Humedad	%	5.79%		8.39%		10.14%		12.50%	
Densidad del Suelo Seco	%	1.792		1.964		1.825		1.660	

METODO:	ASTM D - 1557	MAXIMA DENSIDAD SECA	:	1.979 gr/cm ³
	MODIFICADO "C"	HUMEDAD OPTIMA	:	7.73%

RELACIÓN HUMEDAD - DENSIDAD



GEOTECNIA PUNO E.I.R.L.
Ingeniería de Pavimentos, Geotecnia Consultoría y Construcción

ALFREDO ALARCÓN ATAHUACHI
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP. 81732



GEOTECNIA PUNO E.I.R.L.

MECANICA DE SUELOS- PAVIMENTOS - CIMENTACIONES- SUPERVISION DE INGENIERIA

Jr. Tahuatenco H-17 Urbanización Residencial Kollasuyo I Etapa Juliaca

Cel.: 979000744-954879700 geotecniapuno.eirl@gmail.com



RELACION HUMEDAD - DENSIDAD PROCTOR

TESIS	: INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DE CENIZA DE EUCALIPTO SOBRE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE Y SU EFECTO EN EL ESPESOR DE AFIRMADO DE VIAS EN LA PROVINCIA DE MOHO 2025
SOLICITANTE	: Bach. JESUS DANIEL TITO MAMANI
UBICACIÓN	: PROVINCIA DE MOHO
MUESTRA	: SUELO + 5% DE CENIZA DE EUCALIPTO - VÍA 1
FECHA	: 04 DE SETIEMBRE DEL 2025

MOLDE No	III		II		I	
No DE CAPAS	5		5		5	
NUMERO DE GOLPES POR CAPA	12		25		56	
CONDICIONES DE LA MUESTRA	SATURADO	SIN SATURAR	SATURADO	SIN SATURAR	SATURADO	SIN SATURAR

Peso Suelo Humedo + Molde	gr.	12403	12274	12547	12412	12958	12734
Peso del Molde	gr.	8150	8150	8200	8200	8290	8290
Peso del Suelo Humedo	gr.	4253	4124	4347	4212	4668	4444
Volumen del Suelo	cc.	2104.81	2104.81	2101.91	2101.91	2096.50	2096.50
Densidad del Suelo Humedo	gr/cc.	2.021	1.959	2.068	2.004	2.227	2.120

Capsula No	No	5	4	B		15	14	E		4	10	T
Suelo Humedo + Capsula	gr.	414.47	415.16	295.38		404.28	403.74	280.83		363.94	359.26	215.17
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	367.51	364.32	276.13		370.97	369.39	262.69		361.12	327.14	203.93
Peso del Agua	gr.	46.96	50.84	19.25		33.31	34.35	18.14		32.82	32.12	11.24
Peso de la Capsula	gr.	36.44	36.69	36.88		39.72	35.84	36.66		39.66	37.83	37.48
Peso del Suelo Seco	gr.	331.07	327.63	239.25		331.25	333.55	226.03		321.46	289.31	166.45
% de Humedad	%	14.18%	15.52%	8.05%		10.66%	10.30%	8.03%		10.21%	11.10%	6.75%
Promedio de Humedad	%	14.85%		8.05%		10.18%		8.03%		10.66%		6.75%
Densidad del Suelo Seco	gr/cc.	1.759		1.813		1.877		1.855		2.012		1.986

EXPANSION

Fecha	Hora	Tiempo	Dial	Expansion		Dial	Expansion		Dial	Expansion	
				mm	%		mm	%		mm	%
25/09/2023	08:25: a.m.	0	302.00	0.00	0.00	264.00	0	0.00	123.00	0	0.00
26/09/2023	08:25: a.m.	24:00:00	310.00	0.20	0.17	268.00	0.10	0.09	127.00	0.10	0.09
27/09/2023	08:25: a.m.	48:00:00	312.00	0.25	0.22	272.00	0.20	0.17	130.00	0.18	0.15
28/09/2023	08:25: a.m.	72:00:00	315.00	0.33	0.28	275.00	0.28	0.24	134.00	0.28	0.24
29/09/2023	08:25: a.m.	96:00:00	319.00	0.43	0.37	279.00	0.38	0.33	137.00	0.36	0.31

PENETRACION

Penetración mm	Tiempo	Carga Est.	MOLDE No III				MOLDE No II				MOLDE No I			
			Dial	Kg	Kg/cm2	Correc.	Dial	Kg	Kg/cm2	Correc.	Dial	Kg	Kg/cm2	Correc.
0.00	0.00		0.0	0.0	0.0		0.0	0.0	0.0		0.0	0.0	0.0	
0.63	00:30		1.7	32.4	0.9		7.2	56	2.8		11.2	73	3.7	
1.27	01:00		3.7	41.0	2.1		8.2	80	3.0		13.2	81	4.1	
1.91	01:30		6.7	53.7	2.7		11.2	73	3.7		16.2	94	4.7	
2.54	02:00	70.31	9.6	65.9	3.3		14.1	85	4.3		19.1	106	5.4	
3.81	03:00		14.7	87.7	4.4		19.1	106	5.4		24.1	128	6.4	
5.09	04:00	105.00	18.7	104.6	5.3		23.1	123	6.2		28.1	145	7.3	
6.35	05:00		21.8	117.7	6.0		26.9	139	7.0		31.9	161	8.1	
7.62	06:00		24.2	127.8	6.5		28.9	148	7.5		33.9	169	8.6	
8.84	07:00		27.2	140.7	7.1		31.1	157	7.9		36.1	178	9.0	
10.16	08:00		28.3	136.8	6.9		30.2	153	7.8		35.2	175	8.8	

GEOTECNIA PUNO E.I.R.L.
Ingeniería de Pavimentos, Boleadoras Computarizada y Construcción

ALFREDO ALARCÓN ATAHUACHI
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP: 61732

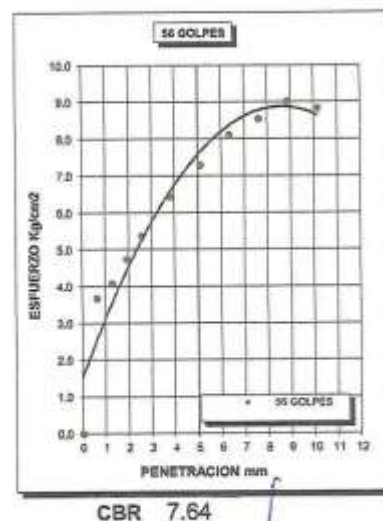
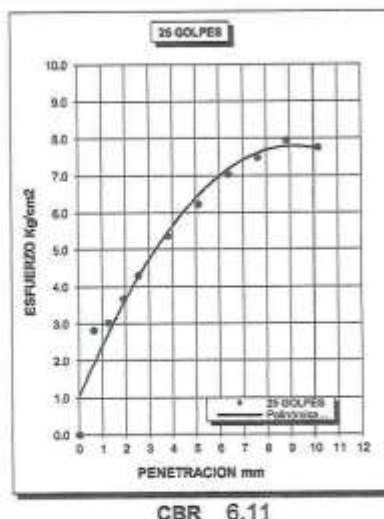
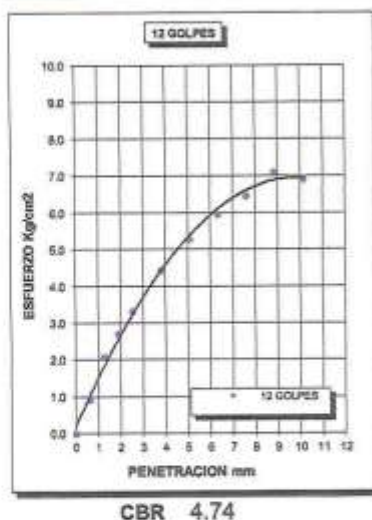
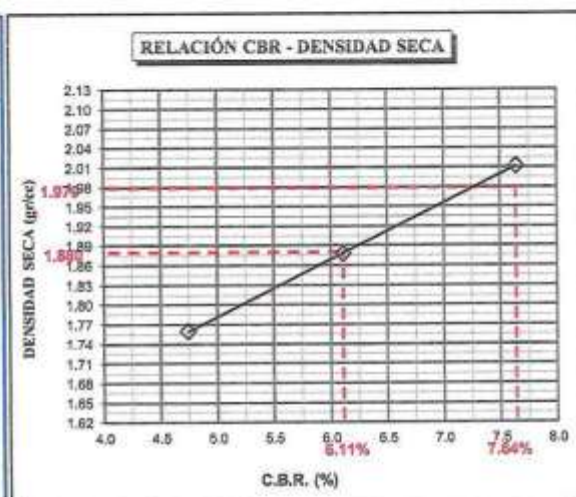
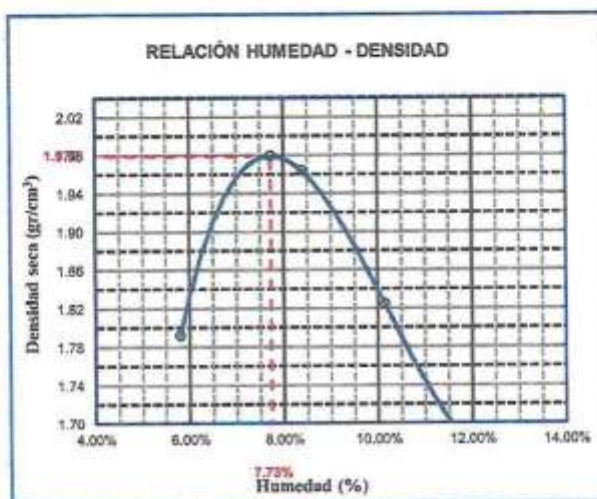
GEOTECNIA PUNO E.I.R.L.

MECANICA DE SUELOS - PAVIMENTOS - CIMENTACIONES - SUPERVISIÓN DE INGENIERÍA

Jr. Tiahuanaco H-17 Urbanización Residencial Kollasuyo I Etapa Julisca

Cel.: 979000744-954879700 geotecniapunoceirl@gmail.com

PROYECTO : INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DE CENIZA DE EUCALIPTO SOBRE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE Y SU EFECTO EN EL ESPESOR DE AFIRMADO DE VIAS EN LA PROVINCIA DE MOHO 2025 SOLICITADO : Bach. JESUS DANIEL TITO MAMANI UBICACIÓN : PROVINCIA DE MOHO MUESTRA : SUELO + 5% DE CENIZA DE EUCALIPTO - VÍA 1 FECHA : 04 DE SETIEMBRE DEL 2025	METODO DE COMPACTACIÓN ASTM D1557-91 <table> <tr> <td>MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm³.)</td><td>1.979</td></tr> <tr> <td>HUMEDAD OPTIMA (%)</td><td>7.73%</td></tr> <tr> <td>CBR AL 100 DE M.D.S. (%)</td><td>7.64</td></tr> <tr> <td>CBR AL 95% DE M.D.S. (%)</td><td>6.11</td></tr> <tr> <td>CLASIFICACIÓN :</td><td>A.2.6</td></tr> <tr> <td>AASHTO</td><td>SC</td></tr> </table>	MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm ³ .)	1.979	HUMEDAD OPTIMA (%)	7.73%	CBR AL 100 DE M.D.S. (%)	7.64	CBR AL 95% DE M.D.S. (%)	6.11	CLASIFICACIÓN :	A.2.6	AASHTO	SC
MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm ³ .)	1.979												
HUMEDAD OPTIMA (%)	7.73%												
CBR AL 100 DE M.D.S. (%)	7.64												
CBR AL 95% DE M.D.S. (%)	6.11												
CLASIFICACIÓN :	A.2.6												
AASHTO	SC												



GEOTECNIA PUNO E.I.R.L.
Ingeniería de Pavimentos, Saneamiento y Construcción

ALFREDO ALARCON ATAHUACHI
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP 81732



GEOTECNIA PUNO E.I.R.L.

MECANICA DE SUELOS- PAVIMENTOS - CIMENTACIONES- SUPERVISIÓN DE INGENIERIA

Jr. Tiahuanaco H-17 Urbanización Residencial Kollasuyo I Etapa Juliaca

Cel.: 979000744-954579700 geotecniapunoelr@gmail.com



ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

ASTM D-698 D-1557 AASHTO T-99 T-180

TESIS	: INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DE CENIZA DE EUCALIPTO SOBRE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE Y SU EFECTO EN EL ESPESOR DE AFIRMADO DE VIAS EN LA PROVINCIA DE MOHO 2025
SOLICITANTE	: Bach. JESUS DANIEL TITO MAMANI
UBICACIÓN	: PROVINCIA DE MOHO
MUESTRA	: SUELO + 7% DE CENIZA DE EUCALIPTO - VÍA 1
FECHA	: 04 DE SETIEMBRE DEL 2025

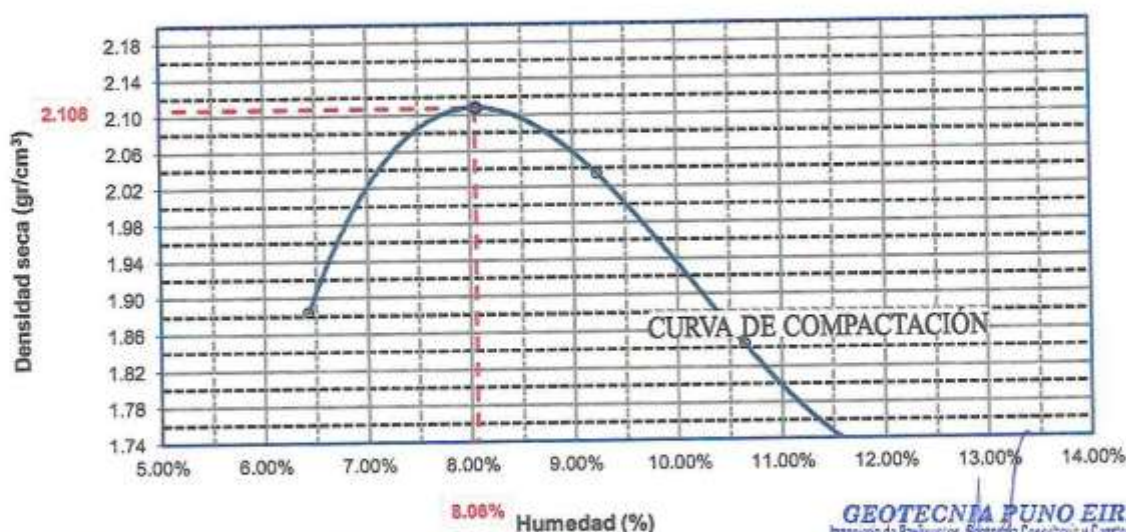
MOLDE No	:	1	VOLUMEN DEL MOLDE	:	2104 cm ³
No DE CAPAS	:	5	GOLPES POR CAPA	:	56 golpes

Peso Suelo Humedo + Molde	gr.	10200	10655	10275	10035
Peso del Molde	gr.	5982	5982	5982	5982
Peso del Suelo Humedo	gr/cm ³ .	4218	4673	4293	4053
Densidad del Suelo Humedo	gr/cm ³ .	2.005	2.221	2.040	1.926

Capsula No	No	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.
Suelo Humedo + Capsula	gr.	424.10	414.33	443.20	423.09	435.22	414.60	411.39	390.27
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	403.04	392.49	412.99	391.03	399.68	381.13	364.99	362.25
Peso del Agua	gr.	21.06	21.84	30.21	32.06	35.54	33.47	46.40	28.02
Peso de la Capsula	gr.	62.71	64.35	63.41	64.61	66.66	65.87	65.79	66.54
Peso del Suelo Seco	gr.	340.33	328.14	349.58	326.42	333.02	315.26	299.21	295.71
% de Humedad	%	6.19%	6.65%	8.64%	9.82%	10.67%	10.62%	15.51%	9.48%
Promedio de Humedad	%	6.42%		9.23%		10.64%		12.49%	
Densidad del Suelo Seco	%	1.884		2.033		1.844		1.712	

METODO:	ASTM D - 1557	MAXIMA DENSIDAD SECA	:	2.108 gr/cm ³
	MODIFICADO "C"	HUMEDAD OPTIMA	:	8.06%

RELACIÓN HUMEDAD - DENSIDAD



GEOTECNIA PUNO E.I.R.L.
Ingeniería de Pavimentos, Geotecnia Consultoría y Construcción

ALFREDO ALARCÓN ATAHUACHI
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP. 81732



GEOTECNIA PUNO E.I.R.L.

MECANICA DE SUELOS - PAVIMENTOS - CIMENTACIONES - SUPERVISION DE INGENIERIA

Jr. Tiahuanaco H-17 Urbanización Residencial Kollasuyo I Etapa Juliaca

Cel.: 979000744-954879700 geotecniaspuno@gmail.com



RELACION HUMEDAD - DENSIDAD PROCTOR

TESIS	: INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DE CENIZA DE EUCALIPTO SOBRE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE Y SU EFECTO EN EL ESPESOR DE AFIRMADO DE VIAS EN LA PROVINCIA DE MOHO 2025.
SOLICITANTE	: Bach. JESUS DANIEL TITO MAMANI
UBICACIÓN	: PROVINCIA DE MOHO
MUESTRA	: SUELO + 7% DE CENIZA DE EUCALIPTO - VÍA 1
FECHA	: 04 DE SETIEMBRE DEL 2025

MOLDE No	III		II		I	
No DE CAPAS	5		5		5	
NUMERO DE GOLPES POR CAPA	12		25		56	
CONDICIONES DE LA MUESTRA	SATURADO	SIN SATURAR	SATURADO	SIN SATURAR	SATURADO	SIN SATURAR

Peso Suelo Humedo + Molde	gr.	12410	12281	12556	12421	12965	12741
Peso del Molde	gr.	8150	8150	8200	8200	8290	8290
Peso del Suelo Humedo	gr.	4260	4131	4356	4221	4675	4451
Volumen del Suelo	cc.	2104.81	2104.81	2101.91	2101.91	2096.50	2096.50
Densidad del Suelo Humedo	gr/cc.	2.024	1.963	2.072	2.008	2.230	2.123

Capsula No	No	4	2	A		5	7	B		3	1	C
Suelo Humedo + Capsula	gr.	414.57	415.26	295.48		403.44	402.90	282.01		396.08	380.38	216.33
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	380.02	376.32	272.22		382.94	381.37	262.89		379.12	344.12	203.91
Peso del Agua	gr.	34.55	38.94	23.26		20.50	21.53	19.32		15.96	18.26	12.42
Peso de la Capsula	gr.	36.43	36.68	36.67		39.71	35.83	36.65		39.65	37.82	37.47
Peso del Suelo Seco	gr.	343.59	339.64	235.35		343.23	345.54	226.04		339.47	306.30	166.44
% de Humedad	%	10.06%	11.47%	9.88%		5.97%	6.23%	8.55%		4.70%	5.31%	7.46%
Promedio de Humedad	%	10.76%		9.88%		6.10%		8.55%		5.00%		7.46%
Densidad del Suelo Seco	gr/cc.	1.827		1.786		1.953		1.850		2.124		1.976

EXPANSION

Fecha	Hora	Tiempo	Dial	Expansion mm	%	Dial	Expansion mm	%	Dial	Expansion mm	%
29/09/2023	08:25: a.m.	0	297.00	0.00	0.00	258.00	0	0.00	118.00	0	0.00
30/09/2023	08:25: a.m.	24:00:00	305.00	0.20	0.17	263.00	0.13	0.11	122.00	0.10	0.09
1/10/2023	08:25: a.m.	48:00:00	307.00	0.25	0.22	267.00	0.23	0.20	125.00	0.18	0.15
2/10/2023	08:25: a.m.	72:00:00	310.00	0.33	0.28	270.00	0.30	0.26	129.00	0.28	0.24
3/10/2023	08:25: a.m.	96:00:00	314.00	0.43	0.37	274.00	0.41	0.35	132.00	0.36	0.31

PENETRACION

Penetración mm	Tiempo	Carga Est.	MOLDE No III				MOLDE No II				MOLDE No I			
			Dial	Kg	Kg/cm2	Correc.	Dial	Kg	Kg/cm2	Correc.	Dial	Kg	Kg/cm2	Correc.
0.00	0:00		0.0	0.0	0.0		0.0	0.0	0.0		0.0	0.0	0.0	
0.63	00:30		15.3	90.2	0.9		26.2	136	6.9		34.33	171	8.6	
1.27	01:00		17.3	88.4	5.0		27.2	140	7.1		36.27	179	9.1	
1.91	01:30		20.3	111.3	5.6		30.2	153	7.7		39.30	192	9.7	
2.54	02:00	70.31	23.4	124.6	6.3		33.4	167	8.4		42.48	205	10.4	
3.81	03:00		28.2	144.9	7.3		38.1	187	9.4		47.22	226	11.4	
5.09	04:00	105.00	32.4	162.4	8.2		42.3	205	10.3		51.39	243	12.3	
6.35	05:00		36.0	177.9	9.0		45.9	220	11.1		54.99	259	13.1	
7.62	06:00		38.0	185.5	9.4		47.9	229	11.6		57.03	267	13.5	
8.84	07:00		40.2	195.8	9.9		40.1	195	9.9		59.21	276	14.0	
10.16	08:00		39.3	192.1	9.7		35.2	175	8.8		58.33	273	13.8	

GEOTECNIA PUNO E.I.R.L.
Ingeniería de Pavimentos, Geotecnia Consultoría y Construcción

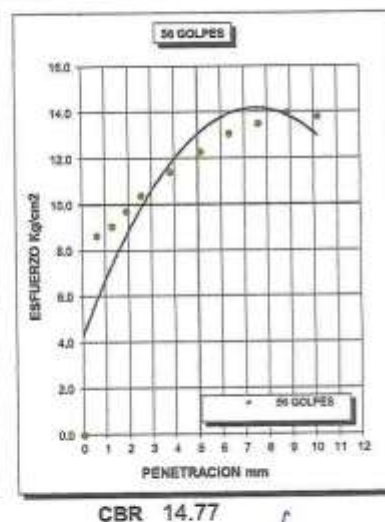
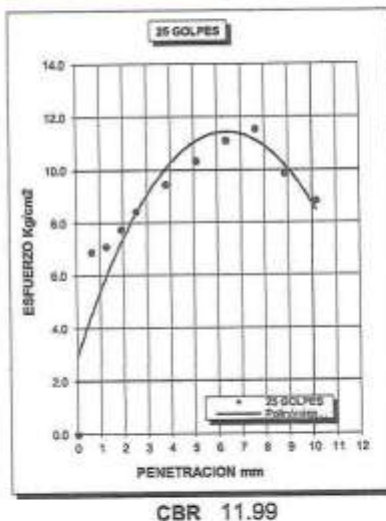
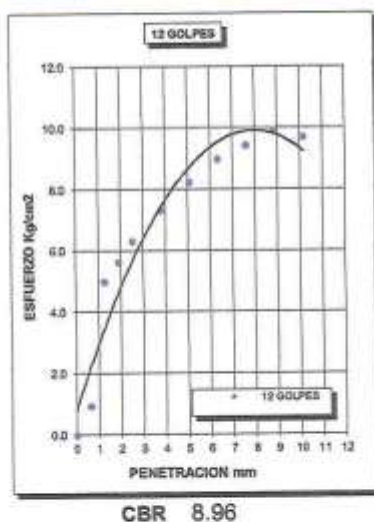
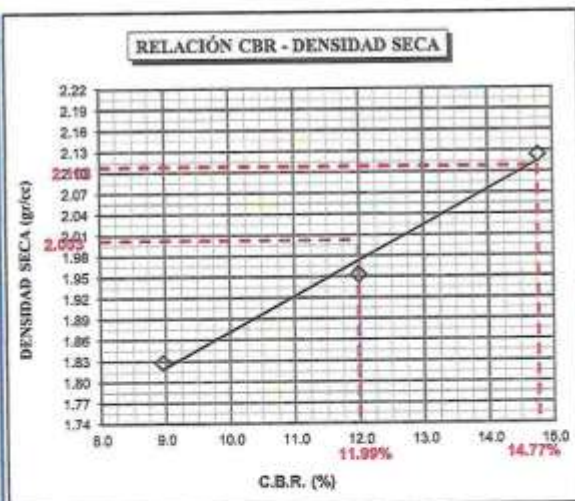
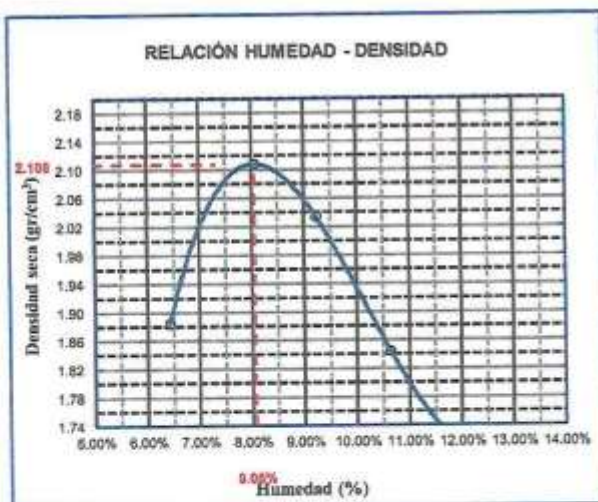
ALFREDO ALARCÓN ATAHUACHI
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP 81732

GEOTECNIA PUNO E.I.R.L.

MECÁNICA DE SUELOS - PAVIMENTOS - CIMENTACIONES - SUPERVISIÓN DE INGENIERÍA

Jr. Tiahuanaco H-17 Urbanización Residencial Kollasuyo I Etapa Judicial
Cel.: 979000744-954879700 geotecniapunoelr@gmail.com

PROYECTO : INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DE CENIZA DE EUCALIPTO SOBRE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE Y SU EFECTO EN EL ESPESOR DE AFIRMADO DE VIAS EN LA PROVINCIA DE MOHO 2025	METODO DE COMPACTACIÓN ASTM D1557-91
SOLICITADO : Bach. JESUS DANIEL TITO MAMANI	MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm³.) 2.108 HUMEDAD OPTIMA (%) 8.06% CBR AL 100 DE M.D.S. (%) 14.77 CBR AL 95% DE M.D.S. (%) 11.99
UBICACIÓN : PROVINCIA DE MOHO	CLASIFICACIÓN : a-2-6 AASHTO SC
MUESTRA : SUELO + 7% DE CENIZA DE EUCALIPTO - VÍA 1	
FECHA : 04 DE SETIEMBRE DEL 2025	



GEOTECNIA PUNO E.I.R.L.

Ingeniería de Pavimentos, Geotecnia, Construcción y Construcción

ALFREDO ALARCON ATAHUACHI

INGENIERO CIVIL

Reg. CIE 81732



GEOTECNIA PUNO E.I.R.L.

MECANICA DE SUELOS- PAVIMENTOS - CIMENTACIONES- SUPERVISIÓN DE INGENIERÍA

Jr. Tiahuanaco H-17 Urbanización Residencial Kollasuyo I Etapa Juliaca

Cel: 979000744-954879700 geotecniapunoelr@gmail.com



ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

ASTM D-698 D-1557 AASHTO T-99 T-180

TESIS	: INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DE CENIZA DE EUCALIPTO SOBRE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE Y SU EFECTO EN EL ESPESOR DE AFIRMADO DE VÍAS EN LA PROVINCIA DE MOHO 2025
SOLICITANTE	: Bach. JESUS DANIEL TITO MAMANI
UBICACIÓN	: PROVINCIA DE MOHO
MUESTRA	: SUELO + 9% DE CENIZA DE EUCALIPTO - VÍA 1
FECHA	: 04 DE SETIEMBRE DEL 2025

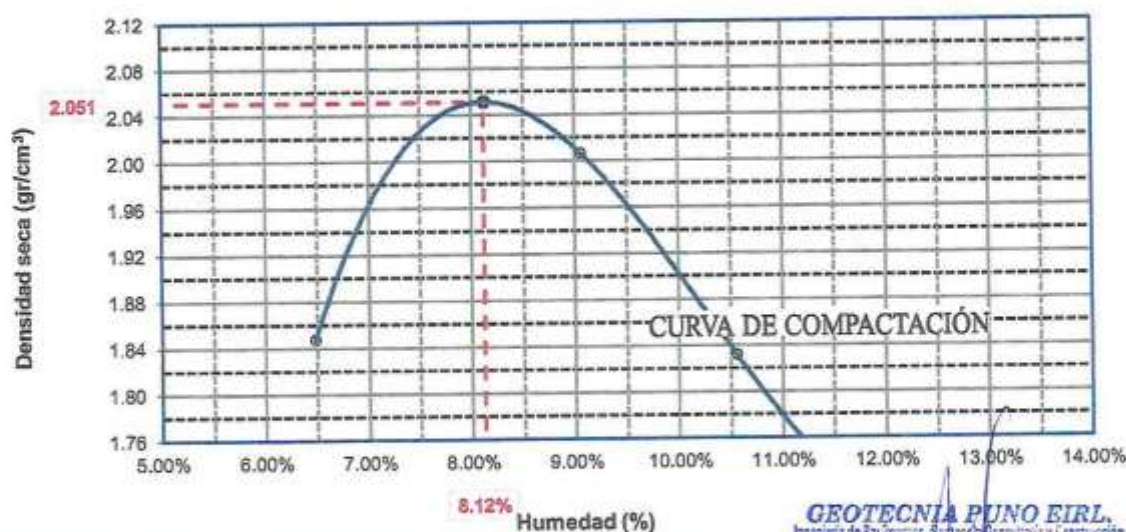
MOLDE No	:	1	VOLUMEN DEL MOLDE	:	2104 cm ³
No DE CAPAS	:	5	GOLPES POR CAPA	:	56 golpes

Peso Suelo Humedo + Molde	gr.	10120	10586	10243	9993
Peso del Molde	gr.	5982	5982	5982	5982
Peso del Suelo Húmedo	gr/cm ³ .	4138	4604	4261	4010.5
Densidad del Suelo Humedo	gr/cm ³ .	1.967	2.188	2.025	1.906

Capsula No	No	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.
Suelo Humedo + Capsula	gr.	423.23	413.46	442.33	422.22	434.35	412.73	410.52	388.40
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	402.05	391.50	412.98	390.54	398.69	380.14	363.98	361.24
Peso del Agua	gr.	21.18	21.96	29.35	31.68	35.66	32.59	46.54	26.16
Peso de la Capsula	gr.	62.72	64.35	83.41	64.63	66.67	65.89	65.79	66.58
Peso del Suelo Seco	gr.	339.33	327.15	349.57	325.91	332.02	314.25	298.19	294.66
% de Humedad	%	6.24%	6.71%	8.40%	9.72%	10.74%	10.37%	15.61%	9.56%
Promedio de Humedad	%	6.48%		9.06%		10.56%		12.58%	
Densidad del Suelo Seco	%	1.847		2.006		1.832		1.693	

METODO:	ASTM D - 1557	MAXIMA DENSIDAD SECA	:	2.051 gr/cm ³
	MODIFICADO "C"	HUMEDAD OPTIMA	:	8.12%

RELACIÓN HUMEDAD - DENSIDAD



GEOTECNIA PUNO E.I.R.L.
Ingeniería de Pavimentos, Saneamiento Ambiental y Construcción

ALFREDO ALARCON ATAHUACHI
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP. 81732



GEOTECNIA PUNO E.I.R.L.

MECANICA DE SUELOS- PAVIMENTOS - CIMENTACIONES- SUPERVISION DE INGENIERIA

Jr. Tiahuanaco H-17 Urbanización Residencial Kollasuyo 1 Etapa Juliaca

Cel.: 979000744-954879700 geotecniapunoel@gmail.com



RELACION HUMEDAD - DENSIDAD PROCTOR

TESIS	: INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DE CENIZA DE EUCALIPTO SOBRE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE Y SU EFECTO EN EL ESPESOR DE AFIRMACIÓN DE VIAS EN LA PROVINCIA DE MOHO 2025.
SOLICITANTE	: Bach. JESUS DANIEL TITO MAMANI
UBICACIÓN	: PROVINCIA DE MOHO
MUESTRA	: SUELO + 9% DE CENIZA DE EUCALIPTO - VÍA 1
FECHA	: 04 DE SETIEMBRE DEL 2025

MOLDE No	III		II		I	
No DE CAPAS	5		5		5	
NUMERO DE GOLPES POR CAPA	12		25		56	
CONDICIONES DE LA MUESTRA	SATURADO	SIN SATURAR	SATURADO	SIN SATURAR	SATURADO	SIN SATURAR

Peso Suelo Humedo + Molde	gr.	12413	12284	12558	12423	12968	12744
Peso del Molde	gr.	8150	8150	8200	8200	8290	8290
Peso del Suelo Humedo	gr.	4262.5	4133.5	4358.25	4223.25	4677.75	4453.75
Volumen del Suelo	cc.	2104.81	2104.81	2101.91	2101.91	2096.50	2096.50
Densidad del Suelo Humedo	gr/cc.	2.025	1.964	2.073	2.009	2.231	2.124

Capsula No	No	4	2	A		5	7	B		3	1	C	
Suelo Humedo + Capsula	gr.	415.47	416.16	298.38		404.34	403.79	282.91		386.01	361.28	217.23	
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	377.27	372.72	275.30		386.75	384.98	266.89		387.02	337.12	207.37	
Peso del Agua	gr.	38.20	43.44	21.08		17.59	18.81	16.02		8.99	24.16	9.86	
Peso de la Capsula	gr.	36.43	36.68	36.67		39.71	35.83	36.85		39.65	37.82	37.47	
Peso del Suelo Seco	gr.	340.84	336.04	238.43		347.04	349.15	230.24		347.37	299.30	189.90	
% de Humedad	%	11.21%	12.93%	8.84%		5.07%	5.39%	6.96%		2.59%	8.07%	5.80%	
Promedio de Humedad	%	12.07%		8.84%		5.23%		6.96%		5.33%		5.80%	
Densidad del Suelo Seco	gr/cc.	1.807		1.804		1.970		1.879		2.118		2.008	

EXPANSION

Fecha	Hora	Tiempo	Dial	Expansion mm	%	Dial	Expansion mm	%	Dial	Expansion mm	%
4/10/2023	08:25: a.m.	0	297.00	0.00	0.00	258.00	0	0.00	118.00	0	0.00
5/10/2023	08:25: a.m.	24:00:00	305.00	0.20	0.17	263.00	0.13	0.11	122.00	0.10	0.09
6/10/2023	08:25: a.m.	48:00:00	307.00	0.25	0.22	267.00	0.23	0.20	125.00	0.18	0.15
7/10/2023	08:25: a.m.	72:00:00	310.00	0.33	0.28	270.00	0.30	0.26	129.00	0.28	0.24
8/10/2023	08:25: a.m.	96:00:00	314.00	0.43	0.37	274.00	0.41	0.35	132.00	0.36	0.31

PENETRACION

Penetración mm	Tiempo	Carga Est.	MOLDE No III				MOLDE No II				MOLDE No I			
			Dial	Kg	Kg/cm2	Correc.	Dial	Kg	Kg/cm2	Correc.	Dial	Kg	Kg/cm2	Correc.
0.00	0:00		0.0	0.0	0.0		0.0	0.0	0.0		0.0	0.0	0.0	
0.63	00:30		11.6	74.2	0.9		22.4	120	6.1		27.85	142	7.2	
1.27	01:00		13.4	81.9	4.1		23.5	125	6.3		29.57	151	7.6	
1.91	01:30		16.5	95.0	4.8		26.4	137	6.9		32.58	163	8.3	
2.54	02:00	70.31	19.3	107.1	5.4		29.3	150	7.6		35.74	177	8.9	
3.81	03:00		24.5	128.9	6.5		34.3	171	8.6		40.77	198	10.0	
5.09	04:00	105.00	26.4	145.8	7.4		38.3	188	9.5		44.51	214	10.8	
6.35	05:00		32.2	161.6	8.2		42.0	203	10.3		48.25	230	11.6	
7.62	06:00		34.3	170.5	8.6		44.2	213	10.8		50.31	239	12.1	
8.84	07:00		36.5	179.3	9.1		36.4	179	9.1		52.46	248	12.5	
10.16	08:00		35.6	176.4	8.9		35.5	176	8.9		51.81	244	12.3	

GEOTECNIA PUNO E.I.R.L.
Ingeniería de Pavimentos, Saneamiento Ambiental y Construcción

ALFREDO ALARCON ATAHUACHI
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP. 81732



GEOTECNIA PUNO E.I.R.L.

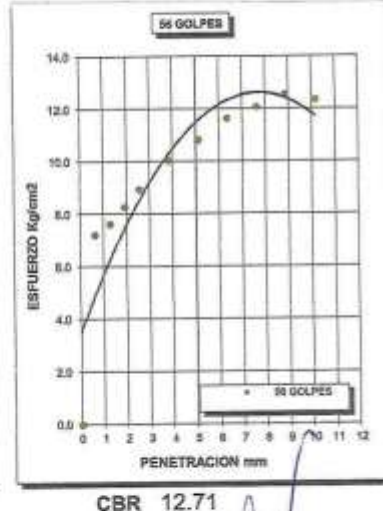
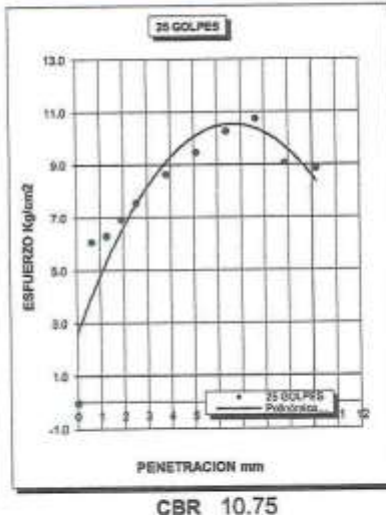
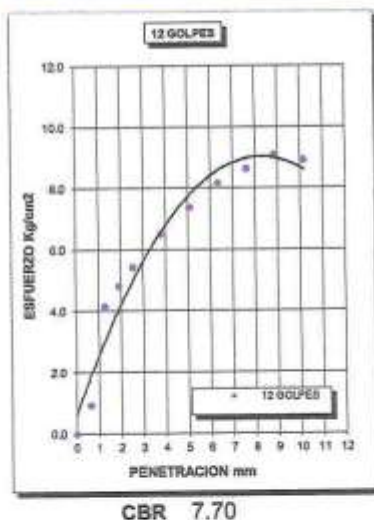
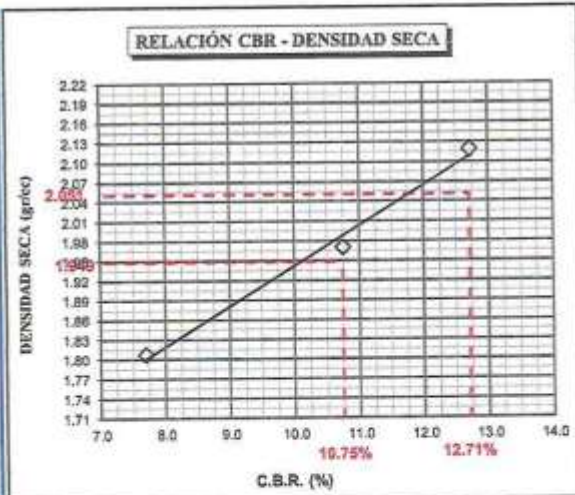
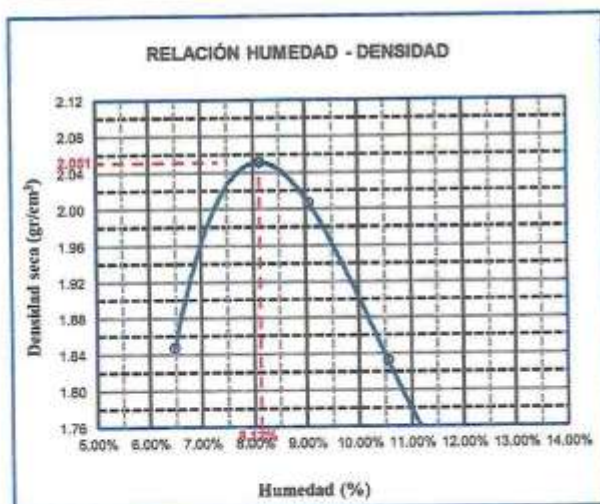
MECÁNICA DE SUELOS - PAVIMENTOS - CIMENTACIONES - SUPERVISIÓN DE INGENIERÍA

Jr. Tishuanaco H-17 Urbanización Residencial Kollasuyo | Etapa Juliaca

Cel.: 979000744-954879700 geotecniaspunoelir@gmail.com



PROYECTO : INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DE CENIZA DE EUCALIPTO SOBRE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE Y SU EFECTO EN EL ESPESOR DE AFIRMADO DE VIAS EN LA PROVINCIA DE MOHO 2025	METODO DE COMPACTACIÓN ASTM D1557-91
SOLICITADO : Bach. JESUS DANIEL TITO MAMANI	MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm³.) 2.051
UBICACIÓN : PROVINCIA DE MOHO	HUMEDAD OPTIMA (%) 8.12%
MUESTRA : SUELO + 9% DE CENIZA DE EUCALIPTO - VÍA 1	CBR AL 100 DE M.D.S. (%) 12.71
FECHA : 04 DE SETIEMBRE DEL 2025	CBR AL 95% DE M.D.S. (%) 10.75
	CLASIFICACIÓN : A-2-6
	AASHTO SC



GEOTECNIA PUNO E.I.R.L.
Ingeniería de Pavimentación, Estudios, Consultoría y Construcción

ALFREDO ALARCON ATAHUACHI
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP 81732



GEOTECNIA PUNO E.I.R.L.

MECANICA DE SUELOS - PAVIMENTOS - CIMENTACIONES - SUPERVISIÓN DE INGENIERÍA

Jr. Tiahuanaco H-17 Urbanización Residencial Kollasuyo I Etapa Juliaca

Cel.: 979000744-954879700 geotecniapunoeirl@gmail.com



ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

ASTM D-698 D-1557 AASHTO T-99 T-180

TESIS	: INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DE CENIZA DE EUCALIPTO SOBRE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE Y SU EFECTO EN EL ESPESOR DE AFIRMADO DE VÍAS EN LA PROVINCIA DE MOHO 2025
SOLICITANTE	: Bach. JESUS DANIEL TITO MAMANI
UBICACIÓN	: PROVINCIA DE MOHO
MUESTRA	: SUELO + 5% DE CENIZA DE EUCALIPTO - VÍA 2
FECHA	: 05 DE SETIEMBRE DEL 2025

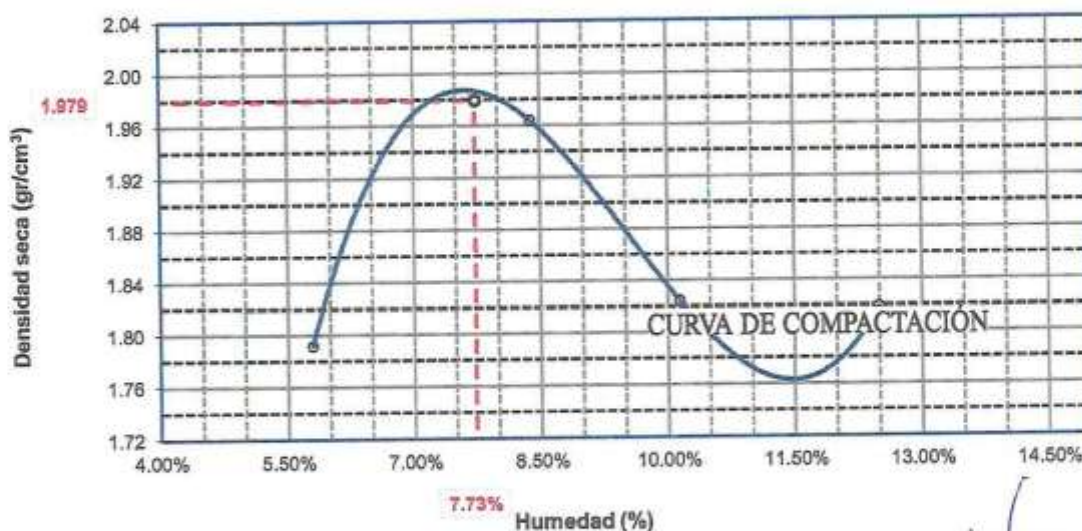
MOLDE No	:	1	VOLUMEN DEL MOLDE	:	2104 cm ³
No DE CAPAS	:	5	GOLPES POR CAPA	:	56 golpes

Peso Suelo Humedo + Molde	gr.	9970	10460	10210	10287
Peso del Molde	gr.	5982	5982	5982	5982
Peso del Suelo Húmedo	gr/cm ³ .	3988	4478	4228	4305
Densidad del Suelo Humedo	gr/cm ³ .	1.895	2.128	2.010	2.046

Capsula No	No	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.
Suelo Humedo + Capsula	gr.	424.12	414.35	443.22	423.11	435.24	414.82	411.41	390.29
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	404.03	395.48	413.98	395.23	400.67	383.12	365.98	361.24
Peso del Agua	gr.	20.09	18.87	29.24	27.88	34.57	31.50	45.43	29.05
Peso de la Capsula	gr.	62.72	64.36	63.42	64.62	66.67	65.88	65.79	66.55
Peso del Suelo Seco	gr.	341.31	331.12	350.56	330.61	334.00	317.24	300.19	294.69
% de Humedad	%	5.89%	5.70%	8.34%	8.43%	10.35%	9.93%	15.13%	9.86%
Promedio de Humedad	%	5.79%		8.39%		10.14%		12.50%	
Densidad del Suelo Seco	%	1.792		1.964		1.825		1.819	

METODO:	ASTM D - 1557	MAXIMA DENSIDAD SECA	:	1.979 gr/cm ³
	MODIFICADO "C"	HUMEDAD OPTIMA	:	7.73%

RELACIÓN HUMEDAD - DENSIDAD



GEOTECNIA PUNO E.I.R.L.
Ingeniería de Pavimentos, Geotecnia, Carpintería y Construcción

ALFREDO ALFARO ATAHUACHI
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP 81732



GEOTECNIA PUNO E.I.R.L.

MECANICA DE SUELOS- PAVIMENTOS - CIMENTACIONES- SUPERVISIÓN DE INGENIERÍA

Jr. Tiahuanaco H-17 Urbanización Residencial Kollasuyo I Etapa Juliaca

Cel.: 979000744-954879700 geotecniapunoeir@gmail.com



RELACION HUMEDAD - DENSIDAD PROCTOR

TESIS	: INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DE CENIZA DE EUCALIPTO SOBRE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE Y SU EFECTO EN EL ESPESOR DE AFIRMADO DE VIAS EN LA PROVINCIA DE MOHO 2025
SOLICITANTE	: Bach. JESUS DANIEL TITO MAMANI
UBICACIÓN	: PROVINCIA DE MOHO
MUESTRA	: SUELO + 5% DE CENIZA DE EUCALIPTO - VÍA 2
FECHA	: 05 DE SETIEMBRE DEL 2025

MOLDE No	III		II		I	
No DE CAPAS	5		5		5	
NUMERO DE GOLPES POR CAPA	12		25		56	
CONDICIONES DE LA MUESTRA	SATURADO	SIN SATURAR	SATURADO	SIN SATURAR	SATURADO	SIN SATURAR

Peso Suelo Humedo + Molde	gr.	12403	12274	12547	12412	12958	12734
Peso del Molde	gr.	8150	8150	8200	8200	8290	8290
Peso del Suelo Humedo	gr.	4253	4124	4347	4212	4668	4444
Volumen del Suelo	cc.	2104.81	2104.81	2101.91	2101.91	2096.50	2096.50
Densidad del Suelo Humedo	gr/cc.	2.021	1.959	2.068	2.004	2.227	2.120

Capsula No	No	5	4	B		15	14	E		4	10	T	
Suelo Humedo + Capsula	gr.	414.47	415.16	295.38		404.28	403.74	280.83		393.94	389.26	215.17	
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	367.51	364.32	276.13		370.97	369.39	262.69		361.12	327.14	203.93	
Peso del Agua	gr.	46.96	50.84	19.25		33.31	34.35	18.14		32.82	32.12	11.24	
Peso de la Capsula	gr.	36.44	36.89	36.88		39.72	35.84	36.66		39.66	37.83	37.48	
Peso del Suelo Seco	gr.	331.07	327.63	239.25		331.25	333.55	226.03		321.46	289.31	166.45	
% de Humedad	%	14.18%	15.52%	8.05%		10.06%	10.30%	8.03%		10.21%	11.10%	6.75%	
Promedio de Humedad	%	14.85%		8.05%		10.18%		8.03%		10.66%		6.75%	
Densidad del Suelo Seco	gr/cc.	1.759		1.813		1.877		1.855		2.012		1.986	

EXPANSION

Fecha	Hora	Tiempo	Dial	Expansion mm	%	Dial	Expansion mm	%	Dial	Expansion mm	%
25/09/2023	08:25: a.m.	0	302.00	0.00	0.00	264.00	0	0.00	123.00	0	0.00
26/09/2023	08:25: a.m.	24:00:00	310.00	0.20	0.17	268.00	0.10	0.09	127.00	0.10	0.09
27/09/2023	08:25: a.m.	48:00:00	312.00	0.25	0.22	272.00	0.20	0.17	130.00	0.18	0.15
28/09/2023	08:25: a.m.	72:00:00	315.00	0.33	0.28	275.00	0.28	0.24	134.00	0.28	0.24
29/09/2023	08:25: a.m.	96:00:00	319.00	0.43	0.37	279.00	0.38	0.33	137.00	0.36	0.31

PENETRACION

Penetración mm	Tiempo	Carga Est.	MOLDE No III				MOLDE No II				MOLDE No I			
			Dial	Kg	Kg/cm2	Correc.	Dial	Kg	Kg/cm2	Correc.	Dial	Kg	Kg/cm2	Correc.
0.00	0.00		0.0	0.0	0.0		0.0	0.0	0.0		0.0	0.0	0.0	
0.63	00:30		1.7	32.4	0.9		7.2	58	2.8		11.2	73	3.7	
1.27	01:00		3.7	41.0	2.1		8.2	60	3.0		13.2	81	4.1	
1.91	01:30		6.7	53.7	2.7		11.2	73	3.7		16.2	94	4.7	
2.54	02:00	70.31	9.6	65.8	3.3		14.1	85	4.3		19.2	107	5.4	
3.81	03:00		14.7	87.7	4.4		19.1	106	5.4		24.1	128	6.4	
5.09	04:00	105.00	18.7	104.4	5.3		23.2	123	6.2		28.2	145	7.3	
6.35	05:00		21.8	117.7	6.0		26.9	139	7.0		31.9	161	8.1	
7.62	06:00		24.2	127.8	6.5		28.9	148	7.5		33.9	169	8.6	
8.84	07:00		27.2	140.7	7.1		31.1	157	7.9		36.1	178	9.0	
10.16	08:00		26.3	136.8	6.9		30.2	153	7.6		35.2	175	8.8	

GEOTECNIA PUNO E.I.R.L.
Ingeniería de Pavimentos, Geotecnia y Construcción

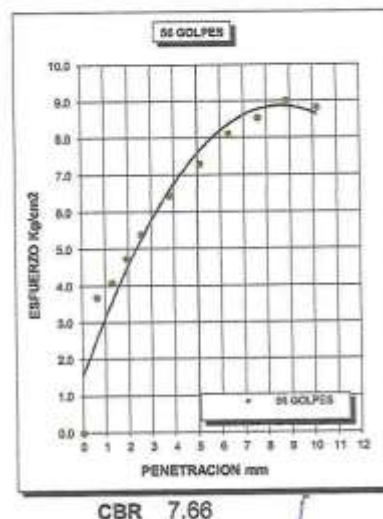
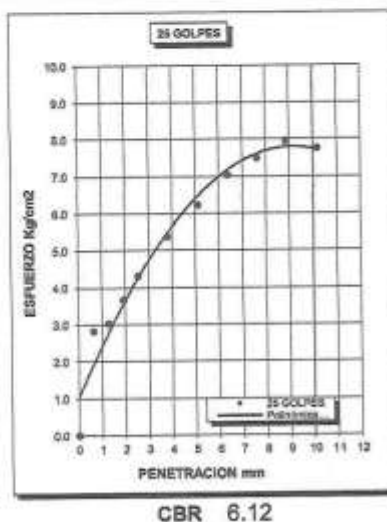
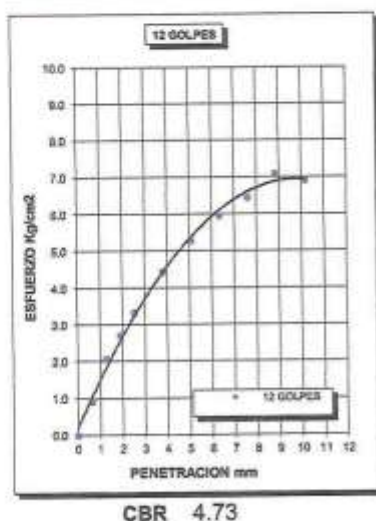
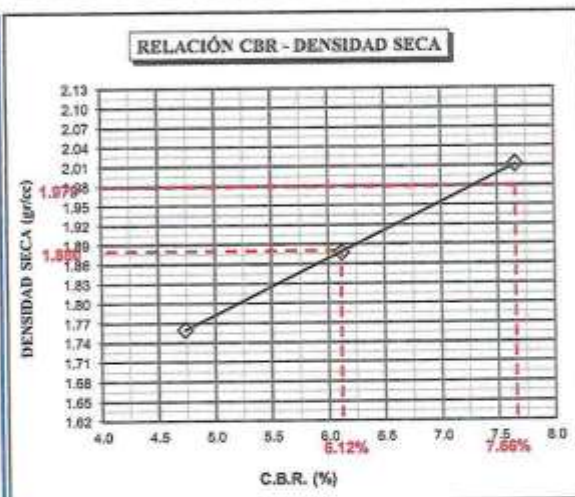
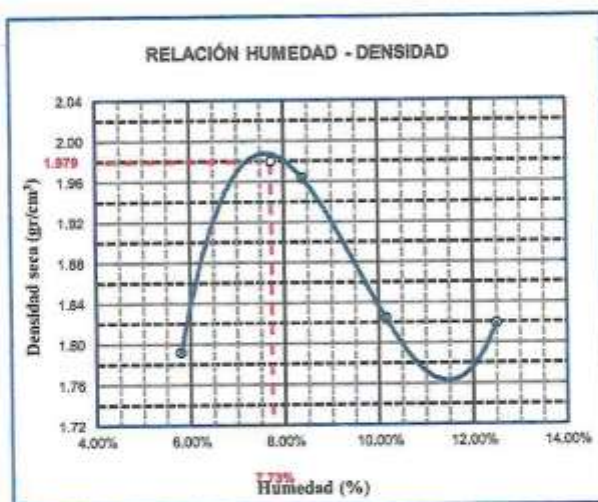
ALFREDO ALARCON ATAHUACHI
INGENIERO CIVIL
Reg. S.C.P. 81732

GEOTECNIA PUNO E.I.R.L.

MECANICA DE SUELOS - PAVIMENTOS - CIMENTACIONES - SUPERVISIÓN DE INGENIERÍA

Jr. Tiahuanaco H-17 Urbanización Residencial Kollasuyo I Etapa Juliaca
Cel.: 979000744-854879700 geotecniapunoerl@gmail.com

PROYECTO : INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DE CENIZA DE EUCALIPTO SOBRE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE Y SU EFECTO EN EL ESPESOR DE AFIRMADO DE VIAS EN LA PROVINCIA DE MOHO 2025	METODO DE COMPACTACIÓN ASTM D1557-91
SOLICITADO : Bach. JESUS DANIEL TITO MAMANI	MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm³.) 1.979 HUMEDAD OPTIMA (%) 7.73% CBR AL 100 DE M.D.S. (%) 7.66 CBR AL 95% DE M.D.S. (%) 6.12
UBICACIÓN : PROVINCIA DE MOHO	CLASIFICACIÓN : A.2.6 AASHTO SC
MUESTRA : SUELO + 5% DE CENIZA DE EUCALIPTO - VÍA 2	
FECHA : 05 DE SETIEMBRE DEL 2025	



GEOTECNIA PUNO E.I.R.L.
Ingeniería de Pavimentos, Saneamiento y Construcción

ALFREDO ALARCON ATAHUACHI
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP: 81732



GEOTECNIA PUNO E.I.R.L.

MECANICA DE SUELOS- PAVIMENTOS- CIMENTACIONES- SUPERVISION DE INGENIERIA

Jr. Tiahuanaco H-17 Urbanización Residencial Kollasuyo I Etapa Juliaca

Cel.: 979000744-954879700 geotecniapunoeir@gmail.com



ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

ASTM D-698 D-1557 AASHTO T-99 T-180

TESIS	: INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DE CENIZA DE EUCALIPTO SOBRE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE Y SU EFECTO EN EL ESPESOR DE AFIRMACO DE VIAS EN LA PROVINCIA DE MOHO 2025
SOLICITANTE	: Bach. JESUS DANIEL TITO MAMANI
UBICACIÓN	: PROVINCIA DE MOHO
MUESTRA	: SUELO + 7% DE CENIZA DE EUCALIPTO - VÍA 2
FECHA	: 05 DE SETIEMBRE DEL 2025

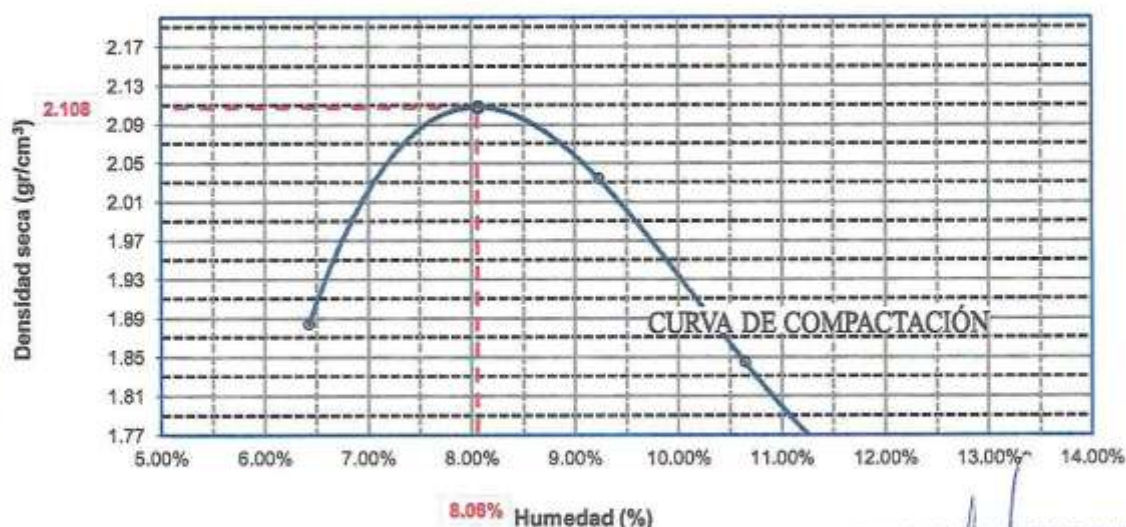
MOLDE No	: 1	VOLUMEN DEL MOLDE	: 2104 cm ³
No DE CAPAS	: 5	GOLPES POR CAPA	: 56 golpes

Peso Suelo Humedo + Molde	gr.	10200	10655	10275	10035
Peso del Molde	gr.	5982	5982	5982	5982
Peso del Suelo Húmedo	gr/cm ³ .	4218	4673	4293	4053
Densidad del Suelo Húmedo	gr/cm ³ .	2.005	2.221	2.040	1.926

Capsula No	No	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.
Suelo Humedo + Capsula	gr.	424.10	414.33	443.20	423.09	435.22	414.60	411.39	390.27
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	403.04	392.49	412.99	391.03	399.68	381.13	364.99	362.26
Peso del Agua	gr.	21.06	21.84	30.21	32.06	35.54	33.47	46.40	28.02
Peso de la Capsula	gr.	62.71	64.35	63.41	64.61	66.66	65.67	65.78	66.54
Peso del Suelo Seco	gr.	340.33	328.14	349.58	326.42	333.02	315.26	298.21	295.71
% de Humedad	%	6.19%	6.66%	8.64%	9.82%	10.67%	10.62%	15.51%	9.48%
Promedio de Humedad	%	6.42%		9.23%		10.64%		12.49%	
Densidad del Suelo Seco	%	1.884		2.033		1.844		1.712	

METODO:	ASTM D - 1557	MAXIMA DENSIDAD SECA	: 2.108 gr/cm ³
	MODIFICADO "C"	HUMEDAD OPTIMA	: 8.06%

RELACIÓN HUMEDAD - DENSIDAD



GEOTECNIA PUNO E.I.R.L.
Ingeniería de Pavimentación, Geotecnia Consultoría y Construcción

ALFREDO L. LACOM ATAHUACHI
INGENIERO CIVIL
Edo. CIE 81732



GEOTECNIA PUNO E.I.R.L.

MECÁNICA DE SUELOS - PAVIMENTOS - CIMENTACIONES - SUPERVISIÓN DE INGENIERÍA

Jr. Tiahuanaco H-17 Urbanización Residencial Kollasuyo I Etapa Juliaca

Cel.: 979000744-954879700 geotecniapunoel@gmail.com



RELACION HUMEDAD - DENSIDAD PROCTOR

TESIS	: INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DE CENIZA DE EUCALIPTO SOBRE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE Y SU EFECTO EN EL ESPESOR DE AFIRMADO DE VÍAS EN LA PROVINCIA DE MOHO 2025
SOLICITANTE	: Bach. JESUS DANIEL TITO MAMANI
UBICACIÓN	: PROVINCIA DE MOHO
MUESTRA	: SUELO + 7% DE CENIZA DE EUCALIPTO - VÍA 2
FECHA	: 05 DE SETIEMBRE DEL 2025

MOLDE No	III		II		I	
No DE CAPAS	5		5		5	
NUMERO DE GOLPES POR CAPA	12		25		56	
CONDICIONES DE LA MUESTRA	SATURADO	SIN SATURAR	SATURADO	SIN SATURAR	SATURADO	SIN SATURAR

Peso Suelo Humedo + Molde	gr.	12410	12281	12556	12421	12965	12741
Peso del Molde	gr.	8150	8150	8200	8200	8290	8290
Peso del Suelo Humedo	gr.	4260	4131	4356	4221	4675	4451
Volumen del Suelo	cc.	2104.81	2104.81	2101.91	2101.91	2096.50	2096.50
Densidad del Suelo Humedo	gr/cc.	2.024	1.963	2.072	2.008	2.230	2.123

Capsula No	No	4	2	A	5	7	B	3	1	C
Suelo Humedo + Capsula	gr.	414.57	415.26	295.48	403.44	402.90	282.01	395.08	360.38	218.33
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	380.02	378.32	272.22	382.94	381.37	262.89	379.12	344.12	203.91
Peso del Agua	gr.	34.55	36.94	23.26	20.50	21.53	19.32	15.96	16.26	12.42
Peso de la Capsula	gr.	36.43	36.68	36.87	39.71	35.83	36.85	39.65	37.82	37.47
Peso del Suelo Seco	gr.	343.59	339.64	235.35	343.23	345.54	226.04	339.47	306.30	166.44
% de Humedad	%	10.06%	11.47%	9.88%	5.97%	6.23%	8.55%	4.70%	5.31%	7.46%
Promedio de Humedad	%	10.76%		9.88%	6.10%		8.55%	5.00%		7.46%
Densidad del Suelo Seco	gr/cc.	1.827		1.786	1.953		1.850	2.124		1.976

EXPANSION

Fecha	Hora	Tiempo	Dial	Expansion		Dial	Expansion		Dial	Expansion	
				mm	%		mm	%		mm	%
29/09/2023	08:25: a.m.	0	297.00	0.00	0.00	258.00	0	0.00	118.00	0	0.00
30/09/2023	08:25: a.m.	24:00:00	305.00	0.20	0.17	263.00	0.13	0.11	122.00	0.10	0.09
1/10/2023	08:25: a.m.	48:00:00	307.00	0.25	0.22	267.00	0.23	0.20	125.00	0.18	0.15
2/10/2023	08:25: a.m.	72:00:00	310.00	0.33	0.28	270.00	0.30	0.26	129.00	0.28	0.24
3/10/2023	08:25: a.m.	96:00:00	314.00	0.43	0.37	274.00	0.41	0.35	132.00	0.36	0.31

PENETRACION

PENETRACION														
Penetracion mm	Tiempo	Carga Est.	MOLDE No III				MOLDE No II				MOLDE No I			
			Dial	Kg	Kg/cm2	Correc.	Dial	Kg	Kg/cm2	Correc.	Dial	Kg	Kg/cm2	Correc.
0.00	0.00		0.0	0.0	0.0		0.0	0.0	0.0		0.0	0.0	0.0	
0.63	00:30		15.3	90.2	0.9		26.2	136	6.9		34.33	171	8.6	
1.27	01:00		17.3	98.4	5.0		27.2	140	7.1		36.27	179	9.1	
1.91	01:30		20.3	111.3	5.6		30.2	153	7.7		39.30	192	9.7	
2.54	02:00	70.31	23.5	125.0	6.3		33.6	168	8.5		42.62	206	10.4	
3.81	03:00		28.2	144.9	7.3		38.1	187	9.4		47.22	226	11.4	
5.09	04:00	105.00	32.8	163.3	8.3		42.5	205	10.4		51.51	244	12.3	
6.35	05:00		36.0	177.9	9.0		45.9	220	11.1		54.99	259	13.1	
7.62	06:00		38.0	186.5	9.4		47.9	229	11.6		57.03	267	13.5	
8.84	07:00		40.2	195.8	9.9		40.1	185	9.9		59.21	276	14.0	
10.16	08:00		39.3	192.1	9.7		35.2	175	8.8		58.33	273	13.8	

GEOTECNIA PUNO E.I.R.L.
Ingeniería de Pavimentos, Restauración Consultoría y Construcción

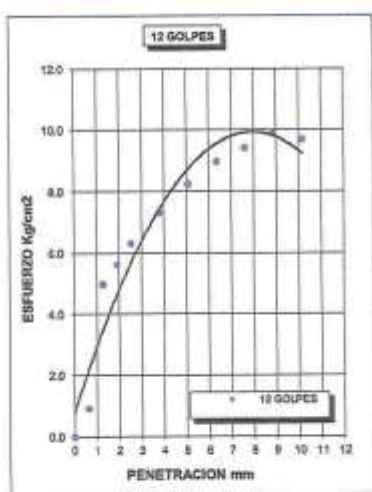
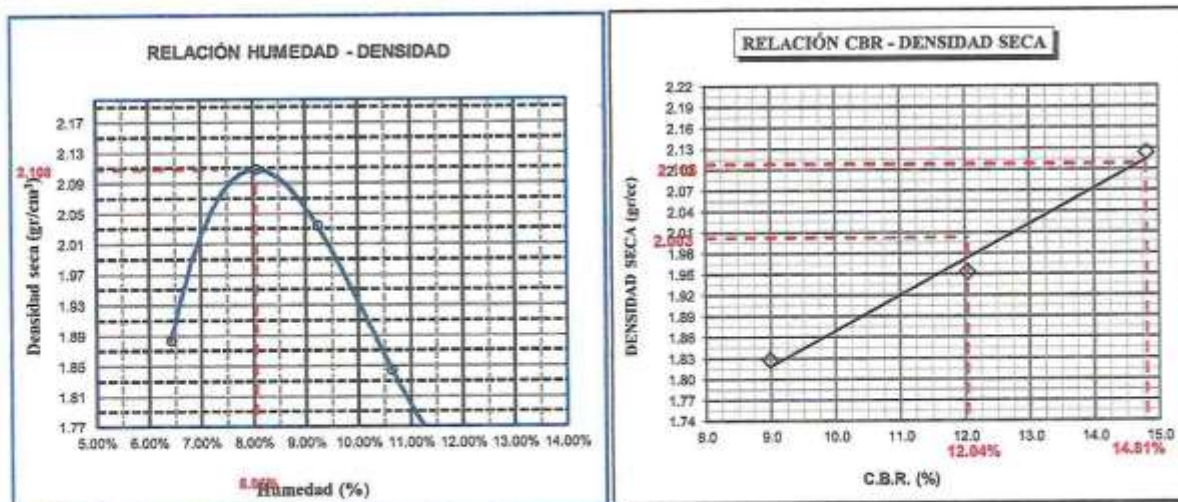
ALFREDO ALARCÓN ATAHUACHI
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP 81732



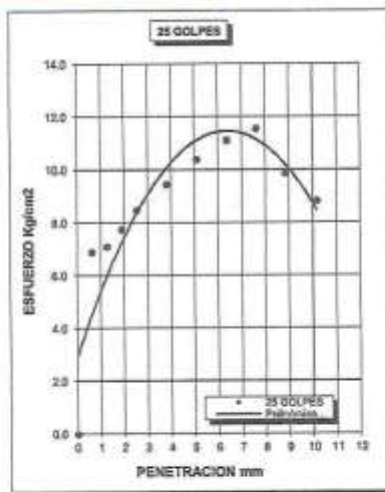
GEOTECNIA PUNO E.I.R.L.

MECÁNICA DE SUELOS - PAVIMENTOS - CIMENTACIONES - SUPERVISIÓN DE INGENIERÍA
Jr. Tiahuanaco H-17 Urbanización Residencial Kollasuyo I Etapa Juliaca
Cel.: 979000744-954879700 geotecniapunoelr@gmail.com

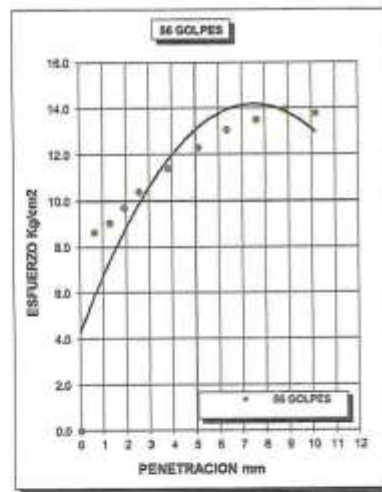
PROYECTO :	INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DE CENIZA DE EUCALIPTO SOBRE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE Y SU EFECTO EN EL ESPESOR DE AFIRMADO DE VÍAS EN LA PROVINCIA DE MOHO 2025	METODO DE COMPACTACIÓN ASTM D1557-91	
SOLICITADO :	Bach. JESÚS DANIEL TITO MAMANI	MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm ³)	2.108
UBICACIÓN :	PROVINCIA DE MOHO	HUMEDAD OPTIMA (%)	8.06%
MUESTRA :	SUELO + 7% DE CENIZA DE EUCALIPTO - VÍA 2	CBR AL 100 DE M.D.S. (%)	14.81
FECHA :	05 DE SETIEMBRE DEL 2025	CBR AL 95% DE M.D.S. (%)	12.04
		CLASIFICACIÓN :	a-2-6
		AASHTO	SC



CBR 8.99



CBR 12.04



CBR 14.81

GEOTECNIA PUNO E.I.R.L.
Ingeniería de Pavimentos, Asesoría y Consultoría y Construcción

ALFREDO ALARCÓN ATAHUACHI
INGENIERO CIVIL
Rup. CIP 81732



GEOTECNIA PUNO E.I.R.L.

MECANICA DE SUELOS- PAVIMENTOS - CIMENTACIONES- SUPERVISIÓN DE INGENIERÍA

Jr. Tiahuanaco H-17 Urbanización Residencial Kollasuyo I Etapa- Juliaca

Cel.: 979000744-954879700 geotecniapunoelr@gmail.com



ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

ASTM D-698 D-1557 AASHTO T-99 T-180

TESIS : INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DE CENIZA DE EUCALIPTO SOBRE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE Y SU EFECTO EN EL ESPESOR DE AFIRMADO DE VIAS EN LA PROVINCIA DE MOHO 2025

SOLICITANTE : Bach. JESUS DANIEL TITO MAMANI

UBICACIÓN : PROVINCIA DE MOHO

MUESTRA : SUELO + 9% DE CENIZA DE EUCALIPTO - VÍA 2

FECHA : 05 DE SETIEMBRE DEL 2025

MOLDE No : 1 **VOLUMEN DEL MOLDE** : 2104 cm³

No DE CAPAS : 5 **GOLPES POR CAPA** : 56 golpes

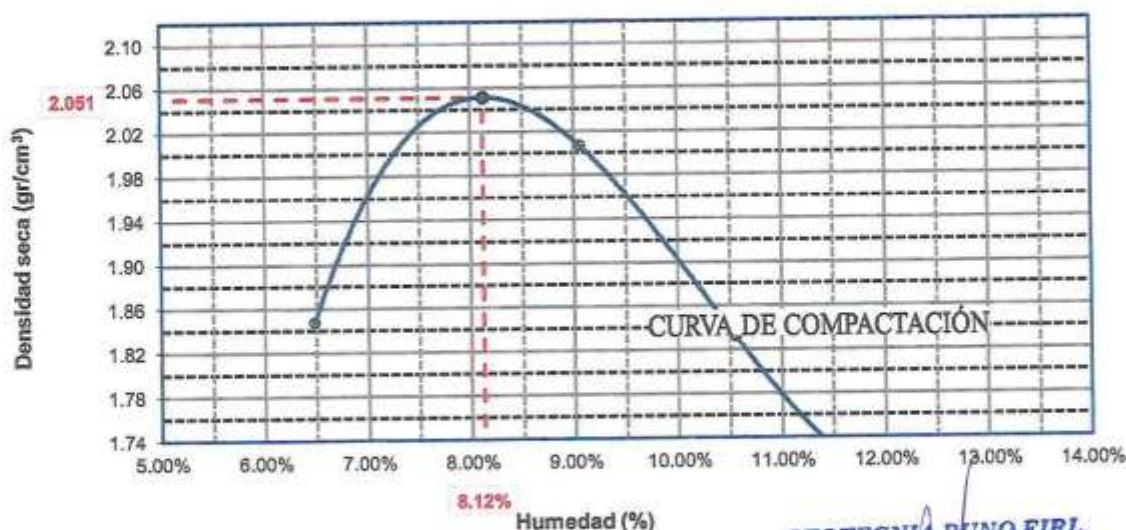
Peso Suelo Humedo + Molde	gr.	10120	10586	10243	9993
Peso del Molde	gr.	5982	5982	5982	5982
Peso del Suelo Húmedo	gr/cm ³ .	4138	4604	4261	4010.5
Densidad del Suelo Humedo	gr/cm ³ .	1.967	2.188	2.025	1.906

Capsula No	No	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.
Suelo Humedo + Capsula	gr.	423.23	413.46	442.33	422.22	434.35	412.73	410.52	389.40
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	402.05	391.50	412.98	390.54	398.69	380.14	363.98	361.24
Peso del Agua	gr.	21.18	21.96	29.35	31.68	35.66	32.59	46.54	28.16
Peso de la Capsula	gr.	62.72	64.35	63.41	64.63	66.67	65.89	65.79	66.58
Peso del Suelo Seco	gr.	339.33	327.15	349.57	325.91	332.02	314.25	298.19	294.66
% de Humedad	%	6.24%	6.71%	8.40%	9.72%	10.74%	10.37%	15.61%	9.56%
Promedio de Humedad	%	6.48%		9.06%		10.56%		12.58%	
Densidad del Suelo Seco	%	1.847		2.006		1.832		1.693	

METODO: ASTM D - 1557 **MAXIMA DENSIDAD SECA** : 2.051 gr/cm³

MODIFICADO "C" **HUMEDAD OPTIMA** : 8.12%

RELACIÓN HUMEDAD - DENSIDAD



GEOTECNIA PUNO E.I.R.L.
Ingeniería de Pavimentos, Estudios Geotécnicos y Construcción

ALFREDO ALARCÓN ATAHUACMI
INGENIERO CIVIL
RPP/CIP 81732



GEOTECNIA PUNO E.I.R.L.

MECANICA DE SUELOS - PAVIMENTOS - CIMENTACIONES - SUPERVISIÓN DE INGENIERÍA

Jr. Tiahuanaco H-17 Urbanización Residencial Kollasuyo I Etapa Juliaca

Cel.: 979000744-954879700 geotecniapunoeirl@gmail.com



RELACION HUMEDAD - DENSIDAD PROCTOR

TESIS : INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DE CENIZA DE EUCALIPTO SOBRE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE Y SU EFECTO EN EL ESPESOR DE AFIRMADO DE VIAS EN LA PROVINCIA DE MOHO 2025

SOLICITANTE : Bach. JESUS DANIEL TITO MAMANI

UBICACIÓN : PROVINCIA DE MOHO

MUESTRA : SUELO + 9% DE CENIZA DE EUCALIPTO - VÍA 2

FECHA : 05 DE SETIEMBRE DEL 2025

MOLDE No	III		II		I	
No DE CAPAS	5		5		5	
NUMERO DE GOLPES POR CAPA	12		25		56	
CONDICIONES DE LA MUESTRA	SATURADO	SIN SATURAR	SATURADO	SIN SATURAR	SATURADO	SIN SATURAR

Peso Suelo Humedo + Molde	gr.	12413	12284	12558	12423	12968	12744
Peso del Molde	gr.	8150	8150	8200	8200	8290	8290
Peso del Suelo Humedo	gr.	4262.5	4133.5	4358.25	4223.25	4677.75	4453.75
Volumen del Suelo	cc.	2104.81	2104.81	2101.91	2101.91	2096.50	2096.50
Densidad del Suelo Humedo	gr/cc.	2.025	1.964	2.073	2.009	2.231	2.124

Capsula No	No	4	2	A		5	7	B		3	1	C	
Suelo Humedo + Capsula	gr.	415.47	416.16	296.38		404.34	403.79	282.91		396.01	361.28	217.23	
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	377.27	372.72	275.30		386.75	384.98	266.89		387.02	337.12	207.37	
Peso del Agua	gr.	38.20	43.44	21.08		17.59	18.81	16.02		8.99	24.16	9.86	
Peso de la Capsula	gr.	36.43	36.68	36.67		39.71	35.83	36.65		39.65	37.62	37.47	
Peso del Suelo Seco	gr.	340.84	336.04	238.43		347.04	349.15	230.24		347.37	299.30	169.90	
% de Humedad	%	11.21%	12.93%	8.84%		5.07%	5.38%	6.96%		2.69%	8.07%	5.80%	
Promedio de Humedad	%	12.07%		8.84%		5.23%		6.96%		5.33%		5.80%	
Densidad del Suelo Seco	gr/oc.	1.807		1.804		1.970		1.879		2.118		2.008	

EXPANSION

Fecha	Hora	Tiempo	Dial	Expansion mm	%	Dial	Expansion mm	%	Dial	Expansion mm	%
4/10/2023	08:25: a.m.	0	297.00	0.00	0.00	258.00	0	0.00	118.00	0	0.00
5/10/2023	08:25: a.m.	24:00:00	305.00	0.20	0.17	263.00	0.13	0.11	122.00	0.10	0.09
6/10/2023	08:25: a.m.	48:00:00	307.00	0.25	0.22	267.00	0.23	0.20	125.00	0.18	0.15
7/10/2023	08:25: a.m.	72:00:00	310.00	0.33	0.28	270.00	0.30	0.26	129.00	0.28	0.24
8/10/2023	08:25: a.m.	96:00:00	314.00	0.43	0.37	274.00	0.41	0.35	132.00	0.36	0.31

PENETRACION

PENETRACION														
Penetracion mm	Tiempo	Carga Est.	MOLDE No III				MOLDE No II				MOLDE No I			
			Dial	Kg	Kg/cm2	Correc.	Dial	Kg	Kg/cm2	Correc.	Dial	Kg	Kg/cm2	Correc.
0.00	0:00		0.0	0.0	0.0		0.0	0.0	0.0		0.0	0.0	0.0	
0.63	00:30		11.6	74.2	0.9		22.4	120	6.1		27.66	142	7.2	
1.27	01:00		13.4	81.9	4.1		23.5	125	6.3		29.57	151	7.6	
1.91	01:30		18.5	95.0	4.8		26.4	137	6.9		32.58	163	8.3	
2.54	02:00	70.31	19.3	106.9	5.4		28.1	149	7.5		35.51	176	8.9	
3.81	03:00		24.5	128.9	6.5		34.3	171	8.6		40.77	198	10.0	
5.09	04:00	105.00	28.3	145.4	7.3		38.0	187	9.4		44.32	213	10.8	
6.35	05:00		32.2	161.6	8.2		42.0	203	10.3		48.25	230	11.8	
7.62	06:00		34.3	170.5	8.6		44.2	213	10.8		50.31	239	12.1	
8.84	07:00		36.5	179.9	9.1		36.4	179	9.1		52.46	246	12.5	
10.16	08:00		35.6	176.4	8.9		35.5	176	8.9		51.61	244	12.3	

GEOTECNIA PUNO E.I.R.L.
Ingeniería de Pavimentos, Geotecnia Consultoría y Construcción

ALFREDO ALARCÓN ATAHUACHI
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP. 81732

**GEOTECNIA PUNO E.I.R.L.**

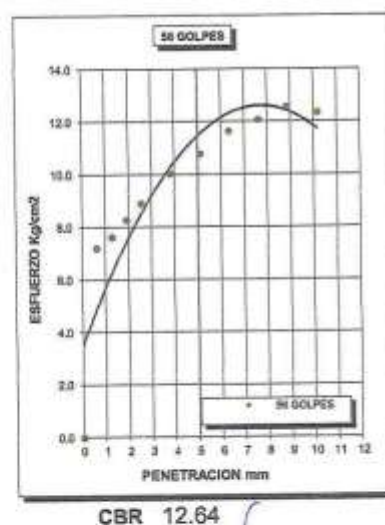
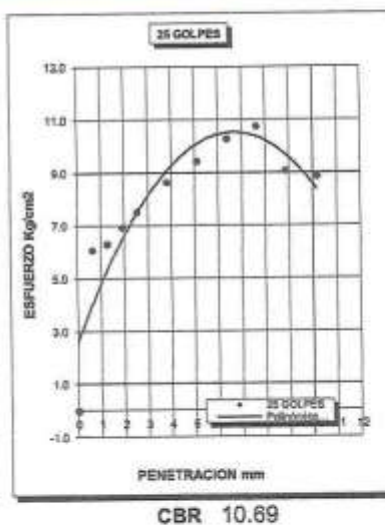
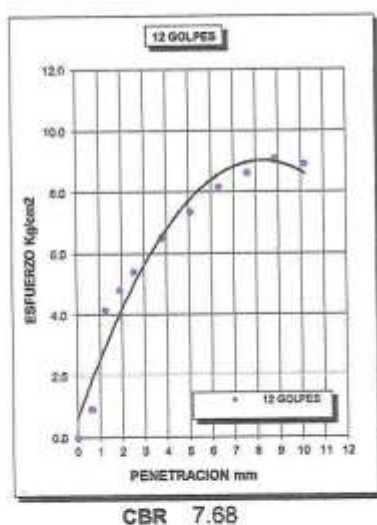
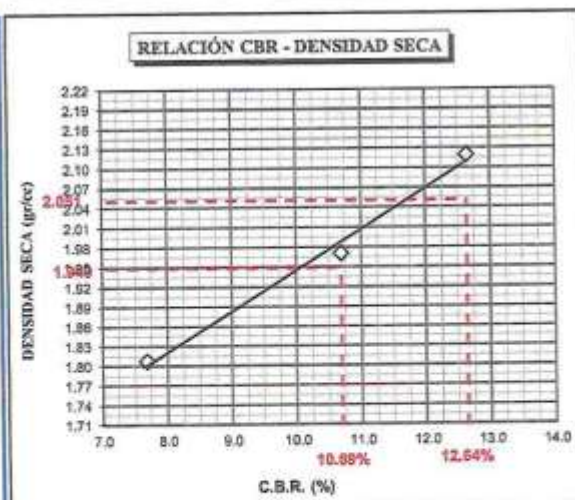
MECÁNICA DE SUELOS - PAVIMENTOS - CIMENTACIONES - SUPERVISIÓN DE INGENIERÍA

Jr. Tiahuanaco H-17 Urbanización Residencial Kollasuyo 1 Etapa Juliaca

Cel.: 979000744-954879700 geotecniapunoelr@gmail.com



PROYECTO :	INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DE CENIZA DE EUCALIPTO SOBRE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE Y SU EFECTO EN EL ESPESOR DE AFIRMADO DE VÍAS EN LA PROVINCIA DE MOHO 2025	METODO DE COMPACTACIÓN ASTM D1557-91
SOLICITADO :	Bach. JESUS DANIEL TITO MAMANI	MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm ³) 2.051
UBICACIÓN :	PROVINCIA DE MOHO	HUMEDAD OPTIMA (%) 8.12%
MUESTRA :	SUELO + 9% DE CENIZA DE EUCALIPTO - VÍA 2	CBR AL 100 DE M.D.S. (%) 12.64
FECHA :	05 DE SETIEMBRE DEL 2025	CBR AL 95% DE M.D.S. (%) 10.69
		CLASIFICACIÓN : A-2-6
		AASHTO SC

GEOTECNIA PUNO E.I.R.L.
Ingeniería de Pavimentos, Geotecnia Consultoría y ConstrucciónALFREDO ALARCON ATAHUACHI
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP 81732



GEOTECNIA PUNO E.I.R.L.

MECANICA DE SUELOS - PAVIMENTOS - CIMENTACIONES - SUPERVISIÓN DE INGENIERÍA

Jr. Tiahuanaco H-17 Urbanización Residencial Kollasuyo 1 Etapa Juliaca

Cel.: 979000744-954879700 geotecniapuncoeirl@gmail.com



ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

ASTM D-698 D-1557 AASHTO T-99 T-180

TESIS	: INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DE CENIZA DE EUCALIPTO SOBRE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE Y SU EFECTO EN EL ESPESOR DE AFIRMADO DE VIAS EN LA PROVINCIA DE MOHO 2025
SOLICITANTE	: Bach. JESUS DANIEL TITO MAMANI
UBICACIÓN	: PROVINCIA DE MOHO
MUESTRA	: SUELO + 5% DE CENIZA DE EUCALIPTO - VÍA 3
FECHA	: 08 DE SETIEMBRE DEL 2025

MOLDE No	:	1	VOLUMEN DEL MOLDE	:	2104 cm ³
No DE CAPAS	:	5	GOLPES POR CAPA	:	56 golpes

Peso Suelo Humedo + Molde	gr.	9970	10460	10210	9910
Peso del Molde	gr.	5982	5982	5982	5982
Peso del Suelo Húmedo	gr/cm ³ .	3988	4478	4228	3928
Densidad del Suelo Humedo	gr/cm ³ .	1.895	2.128	2.010	1.867

Capsula No	No	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.
Suelo Humedo + Capsula	gr.	424.12	414.35	443.22	423.11	435.24	414.62	411.41	380.29
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	404.03	395.45	413.98	395.23	400.67	383.12	365.98	361.24
Peso del Agua	gr.	20.09	18.87	29.24	27.88	34.57	31.50	45.43	29.05
Peso de la Capsula	gr.	62.72	64.36	63.42	64.62	66.67	65.88	65.79	66.55
Peso del Suelo Seco	gr.	341.31	331.12	350.56	330.61	334.00	317.24	300.19	294.69
% de Humedad	%	5.89%	5.70%	8.34%	8.43%	10.35%	9.93%	15.13%	9.86%
Promedio de Humedad	%	5.79%		8.39%		10.14%		12.50%	
Densidad del Suelo Seco	%	1.792		1.964		1.825		1.660	

METODO:	ASTM D - 1557	MAXIMA DENSIDAD SECA	:	1.979 gr/cm ³
	MODIFICADO "C"	HUMEDAD OPTIMA	:	7.73%



GEOTECNIA PUNO E.I.R.L.
Ingeniería de Pavimentos, Puentes y Construcción

ALFREDO ALARCON ATAHUACMA
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP. 81732



GEOTECNIA PUNO E.I.R.L.

MECANICA DE SUELOS- PAVIMENTOS - CIMENTACIONES- SUPERVISIÓN DE INGENIERIA

Jr. Tiahuanaco H-17 Urbanización Residencial Kollasuyo I Etapa Juliaca

Cel : 979000744-954879700 geotecniapunoel@gmail.com



RELACION HUMEDAD - DENSIDAD PROCTOR

TESIS	: INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DE CENIZA DE EUCALIPTO SOBRE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE Y SU EFECTO EN EL ESPESOR DE AFIRMADO DE VÍAS EN LA PROVINCIA DE MOHO 2025
SOLICITANTE	: Bach. JESUS DANIEL TITO MAMANI
UBICACIÓN	: PROVINCIA DE MOHO
MUESTRA	: SUELO + 5% DE CENIZA DE EUCALIPTO - VÍA 3
FECHA	: 08 DE SETIEMBRE DEL 2025

MOLDE No	III	II	I			
No DE CAPAS	5	5	5			
NUMERO DE GOLPES POR CAPA	12	25	56			
CONDICIONES DE LA MUESTRA	SATURADO	SIN SATURAR	SATURADO	SIN SATURAR	SATURADO	SIN SATURAR

Peso Suelo Humedo + Molde	gr.	12403	12274	12547	12412	12958	12734
Peso del Molde	gr.	8150	8150	8200	8200	8290	8290
Peso del Suelo Humedo	gr.	4253	4124	4347	4212	4668	4444
Volumen del Suelo	cc.	2104.81	2104.81	2101.91	2101.91	2096.50	2096.50
Densidad del Suelo Humedo	gr/cc.	2.021	1.959	2.068	2.004	2.227	2.120

Capsula No	No	5	4	B		15	14	E		4	10	T
Suelo Humedo + Capsula	gr.	414.47	415.16	295.38		404.28	403.74	280.83		393.94	359.26	215.17
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	367.51	364.32	276.13		370.97	369.39	262.69		361.12	327.14	203.93
Peso del Agua	gr.	46.96	50.84	19.25		33.31	34.35	18.14		32.82	32.12	11.24
Peso de la Capsula	gr.	36.44	36.69	36.88		39.72	35.84	36.66		39.66	37.83	37.48
Peso del Suelo Seco	gr.	331.07	327.63	239.25		331.25	333.55	228.03		321.46	289.31	166.45
% de Humedad	%	14.18%	15.52%	8.05%		10.06%	10.30%	8.03%		10.21%	11.10%	6.75%
Promedio de Humedad	%	14.85%		8.05%		10.18%		8.03%		10.66%		6.75%
Densidad del Suelo Seco	gr/cc.	1.759		1.813		1.877		1.855		2.012		1.986

EXPANSION

Fecha	Hora	Tiempo	Dial	Expansion		Dial	Expansion		Dial	Expansion	
				mm	%		mm	%		mm	%
25/09/2023	08:25: a.m.	0	302.00	0.00	0.00	264.00	0	0.00	123.00	0	0.00
26/09/2023	08:25: a.m.	24:00:00	310.00	0.20	0.17	268.00	0.10	0.09	127.00	0.10	0.09
27/09/2023	08:25: a.m.	48:00:00	312.00	0.25	0.22	272.00	0.20	0.17	130.00	0.18	0.15
28/09/2023	08:25: a.m.	72:00:00	315.00	0.33	0.28	275.00	0.28	0.24	134.00	0.28	0.24
29/09/2023	08:25: a.m.	96:00:00	319.00	0.43	0.37	279.00	0.38	0.33	137.00	0.36	0.31

PENETRACION

Penetración mm	Tiempo	Carga Est.	MOLDE No III				MOLDE No II				MOLDE No I			
			Dial	Kg	Kg/cm2	Correc.	Dial	Kg	Kg/cm2	Correc.	Dial	Kg	Kg/cm2	Correc.
0.00	0:00		0.0	0.0	0.0		0.0	0.0	0.0		0.0	0.0	0.0	
0.63	00:30		1.7	32.4	0.9		7.2	56	2.8		11.2	73	3.7	
1.27	01:00		3.7	41.0	2.1		8.2	60	3.0		13.2	81	4.1	
1.91	01:30		6.7	53.7	2.7		11.2	73	3.7		16.2	94	4.7	
2.54	02:00	70.31	9.7	66.1	3.3		14.0	85	4.3		19.2	106	5.4	
3.81	03:00		14.7	87.7	4.4		19.1	106	5.4		24.1	128	6.4	
5.09	04:00	105.00	18.7	104.7	5.3		23.1	123	6.2		28.1	144	7.3	
6.35	05:00		21.8	117.7	6.0		26.9	139	7.0		31.9	161	8.1	
7.62	06:00		24.2	127.8	6.5		28.9	148	7.5		33.9	169	8.6	
8.84	07:00		27.2	140.7	7.1		31.1	157	7.9		36.1	176	9.0	
10.16	08:00		26.3	138.8	6.9		30.2	153	7.8		35.2	175	8.8	

GEOTECNIA PUNO E.I.R.L.
Ingeniería de Pavimentos, Geotecnia Pesquera y Construcción

ALFREDO ALARCÓN ATAHUACHA
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP 81732



GEOTECNIA PUNO E.I.R.L.

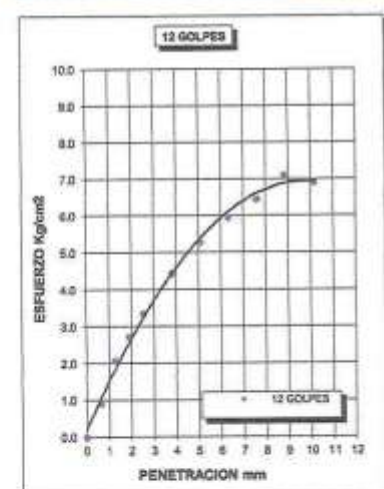
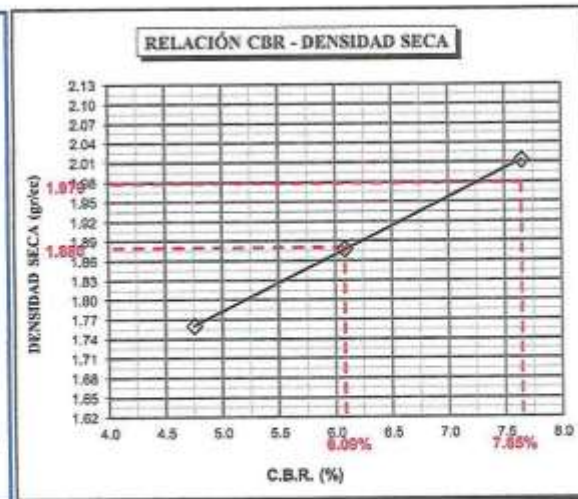
MECANICA DE SUELOS - PAVIMENTOS - CIMENTACIONES - SUPERVISIÓN DE INGENIERÍA

Jr. Tiahuanaco H-17 Urbanización Residencial Kollasuyo 1 Etapa Juliaca

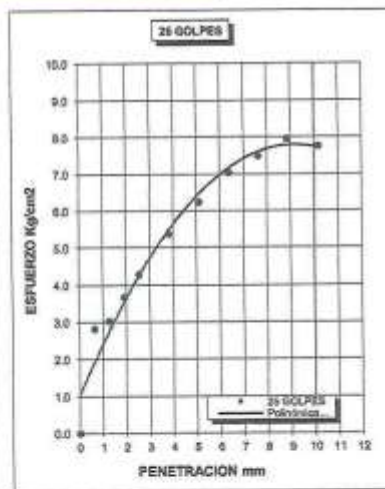
Cel.: 979000744-954879700 geotecniapunoeirl@gmail.com



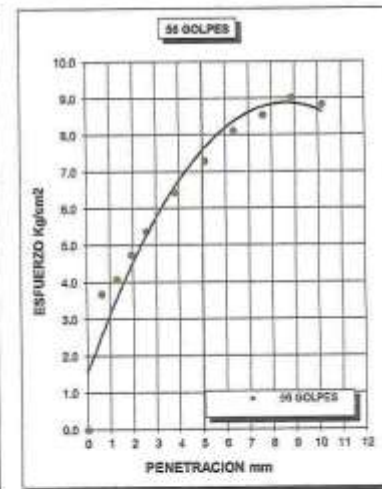
PROYECTO : INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DE CENIZA DE EUCALIPTO SOBRE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE Y SU EFECTO EN EL ESPESOR DE AFIRMADO DE VIAS EN LA PROVINCIA DE MOHO 2025	METODO DE COMPACTACIÓN ASTM D1557-91
SOLICITADO : Bach. JESUS DANIEL TITO MAMANI	MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm³.) 1.979
UBICACIÓN : PROVINCIA DE MOHO	HUMEDAD OPTIMA (%) 7.73%
MUESTRA : SUELO + 5% DE CENIZA DE EUCALIPTO - VÍA 3	CBR AL 100 DE M.D.S. (%) 7.65
FECHA : 08 DE SETIEMBRE DEL 2025	CBR AL 95% DE M.D.S. (%) 6.09
	CLASIFICACIÓN : A.2.6
	AASHTO SC



CBR 4.75



CBR 6.09



CBR 7.65

GEOTECNIA PUNO E.I.R.L.
Ingeniería de Pavimentos, Geotecnia, Geología y Construcción

ALFREDO ALARCÓN ATAHUACHI
INGENIERO CIVIL



GEOTECNIA PUNO E.I.R.L.

MECANICA DE SUELOS- PAVIMENTOS - CIMENTACIONES- SUPERVISIÓN DE INGENIERÍA

Jr. Tahuamanu H-17 Urbanización Residencial Kollasuyo I Etapa Juliaca

Cel : 979000744-954879700 geotecniapuncoeirl@gmail.com



ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

ASTM D-698 D-1557 AASHTO T-99 T-180

TESIS	: INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DE CENIZA DE EUCALIPTO SOBRE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE Y SU EFECTO EN EL ESPESOR DE AFIRMADO DE VIAS EN LA PROVINCIA DE MOHO 2025
SOLICITANTE	: Bach. JESUS DANIEL TITO MAMANI
UBICACIÓN	: PROVINCIA DE MOHO
MUESTRA	: SUELO + 7% DE CENIZA DE EUCALIPTO - VÍA 3
FECHA	: 08 DE SETIEMBRE DEL 2025

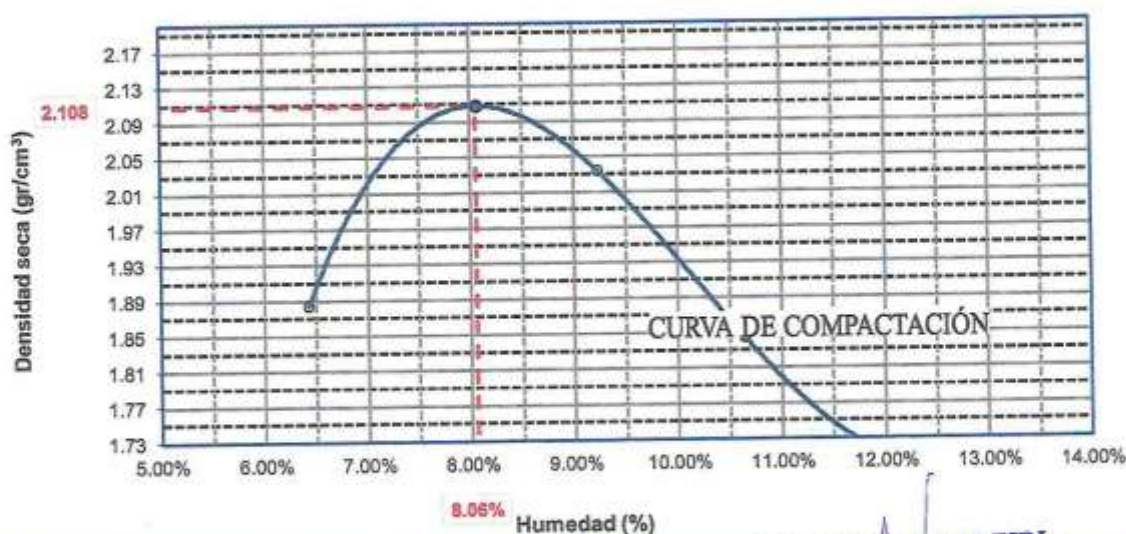
MOLDE No	:	1	VOLUMEN DEL MOLDE	:	2104 cm ³
No DE CAPAS	:	5	GOLPES POR CAPA	:	56 golpes

Peso Suelo Humedo + Molde	gr.	10200	10655	10275	10035
Peso del Molde	gr.	5982	5982	5982	5982
Peso del Suelo Humedo	gr/cm ³	4218	4673	4293	4053
Densidad del Suelo Humedo	gr/cm ³	2.005	2.221	2.040	1.926

Capsula No	No	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.
Suelo Humedo + Capsula	gr.	424.10	414.33	443.20	423.09	435.22	414.80	411.39	390.27
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	403.04	392.49	412.98	391.03	399.68	381.13	384.99	362.25
Peso del Agua	gr.	21.06	21.84	30.21	32.06	35.54	33.47	46.40	28.02
Peso de la Capsula	gr.	62.71	64.35	63.41	64.61	66.66	65.87	65.78	66.54
Peso del Suelo Seco	gr.	340.33	328.14	349.58	326.42	333.02	315.26	299.21	295.71
% de Humedad	%	6.19%	6.66%	8.64%	9.82%	10.67%	10.62%	15.51%	9.48%
Promedio de Humedad	%	6.42%		9.23%		10.64%		12.49%	
Densidad del Suelo Seco	%	1.884		2.033		1.844		1.712	

METODO:	ASTM D - 1557	MAXIMA DENSIDAD SECA	:	2.108 gr/cm ³
	MODIFICADO "C"	HUMEDAD OPTIMA	:	8.06%

RELACIÓN HUMEDAD - DENSIDAD



GEOTECNIA PUNO E.I.R.L.
Ingeniería de Pavimentos, Bases y Construcción

ALFREDO ALARCÓN ATAHUACHI
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP 41762



GEOTECNIA PUNO E.I.R.L.

MECANICA DE SUELOS - PAVIMENTOS - CIMENTACIONES - SUPERVISIÓN DE INGENIERÍA

Jr. Tahuataco H-17 Urbanización Residencial Kollasuyo I Etapa Juliaca

Cel.: 979000744-954879700 geotecniapunoelr@gmail.com



RELACION HUMEDAD - DENSIDAD PROCTOR

TESIS	: INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DE CENIZA DE EUCALIPTO SOBRE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE Y SU EFECTO EN EL ESPESOR DE AFIRMADO DE VIAS EN LA PROVINCIA DE MOHO 2025
SOLICITANTE	: Bach. JESUS DANIEL TITO MAMANI
UBICACIÓN	: PROVINCIA DE MOHO
MUESTRA	: SUELO + 7% DE CENIZA DE EUCALIPTO - VÍA 3
FECHA	: 08 DE SETIEMBRE DEL 2025

MOLDE No	III		II		I	
No DE CAPAS	5		5		5	
NUMERO DE GOLPES POR CAPA	12		25		56	
CONDICIONES DE LA MUESTRA	SATURADO	SIN SATURAR	SATURADO	SIN SATURAR	SATURADO	SIN SATURAR

Peso Suelo Humedo + Molde	gr.	12410	12281	12556	12421	12965	12741
Peso del Molde	gr.	8150	8150	8200	8200	8290	8290
Peso del Suelo Humedo	gr.	4260	4131	4356	4221	4675	4451
Volumen del Suelo	cc.	2104.81	2104.81	2101.91	2101.91	2096.50	2096.50
Densidad del Suelo Humedo	gr/cc.	2.024	1.963	2.072	2.008	2.230	2.123

Capsula No	No	4	2	A		5	7	B		3	1	C	
Suelo Humedo + Capsula	gr.	414.57	415.26	295.48		403.44	402.90	262.01		395.08	360.38	216.33	
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	380.02	376.32	272.22		382.94	381.37	262.89		379.12	344.12	203.91	
Peso del Agua	gr.	34.55	38.94	23.26		20.50	21.53	19.32		15.96	16.26	12.42	
Peso de la Capsula	gr.	36.43	36.68	36.87		39.71	35.83	36.65		39.65	37.82	37.47	
Peso del Suelo Seco	gr.	343.59	339.64	235.35		343.23	345.54	226.04		339.47	306.30	166.44	
% de Humedad	%	10.06%	11.47%	9.88%		5.97%	6.23%	8.55%		4.70%	5.31%	7.46%	
Promedio de Humedad	%	10.76%		9.88%		6.10%		8.55%		5.00%		7.46%	
Densidad del Suelo Seco	gr/cc.	1.827		1.786		1.953		1.850		2.124		1.976	

EXPANSION

Fecha	Hora	Tiempo	Dial	Expansion		Dial	Expansion		Dial	Expansion	
				mm	%		mm	%		mm	%
29/09/2023	08:25: a.m.	0	297.00	0.00	0.00	258.00	0	0.00	118.00	0	0.00
30/09/2023	08:25: a.m.	24:00:00	305.00	0.20	0.17	263.00	0.13	0.11	122.00	0.10	0.09
1/10/2023	08:25: a.m.	48:00:00	307.00	0.25	0.22	267.00	0.23	0.20	125.00	0.18	0.15
2/10/2023	08:25: a.m.	72:00:00	310.00	0.33	0.28	270.00	0.30	0.26	129.00	0.28	0.24
3/10/2023	08:25: a.m.	96:00:00	314.00	0.43	0.37	274.00	0.41	0.35	132.00	0.36	0.31

PENETRACION

Penetración mm	Tiempo	Carga Est.	MOLDE No III				MOLDE No II				MOLDE No I			
			Dial	Kg	Kg/cm2	Correc.	Dial	Kg	Kg/cm2	Correc.	Dial	Kg	Kg/cm2	Correc.
0.00	0:00		0.0	0.0	0.0		0.0	0.0	0.0		0.0	0.0	0.0	
0.63	00:30		15.3	90.2	0.9		26.2	136	6.9		34.33	171	8.6	
1.27	01:00		17.3	98.4	5.0		27.2	140	7.1		36.27	179	9.1	
1.91	01:30		20.3	111.3	5.6		30.2	153	7.7		39.30	192	9.7	
2.54	02:00	70.31	23.4	124.5	8.3		33.5	167	8.5		42.52	206	10.4	
3.81	03:00		26.2	144.9	7.3		38.1	187	9.4		47.22	228	11.4	
5.09	04:00	105.00	32.4	162.6	8.2		42.3	205	10.3		51.36	243	12.3	
6.35	05:00		36.0	177.9	9.0		45.9	220	11.1		54.99	259	13.1	
7.62	06:00		38.0	186.5	9.4		47.9	229	11.6		57.03	267	13.5	
8.84	07:00		40.2	195.8	9.9		40.1	195	9.9		59.21	276	14.0	
10.16	08:00		39.3	192.1	9.7		35.2	175	8.8		58.33	273	13.8	

GEOTECNIA PUNO E.I.R.L.
Ingeniería de Pavimentos, Edificación y Construcción

ALFREDO ALARCON ATAHUACHA
INGENIERO CIVIL
R.C.P. CIP. 81732

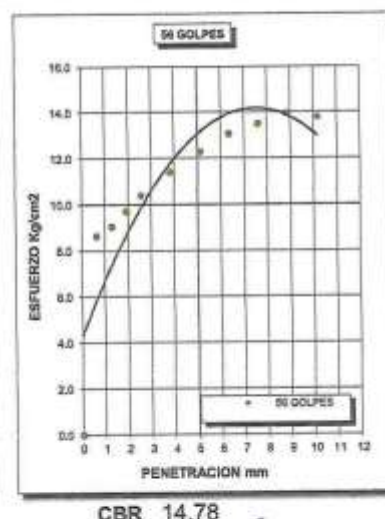
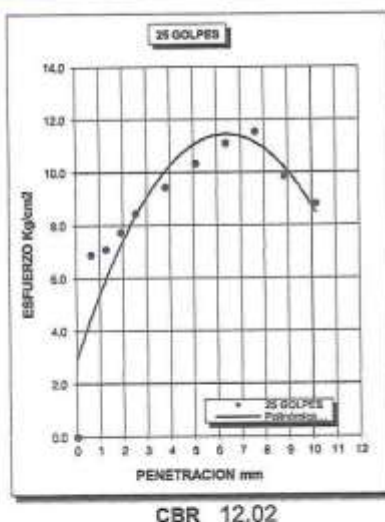
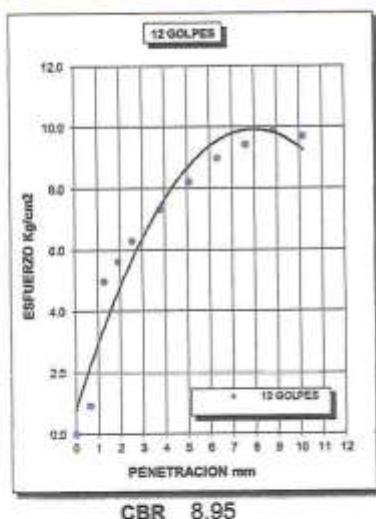
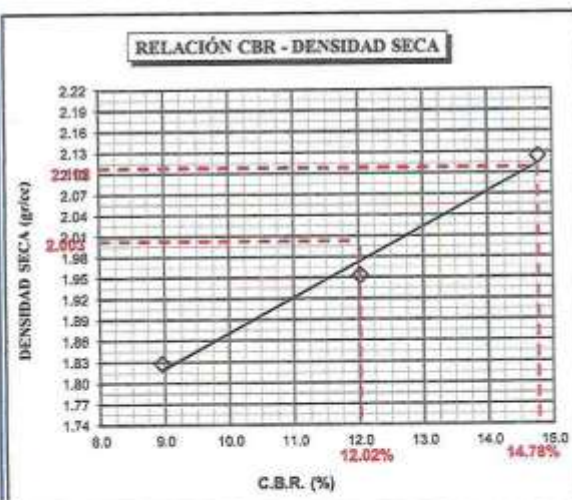
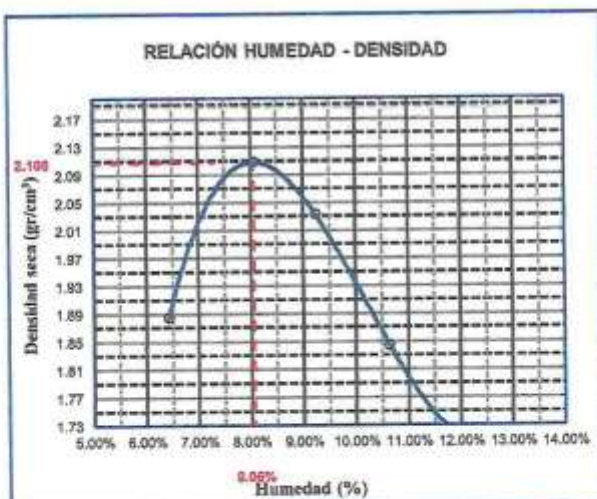
GEOTECNIA PUNO E.I.R.L.

MECÁNICA DE SUELOS- PAVIMENTOS- CIMENTACIONES- SUPERVISIÓN DE INGENIERÍA

Jr. Tiahuanaco H-17 Urbanización Residencial Koltakujyo + Etapa Juliaca

Cel.: 979000744-954879700 geotecniapuncosrl@gmail.com

PROYECTO : INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DE CENIZA DE EUCALIPTO SOBRE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE Y SU EFECTO EN EL ESPESOR DE AFIRMADO DE VIAS EN LA PROVINCIA DE MOHO 2025	METODO DE COMPACTACIÓN ASTM D1557-91
SOLICITADO : Bach. JESUS DANIEL TITO MAMANI	MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm³.): 2.108 HUMEDAD OPTIMA (%): 8.06% CBR AL 100 DE M.D.S. (%): 14.78 CBR AL 95% DE M.D.S. (%): 12.02
UBICACIÓN : PROVINCIA DE MOHO	CLASIFICACIÓN : a-2-6 AASHTO: SC
MUESTRA : SUELO + 7% DE CENIZA DE EUCALIPTO - VÍA 3	
FECHA : 08 DE SETIEMBRE DEL 2025	



GEOTECNIA PUNO E.I.R.L.
Ingeniería de Pavimentos, Geotecnia y Construcción

ALFREDO ALARCON ATAHUACHI
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP 81732



GEOTECNIA PUNO E.I.R.L.

MECANICA DE SUELOS- PAVIMENTOS - CIMENTACIONES- SUPERVISIÓN DE INGENIERÍA

Jr. Tiahuanaco H-17 Urbanización Residencial Kollasuyo I Etapa Juliaca

Cel.: 979000744-954879700 geotecniapuneirl@gmail.com



ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

ASTM D-698 D-1557 AASHTO T-99 T-180

TESIS	: INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DE CENIZA DE EUCALIPTO SOBRE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE Y SU EFECTO EN EL ESPESOR DE AFIRMADO DE VÍAS EN LA PROVINCIA DE MOHO 2025
SOLICITANTE	: Bach. JESUS DANIEL TITO MAMANI
UBICACIÓN	: PROVINCIA DE MOHO
MUESTRA	: SUELO + 9% DE CENIZA DE EUCALIPTO - VÍA 3
FECHA	: 08 DE SETIEMBRE DEL 2025

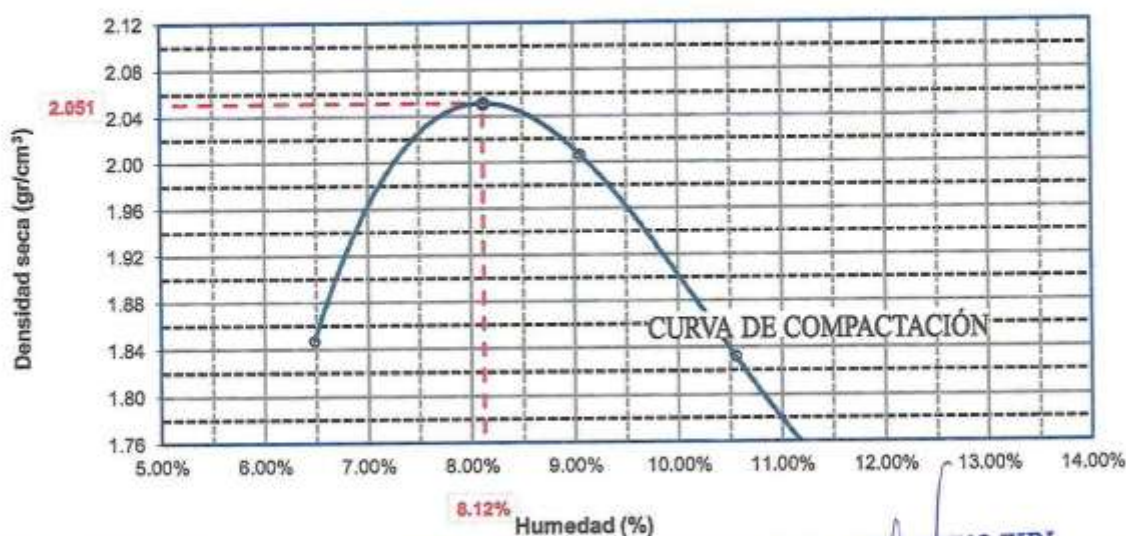
MOLDE No	: 1	VOLUMEN DEL MOLDE	: 2104 cm ³
No DE CAPAS	: 5	GOLPES POR CAPA	: 56 golpes

Peso Suelo Humedo + Molde	gr.	10120	10586	10243	9993
Peso del Molde	gr.	5982	5982	5982	5982
Peso del Suelo Húmedo	gr/cm ³ .	4138	4604	4261	4010.5
Densidad del Suelo Humedo	gr/cm ³ .	1.967	2.188	2.025	1.906

Capsula No	No	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.
Suelo Humedo + Capsula	gr.	423.23	413.46	442.33	422.22	434.35	412.73	410.52	389.40
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	402.05	391.50	412.98	390.54	398.69	380.14	363.98	361.24
Peso del Agua	gr.	21.18	21.96	29.35	31.68	35.66	32.59	46.54	28.16
Peso de la Capsula	gr.	62.72	64.35	63.41	64.63	66.67	65.89	65.79	66.58
Peso del Suelo Seco	gr.	339.33	327.15	349.57	325.91	332.02	314.25	298.19	294.66
% de Humedad	%	6.24%	6.71%	8.40%	9.72%	10.74%	10.37%	15.61%	9.56%
Promedio de Humedad	%	6.48%		9.06%		10.56%		12.58%	
Densidad del Suelo Seco	%	1.847		2.006		1.832		1.693	

METODO:	ASTM D - 1557	MAXIMA DENSIDAD SECA	: 2.051 gr/cm ³
	MODIFICADO "C"	HUMEDAD OPTIMA	: 8.12%

RELACIÓN HUMEDAD - DENSIDAD



GEOTECNIA PUNO E.I.R.L.
Ingeniería de Pavimentos, Redacción Consultoría y Construcción

ALFREDO ALARCÓN ATAHUACHI
INGENIERO CIVIL
REG. C.O. 21732



GEOTECNIA PUNO E.I.R.L.

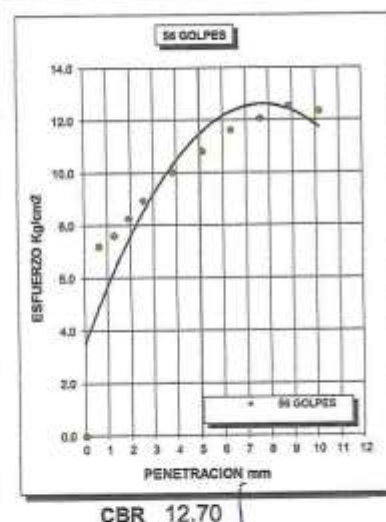
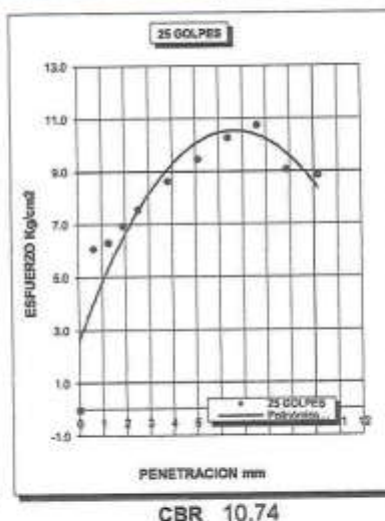
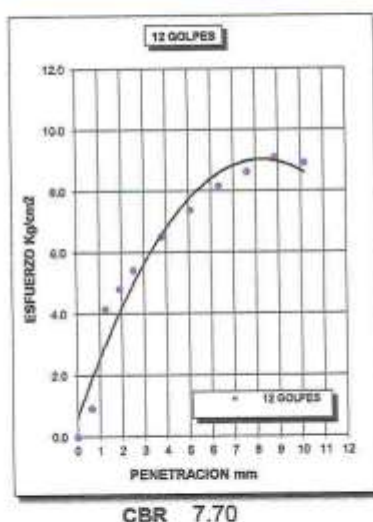
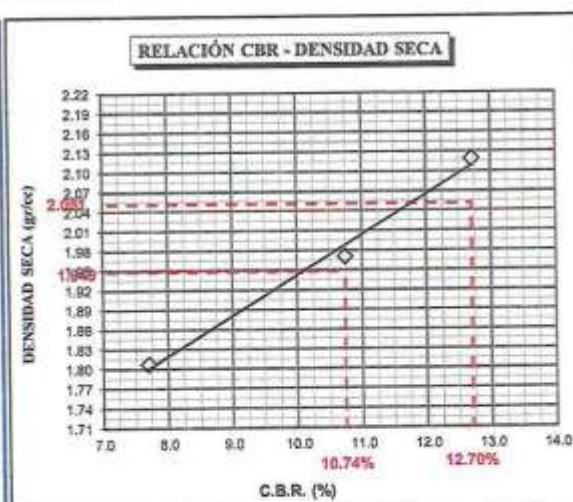
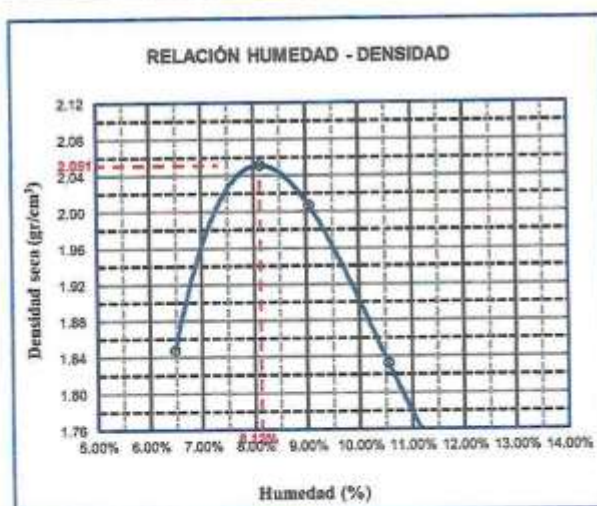
MECANICA DE SUELOS - PAVIMENTOS - CIMENTACIONES - SUPERVISIÓN DE INGENIERÍA

Jr. Tiahuanaco H-17 Urbanización Residencial Kollasuyo I Etapa Juliaca

Cel.: 979000744-954879700 geotecniapunoeir@gmail.com



PROYECTO : INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DE CENIZA DE EUCALIPTO SOBRE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE Y SU EFECTO EN EL ESPESOR DE AFIRMADO DE VIAS EN LA PROVINCIA DE MOHO 2025	METODO DE COMPACTACIÓN ASTM D1557-91
SOLICITADO : Bach. JESUS DANIEL TITO MAMANI	MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm³.): 2.051 HUMEDAD OPTIMA (%): 8.12% CBR AL 100 DE M.D.S. (%): 12.70 CBR AL 95% DE M.D.S. (%): 10.74
UBICACIÓN : PROVINCIA DE MOHO	CLASIFICACIÓN : A-2-6 AASHTO: SC
MUESTRA : SUELO + 9% DE CENIZA DE EUCALIPTO - VÍA 3	
FECHA : 08 DE SETIEMBRE DEL 2025	



GEOTECNIA PUNO E.I.R.L.
Ingeniería de Pavimentación, Geotecnia Consultoría y Construcción

ALFREDO ALARCÓN ATAHUACHI
INGENIERO CIVIL
Reg. CIR 81732

ANEXO 1
FORMULARIO DE AUTORIZACIÓNAUTORIZACIÓN PARA LA INCORPORACIÓN DE LOS
TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN
EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL UANCVFormato digital ☒Fecha de entrega: 18-12-2025

1. Datos del autor (es):

Nombres y Apellidos: JESUS DANIEL TITO MAMANIDirección: ASC. J.L.B. Y RIVERO SEC. VII SPMZ. 4 Mz.B LL.19DNI/Carné de Extranjería/Pasaporte N°: 46271161Teléfono: 957 075 405 email: jtito.daniel@gmail.com

Nombres y Apellidos: _____

Dirección: _____

DNI/Carné de Extranjería/Pasaporte N°: _____

Teléfono: _____ email: _____

Facultad y/o Escuela de Posgrado: INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURASEscuela Profesional o Mención: INGENIERÍA CIVILTítulo o Grado Académico a optar: TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVILAsesor: M.Sc. JESÚS ESTEBAN CASTILLO MACHACA

Esta obra se encuentra dentro de las siguientes denominaciones:

Trabajo de Investigación ☐ Tesis ☒ Trabajo de Suficiencia Profesional ☐ Trabajo Académico ☐Título: INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DE CENIZA DE EUCALIPTO SOBRE LA CAPACIDADDE SOPORTE DE LA SUBRASANTE Y SU EFECTO EN EL ESPESOR DEAFIRMADO DE VÍAS EN LA PROVINCIA DE MOHO 2025Palabras claves, (3 a 5 términos): CAPACIDAD DE SOPORTE CBR, CENIZA DE EUCALIPTO, ESPESOR DE AFIRMADO¿Esta obra se desarrolló en la UANCV ^{SUBRASANTE} ^{1,2?}1¹ Indicar si su producción intelectual ha empleado recursos tales como, instalaciones, laboratorios, insumos, equipos, bases de datos, asesoría técnica por parte del personal de la UANCV, financiamiento, entre otros relacionados.² Si su producción intelectual se desarrolló en la UANCV totalmente o parcialmente, deberá autorizar el depósito en el Repositorio de manera obligatoria.



2. Referencia de tesis:

☐ Bachiller ☒ Título ☐ 2da Especialidad ☐ Maestría ☐ Doctorado

3. Licencias:

a) Licencia estándar:

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

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

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

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

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

Autorizo su publicación (marque con una X)

- ☒ Sí, autorizo que se deposite inmediatamente.
- ☐ Sí, autorizo que se deposite a partir de la fecha (d/m/a): _____
- ☐ No autorizo.

b) Licencia CREATIVE COMMONS 4.0 INTERNACIONAL:

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

¿Quiere permitir usos comerciales de su producción intelectual?

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

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

- ☐ Sí autorizo
- ☒ No autorizo

**Jurisdicción de su Licencia**

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

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

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

☒ Internacional☐ Nacional

Línea de investigación: TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN – P17

Firma de Autor



huella digital

18-12-2025

Fecha