



**UNIVERSIDAD ANDINA**  
**NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ**  
**FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**IMPACTO DE LA INCLUSIÓN DE CENIZA DE MALEZA Y CENIZA  
DE LEÑA DE CIPRÉS EN CANTIDADES PROGRESIVAS  
SOBRE LAS PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE  
DE LA CARRETERA PALCA – VILAVILA 2024**

**TESIS PRESENTADA POR:**

**Bach. MILAN LEONIDAS ITO PACORI**

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

**JULIACA – PERÚ**

**2024**



**UNIVERSIDAD ANDINA**

**NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ**

**FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

**IMPACTO DE LA INCLUSIÓN DE CENIZA DE MALEZA Y CENIZA DE LEÑA DE CIPRÉS EN CANTIDADES PROGRESIVAS SOBRE LAS PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE DE LA CARRETERA PALCA – VILAVILA 2024**

TESIS PRESENTADA POR:

**Bach. MILAN LEONIDAS ITO PACORI**

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

APROBADA POR EL JURADO REVISOR:

**PRESIDENTE**

:

Dr. MILTHON QUISPE HUANCA

**PRIMER MIEMBRO**

:

Dr. EFRAÍN PARILLO SOSA

**SEGUNDO MIEMBRO**

:

Dr. ARNALDO YANA TORRES

**ASESOR DE TESIS**

:

Mgtr. FRANZ JOSEPH BARAHONA PERALES

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN**

:

TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN – P17



**RESOLUCIÓN DECANAL N° 1206-2024-D-UI-FICP-UANCV**

Juliaca, 03 de octubre del 2024

**VISTO:** El expediente N° 2024- 012099 presentado por el (la) Bachiller: MILAN LEONIDAS ITO PACORI 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. MILAN LEONIDAS ITO PACORI, quien solicita **NOMINACIÓN DE JURADOS Y PROGRAMACIÓN DE FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN** de la Tesis Titulado: **IMPACTO DE LA INCLUSIÓN DE CENIZA DE MALEZA Y CENIZA DE LEÑA DE CIPRÉS EN CANTIDADES PROGRESIVAS SOBRE LAS PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE DE LA CARRETERA PALCA - VILAVILA 2024**, 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 merito 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. MILTHON QUISPE HUANCA
- \* **1er Miembro** : Dr. EFRAIN PARILLO SOSA
- \* **2do Miembro** : Dr. ARNALDO YANA TORRES

**ARTICULO SEGUNDO. - RECONOCER** como asesor de la propuesta de investigación (tesis) de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras al (a la) docente, Mgtr. FRANZ JOSEPH BARAHONA PERALES.

**ARTICULO TERCERO . - APROBAR**, la **FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS** de el (la) bachiller: MILAN LEONIDAS ITO PACORI; del informe final de la investigación (tesis) titulado: **IMPACTO DE LA INCLUSIÓN DE CENIZA DE MALEZA Y CENIZA DE LEÑA DE CIPRÉS EN CANTIDADES PROGRESIVAS SOBRE LAS PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE DE LA CARRETERA PALCA - VILAVILA 2024**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil. de acuerdo al siguiente detalle:

- \* **FECHA** : Jueves 10 de octubre del 2024
- \* **HORA** : 9:00 a.m.
- \* **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. MILTHON QUISPE HUANCA  
DECANO  
CIP. 47790



Dr. Efraín Parillo Sosa  
DIRECTOR  
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

cc.  
Archivo  
interesado (a)



**RESOLUCIÓN DECANAL N° 822-2024-D-UI-FICP-UANCV**

Juliaca, 16 de agosto del 2024

**VISTO:** El expediente N° 2024-CU - 10566 por el señor (a): MILAN LEONIDAS ITO PACORI quien solicita **REVISIÓN DEL INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (borrador de tesis)**, el PROVEIDO - N° 836 - 2024-UI-FICP-UANCV/J, y la FICHA DE OPINIÓN DEL INFORME FINAL DE LA INVESTIGACION (BORRADOR DE TESIS) formato N° 151 - 2024 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): MILAN LEONIDAS ITO PACORI, ha presentado su informe final de la investigación (borrador de tesis) Titulado: **IMPACTO DE LA INCLUSIÓN DE CENIZA DE MALEZA Y CENIZA DE LEÑA DE CIPRÉS EN CANTIDADES PROGRESIVAS SOBRE LAS PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE DE LA CARRETERA PALCA - VILAVILA 2024**, 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 Mgtr. 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° 151 - 2024 **aprobando** el informe final de la investigación (borrador de tesis) titulado: **IMPACTO DE LA INCLUSIÓN DE CENIZA DE MALEZA Y CENIZA DE LEÑA DE CIPRÉS EN CANTIDADES PROGRESIVAS SOBRE LAS PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE DE LA CARRETERA PALCA - VILAVILA 2024**, 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): MILAN LEONIDAS ITO PACORI, para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil, con el Tema Titulado: **IMPACTO DE LA INCLUSIÓN DE CENIZA DE MALEZA Y CENIZA DE LEÑA DE CIPRÉS EN CANTIDADES PROGRESIVAS SOBRE LAS PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE DE LA CARRETERA PALCA - VILAVILA 2024** 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), Mgtr. FRANZ JOSEPH BARAHONA PERALES.

**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 Cs. PURAS  
.....  
Dr. MILTHON QUISPE HUANCA  
DECANO  
CIP. 47790

  
UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y Cs. PURAS  
.....  
Dr. Efraín Fajardo Sosa  
DIRECTOR  
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

cc.  
Archivo  
interesado (a)



**RESOLUCIÓN DECANAL N° 516-2024-D-UI-FICP-UANCV**

Juliaca, 01 de julio del 2024

**VISTO:** El expediente N° 2024- 07145, presentado el o (la) Bachiller MILAN LEONIDAS ITO PACORI solicitando APROBACIÓN DE LA PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN el PROVEIDO - N° 522 -2024-UI-FICP-UANCV/J, y la FICHA DE OPINIÓN DE LA PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN formato N° 158 -2024 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 o (la) Bachiller: MILAN LEONIDAS ITO PACORI ha presentado su propuesta de investigación Titulado: **IMPACTO DE LA INCLUSIÓN DE CENIZA DE MALEZA Y CENIZA DE LEÑA DE CIPRÉS EN CANTIDADES PROGRESIVAS SOBRE LAS PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE DE LA CARRETERA PALCA - VILAVILA 2024**, 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 Mgtr. 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° 158 -2024- aprobando la propuesta de investigación titulado: **IMPACTO DE LA INCLUSIÓN DE CENIZA DE MALEZA Y CENIZA DE LEÑA DE CIPRÉS EN CANTIDADES PROGRESIVAS SOBRE LAS PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE DE LA CARRETERA PALCA - VILAVILA 2024**.

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 merito 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 o (la) Bachiller: MILAN LEONIDAS ITO PACORI, para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil, con el Tema Titulado: **IMPACTO DE LA INCLUSIÓN DE CENIZA DE MALEZA Y CENIZA DE LEÑA DE CIPRÉS EN CANTIDADES PROGRESIVAS SOBRE LAS PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE DE LA CARRETERA PALCA - VILAVILA 2024** 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 Mgtr. FRANZ JOSEPH BARAHONA PERALES.

**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 Cs. PURAS

Dr. MILTON QUISPE HUANCA  
DECANO  
CIP. 47790



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

Dr. Efraim Parillo Sosa  
DIRECTOR  
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

cc  
Archivo 2024  
Interesado (a)



## IMPACTO DE LA INCLUSIÓN DE CENIZA DE MALEZA Y CENIZA DE LEÑA DE CIPRÉS EN CANTIDADES PROGRESIVAS SOBRE LAS PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE DE LA CARRETERA PALCA – VILAVILA 2024

### INFORME DE ORIGINALIDAD

19%

INDICE DE SIMILITUD

14%

FUENTES DE INTERNET

1%

PUBLICACIONES

10%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

### FUENTES PRIMARIAS

1	Submitted to Universidad Andina Nestor Caceres Velasquez Trabajo del estudiante	5%
2	hdl.handle.net Fuente de Internet	3%
3	Submitted to Pontificia Universidad Catolica del Ecuador - PUCE Trabajo del estudiante	3%
4	repositorio.continental.edu.pe Fuente de Internet	1%
5	repositorio.ulvr.edu.ec Fuente de Internet	1%
6	tesis.usat.edu.pe Fuente de Internet	<1%
7	www.slideshare.net Fuente de Internet	<1%

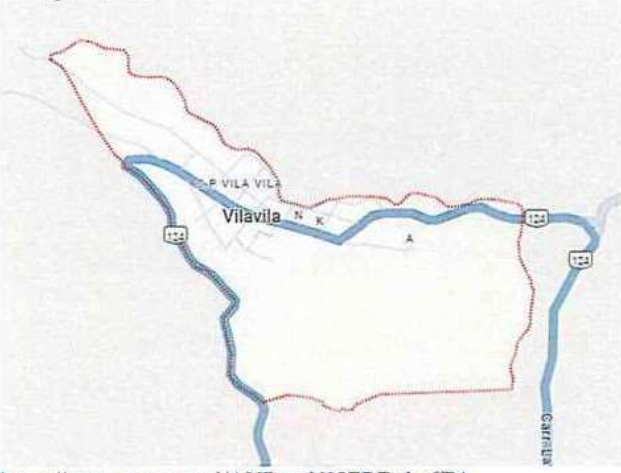


### Metadatos Complementarios



<b>Título de la tesis</b>	
<b>IMPACTO DE LA INCLUSIÓN DE CENIZA DE MALEZA Y CENIZA DE LEÑA DE CIPRÉS EN CANTIDADES PROGRESIVAS SOBRE LAS PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE DE LA CARRETERA PALCA – VILAVILA 2024</b>	
<b>Datos de autor</b>	
Nombres y apellidos	Milan Leonidas Ito Pacori
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	74761586
URL de ORCID	<a href="https://orcid.org/0009-0008-8722-5187">https://orcid.org/0009-0008-8722-5187</a>
<b>Datos de asesor</b>	
Nombres y apellidos	Franz Joseph Barahona Perales
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	02442876
URL de ORCID	<a href="https://orcid.org/0000-0001-8509-7224">https://orcid.org/0000-0001-8509-7224</a>
<b>Datos del jurado</b>	
<b>Presidente del jurado</b>	
Nombres y apellidos	Milthon Quispe Huanca
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	02424528
<b>Miembro del jurado 1</b>	
Nombres y apellidos	Efrain Parillo Sosa
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	02416058
<b>Miembro del jurado 2</b>	
Nombres y apellidos	Arnaldo Yana Torres
Tipo de documento	DNI



Número de documento de identidad	41414676
<b>Datos de investigación</b>	
Línea de investigación	Tecnología de la Construcción - P17
Grupo de investigación	No aplica.
Agencia de financiamiento	Sin financiamiento
Ubicación geográfica de la investigación	<p>País: Perú  Departamento: Puno  Provincia: Lampa  Distrito: Vila Vila  Latitud: S 15° 11' 38"  Longitud: O 70° 40' 27"</p>  <p><a href="https://maps.app.goo.gl/AYDmaUJ5ZBDubz6TA">https://maps.app.goo.gl/AYDmaUJ5ZBDubz6TA</a></p>
Año o rango de años en que se realizó la investigación	Julio 2024 - Octubre 2024
URL de disciplinas OCDE <a href="https://concytec-pe.github.io/Peru-CRIS/vocabularios/ocde_ford.html">https://concytec-pe.github.io/Peru-CRIS/vocabularios/ocde_ford.html</a> - Librería	<b>Ingeniería Civil</b> <a href="https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.00">https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.00</a> <b>Ingeniería de la construcción</b> <a href="https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.03">https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.03</a>

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS EXACTAS Y AGRARIAS

*Dr. Efraín Barillo Sosa*  
DIRECTOR  
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN



### DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD Y RESPONSABILIDAD

Yo MILAN LEONIDAS ITO PACORI, identificado con DNI Nro. 74761586, 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:  
IMPACTO DE LA INCLUSIÓN DE CENIZA DE MALEZA Y CENIZA DE LEÑA DE CIPRÉS EN CANTIDADES PROGRESIVAS SOBRE LAS PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE DE LA CARRETERA PALCA - VILAVILA 2024

Asesorado por: Mgtr. FRANZ JOSEPH BARAHONA PERALES

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.

Juliaca 30 de octubre del 2024

  
Firma del Asesor (obligatoria)

  
Firma del Estudiante (obligatoria)



Huella



## DEDICATORIA

*A mis queridos padres,*

*Por ser mi fuente inagotable de amor, apoyo y motivación.*

*Estoy profundamente agradecida por haberme mostrado, a través de su ejemplo, la importancia del esfuerzo, la constancia y la dedicación. Aprecio sinceramente su fe en mis habilidades, incluso en momentos en los que yo misma no confiaba en ellas.*

*Este logro es tan mío como suyo, y les dedico cada página con inmenso cariño y gratitud.*

*Todo lo que soy y lo que he logrado es gracias a ustedes.*



## AGRADECIMIENTO

*A Dios,*

*Por haberme guiado y acompañado en cada paso de este camino. Por darme la fortaleza, la sabiduría y la serenidad necesarias para superar cada reto. Sin su bendición y su luz, este logro no habría sido posible.*

*A mis catedráticos,*

*Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a cada uno de ustedes, quienes con paciencia y dedicación compartieron su conocimiento, siendo fuente de inspiración en mi formación académica y personal. A cada profesor que, con sus enseñanzas y su ejemplo, contribuyó a forjar mi camino y mi crecimiento como profesional. Su orientación ha sido fundamental para culminar esta etapa con éxito.*



# ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTO.....	ii
ÍNDICE GENERAL.....	iii
ÍNDICE DE TABLAS.....	vi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vii
RESUMEN.....	viii
ABSTRACT.....	ix
INTRODUCCIÓN.....	x

## CAPÍTULO I

### EL PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN

1.1	Análisis de la situación problemática .....	12
1.2	Planteamiento del problema .....	14
1.2.1	Problema general.....	14
1.2.2	Problemas específicos .....	14
1.3	Objetivos de la investigación .....	14
1.3.1	Objetivo general.....	14
1.3.2	Objetivos específicos .....	15
1.4	Justificación de la investigación .....	15
1.4.1	Justificación técnica .....	15
1.4.2	Justificación económica .....	16
1.4.3	Justificación social .....	16
1.4.4	Justificación ambiental .....	17
1.5	Hipótesis de la investigación.....	17
1.5.1	Hipótesis general .....	17
1.5.2	Hipótesis específicas.....	18
1.6	Variables .....	18
1.6.1	Variable independiente.....	18
1.6.2	Variable dependiente .....	18
1.7	Operacionalización de variables .....	19



CAPÍTULO II
MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación..... 20
2.1.1 Antecedentes internacionales ..... 20
2.1.2 Antecedentes nacionales ..... 23
2.1.3 Antecedentes regionales..... 24
2.2 Marco teórico..... 26
2.2.1 Malezas..... 26
2.2.2 Ceniza de leña ..... 27
2.2.3 Suelo..... 29
2.2.3.1 Propiedades..... 32
2.2.3.2 Tipos de suelo..... 34
2.2.4 Subrasante..... 35
2.2.5 Estabilización de la subrasante ..... 37
2.2.5.1 Análisis de laboratorio en la subrasante..... 40
2.3 Marco conceptual ..... 46

CAPÍTULO III
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1 Diseño de la investigación ..... 48
3.2 Métodos de la investigación..... 49
3.3 Nivel y tipo de investigación..... 50
3.3.1 Tipo de investigación..... 50
3.3.2 Nivel de investigación..... 50
3.4 Población y muestra de la investigación ..... 51
3.4.1 Población ..... 51
3.4.2 Muestra ..... 51
3.5 Técnicas e instrumentos ..... 52
3.5.1 Técnicas..... 52
3.5.2 Instrumentos ..... 52
3.6 Validación y confiabilidad del instrumento ..... 53
3.6.1 Validación de instrumentos ..... 53
3.6.2 Confiabilidad de instrumentos ..... 53
3.7 Procedimiento de recolección de datos ..... 53



3.7.1 Ensayos en laboratorio.....	55
3.8 Procesamiento y análisis de datos.....	61

### **CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

4.1 Presentación y análisis de resultados.....	62
4.1.1 Características de los materiales de la subrasante de la carretera Palca-Vilavila.....	62
4.1.2 Aplicación de ceniza de malezas y ceniza de leña de ciprés en el índice de plasticidad.....	71
4.1.3 Variación de la densidad seca máxima del suelo de la subrasante al adicionar ceniza de malezas y ceniza de leña de ciprés en la carretera Palca – Vilavila.....	75
4.1.4 Efecto de la adición de ceniza de malezas y ceniza de leña de ciprés en el CBR del material de subrasante en la carretera Palca – Vilavila.....	80
4.2 Discusión de resultados.....	83
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>87</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>88</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>89</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>92</b>



## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Operacionalización de variables .....	19
<b>Tabla 2</b> Humedad en puntos de control .....	62
<b>Tabla 3</b> Gradación en el SU-01 .....	63
<b>Tabla 4</b> Gradación en el SU-02 .....	64
<b>Tabla 5</b> Gradación en el SU-03 .....	65
<b>Tabla 6</b> Índice plástico en los diferentes puntos de control de la subrasante natural .....	66
<b>Tabla 7</b> DMS y CHO en los diferentes puntos de control de la subrasante natural .....	67
<b>Tabla 8</b> CBR al 95% y 100% en los diferentes puntos de control de la subrasante natural .....	69
<b>Tabla 9</b> Índice plástico con ceniza de malezas .....	71
<b>Tabla 10</b> Índice plástico con ceniza de leña de ciprés .....	72
<b>Tabla 11</b> Comparativa del índice plástico con cenizas.....	74
<b>Tabla 12</b> DMS y CHO en los diferentes puntos de control de la subrasante con ceniza de malezas .....	75
<b>Tabla 13</b> DMS y CHO en los diferentes puntos de control con ceniza de leña de ciprés 76	
<b>Tabla 14</b> DMS y CHO - Comparativa.....	78
<b>Tabla 15</b> CBR en los diferentes puntos de control de la subrasante con ceniza de malezas .....	80
<b>Tabla 16</b> CBR en los diferentes puntos de control de la subrasante con ceniza de leña de ciprés.....	81
<b>Tabla 17</b> Comparativa de CBR.....	82



### ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b>	Leña de ciprés .....	29
<b>Figura 2</b>	Humedad en puntos de control .....	63
<b>Figura 3</b>	Gradación en el SU-01 - Curva .....	64
<b>Figura 4</b>	Gradación en el SU-02 - Curva .....	65
<b>Figura 5</b>	Gradación en el SU-03 - Curva .....	66
<b>Figura 6</b>	Índice plástico en los diferentes puntos de control de la subrasante natural....	67
<b>Figura 7</b>	DMS en los diferentes puntos de control de la subrasante natural .....	68
<b>Figura 8</b>	CHO en los diferentes puntos de control de la subrasante natural .....	69
<b>Figura 9</b>	CBR al 95% y 100% en los diferentes puntos de control de la subrasante natural	70
<b>Figura 10</b>	Índice plástico con ceniza de malezas .....	71
<b>Figura 11</b>	Índice plástico con ceniza de leña de ciprés.....	73
<b>Figura 12</b>	Comparativa del índice plástico con cenizas .....	74
<b>Figura 13</b>	DMS en los diferentes puntos de control de la subrasante con ceniza de malezas	75
<b>Figura 14</b>	CHO en los diferentes puntos de control de la subrasante con ceniza de malezas	76
<b>Figura 15</b>	DMS en los diferentes puntos de control con ceniza de leña de ciprés .....	77
<b>Figura 16</b>	CHO en los diferentes puntos de control con ceniza de leña de ciprés .....	78
<b>Figura 17</b>	DMS y CHO - Comparativa .....	79
<b>Figura 18</b>	CBR en los diferentes puntos de control de la subrasante con ceniza de malezas	80
<b>Figura 19</b>	CBR en los diferentes puntos de control de la subrasante con ceniza de leña de ciprés	81
<b>Figura 20</b>	Comparativa de CBR .....	82



## RESUMEN

Este estudio, titulado "Impacto de la inclusión de ceniza de malezas y ceniza de leña de ciprés en cantidades progresivas sobre las propiedades de la subrasante de la carretera Palca – Vilavila 2024", tiene como objetivo evaluar el efecto de la incorporación de estos aditivos en proporciones del 6%, 12% y 20% sobre las propiedades mecánicas de la subrasante de dicha carretera. Se adoptó una metodología experimental con un enfoque aplicado y nivel explicativo. Los resultados indicaron que los materiales que componen la subrasante de la carretera presentan un (IP) de 15.85%, una (DMS) de 1.929 g/cm<sup>3</sup> y un contenido óptimo del 10.77%. Además, el ensayo de CBR al 95% arrojó un valor de 7.08, lo que indica una capacidad de soporte adecuada en las condiciones evaluadas. La inclusión de ceniza de maleza y de ceniza de leña de ciprés redujo significativamente el IP del suelo. Con un 20% de ceniza de maleza, el IP disminuyó a 12.30%, mientras que con un 20% de ceniza de ciprés, el IP se redujo aún más, alcanzando un 10.75%. Esto demuestra que ambos aditivos mejoran las características del suelo, siendo la ceniza de ciprés más eficiente en este aspecto. Asimismo, la densidad máxima del suelo aumentó con la adición de los aditivos. Al incorporar un 20% de ceniza de maleza, la DMS alcanzó 2.017 g/cm<sup>3</sup>, y con un 20% de ceniza de ciprés se logró una densidad de 2.003 g/cm<sup>3</sup>. Finalmente, el soporte estructural del material de subrasante mejoró notablemente con la incorporación de ambos tipos de ceniza. Con un 20% de ceniza de maleza, el CBR aumentó a 13.85%, mientras que con un 20% de ceniza de ciprés, el CBR se incrementó hasta 16.81%. Estos resultados confirman que ambos aditivos incrementan la capacidad de soporte del suelo, siendo nuevamente la ceniza de ciprés más efectiva en este aspecto.

**Palabras Clave:** Subrasante, Ceniza de Malezas, Ceniza de Leña de Ciprés.



## ABSTRACT

This study, entitled "Impact of the inclusion of weed ash and cypress wood ash in progressive amounts on the properties of the subgrade of the Palca - Vilavila 2024 highway", aims to evaluate the effect of the incorporation of these additives in proportions of 6%, 12% and 20% on the mechanical properties of the subgrade of this highway. An experimental methodology with an applied approach and explanatory level was adopted. The results indicated that the materials that make up the road's subgrade present a (IP) of 15.85%, a (DMS) of 1.929 g/cm<sup>3</sup> and an optimum content of 10.77%. In addition, the CBR test at 95% yielded a value of 7.08, indicating an adequate bearing capacity under the conditions evaluated. The inclusion of weed ash and cypress wood ash significantly reduced the PI of the soil. With 20% weed ash, the PI decreased to 12.30%, while with 20% cypress ash, the PI was further reduced to 10.75%. This shows that both additives improve soil characteristics, with cypress ash being more efficient in this aspect. Likewise, the maximum density of the soil increased with the addition of the additives. By incorporating 20% weed ash, the MSD reached 2.017 g/cm<sup>3</sup>, and with 20% cypress ash, a density of 2.003 g/cm<sup>3</sup> was achieved. Finally, the structural support of the subgrade material improved significantly with the incorporation of both types of ash. With 20% weed ash, the CBR increased to 13.85%, while with 20% cypress ash, the CBR increased to 16.81%. These results confirm that both additives increase soil bearing capacity, with cypress ash again being more effective in this aspect.

**Keywords:** Subgrade, Weed Ash, Cypress Wood Ash.



## INTRODUCCIÓN

En la construcción y mantenimiento de infraestructuras viales, la calidad de la subrasante desempeña un papel fundamental, ya que actúa como la base estructural que soporta el pavimento y distribuye las cargas aplicadas por el tráfico vehicular. En las zonas rurales y de difícil acceso, como es el caso de la carretera Palca – Vilavila, es frecuente encontrar suelos con propiedades mecánicas deficientes que comprometen la durabilidad y funcionalidad de las vías. Esto ha generado un interés creciente por explorar alternativas sostenibles y de bajo costo para incrementar la estabilidad de la subrasante, tales como la estabilización mediante el uso de materiales reciclados o subproductos de origen natural.

La incorporación de residuos de ceniza de la incineración de malezas y leña de ciprés se plantea como una estrategia innovadora para mejorar el comportamiento del suelo subrasante. La ceniza de malezas y la ceniza de leña de ciprés contienen compuestos que pueden influir positivamente en la resistencia y durabilidad del suelo, aumentando su capacidad de carga y reduciendo su susceptibilidad a los fenómenos de deformación y erosión. Además, el aprovechamiento de estos residuos contribuye a una gestión más eficiente de los recursos, alineándose con prácticas ambientales sostenibles.

Esta investigación no solo permitirá identificar las proporciones óptimas de ceniza que maximicen los beneficios en términos de rendimiento estructural, sino que también proporcionará información valiosa para la implementación de técnicas de acondicionamiento de suelos para vías de transporte en regiones con características geológicas similares. Asimismo, se espera que los resultados contribuyan al desarrollo de soluciones más ecológicas y rentables en el sector de la construcción civil, especialmente en áreas rurales.

El contenido de esta tesis se organiza de la siguiente manera:



En el Capítulo I, se establecen los cimientos fundamentales de la investigación. En esta sección, se describen las variables clave y se configura un marco conceptual que guiará el estudio. También se delinearán tanto los objetivos generales como los específicos, dejando en claro el rumbo de la investigación. Además, se justifica detalladamente la importancia de abordar esta temática en particular, exponiendo las razones por las que se considera pertinente realizar el estudio. Asimismo, se formulan las hipótesis de trabajo que orientarán el análisis posterior.

El Capítulo II está enfocado en la elaboración de un marco teórico robusto. Aquí se lleva a cabo un examen exhaustivo de estudios anteriores y de las principales aportaciones realizadas en el campo de estudio, ofreciendo una síntesis de los conceptos y teorías relevantes. Este capítulo no se limita a describir las ideas fundamentales, sino que también coloca el estudio dentro de un marco conceptual más amplio, identificando vacíos o áreas de oportunidad en el conocimiento actual que esta investigación busca llenar.

En el Capítulo III, se presenta una descripción detallada de los métodos y procedimientos empleados en el desarrollo de la investigación. Se especifican los criterios de selección de los participantes o muestras estudiadas, así como la estrategia metodológica adoptada. En este capítulo se justifica la elección de las técnicas utilizadas para la recolección y el análisis de los datos, proporcionando una visión clara y comprensible de las herramientas aplicadas durante el proceso de investigación.

Finalmente, el Capítulo IV está dedicado a la presentación y análisis de resultados obtenidos. Los datos recopilados se constituyen de manera estructurada en tablas y gráficos para facilitar su comprensión. Subsiguientemente, se realiza un análisis comparativo con los resultados de estudios anteriores en el mismo campo, lo que permite contextualizar los hallazgos y evaluar su relevancia en relación con la literatura existente.



## CAPÍTULO I

### EL PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN

#### 1.1 Análisis de la situación problemática

El desarrollo de infraestructuras viales sostenibles y eficientes es una prioridad en muchos países alrededor del mundo, especialmente en áreas rurales y de difícil acceso. Sin embargo, el desafío de mejorar las propiedades de los suelos subrasantes en regiones con suelos de baja capacidad de soporte sigue siendo una constante en proyectos de ingeniería, la estabilización del terreno mediante el uso de materiales alternativos ha ganado relevancia internacional, con investigaciones que exploran el uso de subproductos industriales y residuos orgánicos, como las cenizas provenientes de la combustión de diversos materiales. Países como India, China y Brasil han implementado prácticas innovadoras para aprovechar residuos agrícolas y forestales, como las cenizas, en la estabilización de suelos con resultados prometedores en cuanto a mejoras en la resistencia, la durabilidad y la sostenibilidad de las carreteras rurales.

En estudios recientes, se ha evaluado la efectividad de incorporar cenizas vegetales y otros residuos en la mejora de subrasantes con características problemáticas. Esto responde a la necesidad global de encontrar soluciones que no solo mejoren las características resistentes del suelo, así como también contribuyan a reducir la huella de carbono de las construcciones viales y el impacto ambiental.



En Perú, las carreteras son una pieza clave en el desarrollo de las regiones, ya que conectan zonas rurales con mercados y servicios. Sin embargo, gran parte de la red vial nacional, especialmente en regiones andinas y zonas rurales, presenta deficiencias debido a la baja calidad de los suelos subyacentes, lo que impacta directamente en la durabilidad y funcionalidad de las vías. El uso de técnicas tradicionales para mejorar la subrasante, como la adición de cal o cemento, a menudo resulta costoso y poco accesible para muchas comunidades. Esto ha motivado a ingenieros y académicos a explorar métodos alternativos, entre ellos, el uso de residuos como las cenizas provenientes de malezas y leña.

A nivel nacional, ha habido un creciente interés por el uso de cenizas como material estabilizador, dado su abundante disponibilidad en el contexto agrícola y forestal del país. El uso de cenizas no solo ofrece una solución técnica viable para mejorar las características del suelo, sino que también responde a una preocupación ambiental al reducir el volumen de residuos agrícolas y forestales no aprovechados. En regiones rurales del Perú, las cenizas provenientes de la quema de malezas y de leña de ciprés podrían representar una oportunidad para mejorar la calidad de las vías rurales con métodos sostenibles y económicos.

La carretera Palca – Vilavila, situada en una región predominantemente rural, se enfrenta a los mismos problemas que muchas vías locales en Perú: suelos subrasantes de baja calidad que no pueden soportar adecuadamente las cargas vehiculares, lo que genera deformaciones, baches y un rápido deterioro del pavimento. Estas deficiencias dificultan el tránsito, afectando negativamente la economía local y limitando el acceso de la población a servicios esenciales. La ceniza de malezas y la ceniza de leña de ciprés representan materiales de fácil acceso, ya que la quema de estos elementos es común en la región, tanto por prácticas agrícolas como por el uso de leña para calefacción. Sin embargo, hasta la fecha, no se ha explorado de manera sistemática la posibilidad de utilizar estas cenizas como estabilizadores del suelo en proyectos viales.

## 1.2 Planteamiento del problema

### 1.2.1 *Problema general*

¿Cuál es el impacto de la inclusión de ceniza de malezas y ceniza de leña de ciprés en cantidades progresivas sobre las propiedades de la subrasante de la carretera Palca – Vilavila 2024?

### 1.2.2 *Problemas específicos*

- a. ¿Cuáles son las características físicas y mecánicas de los materiales que componen la subrasante de la carretera Palca – Vilavila en el año 2024?
- b. ¿Qué impacto tiene la aplicación de ceniza de malezas y ceniza de leña de ciprés en el índice de plasticidad del suelo de subrasante en la carretera Palca – Vilavila en 2024?
- c. ¿Cómo varía la densidad seca máxima del suelo de la subrasante al adicionar ceniza de malezas y ceniza de leña de ciprés en la carretera Palca – Vilavila en 2024?
- d. ¿De qué manera afecta la capacidad de soporte CBR del material de subrasante la adición de ceniza de malezas y ceniza de leña de ciprés en la carretera Palca – Vilavila en 2024?

## 1.3 Objetivos de la investigación

### 1.3.1 *Objetivo general*

Evaluar el impacto de la inclusión de ceniza de malezas y ceniza de leña de ciprés en cantidades progresivas sobre las propiedades de la subrasante de la carretera Palca – Vilavila 2024.

### 1.3.2 *Objetivos específicos*

- a. Determinar las características físicas y mecánicas de los materiales que componen la subrasante de la carretera Palca – Vilavila en el año 2024.
- b. Evaluar el impacto de la aplicación de ceniza de malezas y ceniza de leña de ciprés en el índice de plasticidad del suelo de subrasante en la carretera Palca – Vilavila en 2024.
- c. Analizar la variación de la densidad seca máxima del suelo de la subrasante al adicionar ceniza de malezas y ceniza de leña de ciprés en la carretera Palca – Vilavila en 2024.
- d. Determinar el efecto de la adición de ceniza de malezas y ceniza de leña de ciprés en la capacidad de soporte CBR del material de subrasante en la carretera Palca – Vilavila en 2024.

## 1.4 Justificación de la investigación

### 1.4.1 *Justificación técnica*

Se justifica debido a la necesidad de optimizar las características mecánicas del suelo subrasante en proyectos viales. La subrasante, al ser la base sobre la cual se distribuyen las cargas vehiculares, requiere condiciones óptimas de resistencia, estabilidad y durabilidad. Sin embargo, en zonas rurales como Palca y Vilavila, los suelos tienden a presentar una capacidad de soporte limitada, lo que genera problemas estructurales y un rápido deterioro de las carreteras.

El uso de cenizas, tanto de malezas como de leña de ciprés, ha demostrado ser una alternativa eficaz en la estabilización de suelos. Estos materiales actúan como ligantes, mejorando la cohesión y la resistencia del suelo, lo que se traduce en una mayor capacidad para soportar las cargas dinámicas del tráfico. Además, la inclusión de cenizas en

cantidades progresivas permite identificar la proporción óptima que maximice los beneficios estructurales del suelo subrasante. Esta justificación técnica es clave, dado que contribuye a resolver problemas de estabilidad de manera sostenible y eficiente, mejorando la vida útil de las carreteras rurales.

#### **1.4.2 Justificación económica**

La introducción de cenizas de malezas y de leña de ciprés en la estabilización de la subrasante ofrece una alternativa económica viable en contraste con otros enfoques tradicionales de estabilización, como el uso de cemento o cal. La disponibilidad local de estos materiales, que son residuos de actividades agrícolas y forestales comunes en la región, reduce significativamente los costos de adquisición y transporte, que suelen ser una barrera en proyectos viales rurales. Además, el aprovechamiento de estos residuos minimiza la necesidad de recurrir a materiales costosos y reduce la dependencia de insumos externos.

La optimización del comportamiento mecánico del suelo mediante el uso de estos residuos se traduce en una durabilidad superior de las vías, lo que conlleva menores costos de mantenimiento y reparaciones a largo plazo. Al extender la vida útil de las infraestructuras viales, se genera un ahorro significativo en los presupuestos municipales y regionales destinados a la conservación de carreteras, lo cual beneficia directamente a las economías locales.

#### **1.4.3 Justificación social**

Desde una perspectiva social, la mejora de la infraestructura vial en zonas rurales como Palca y Vilavila tiene un impacto positivo directo en la calidad de vida de las comunidades. Las carreteras mejoradas permiten una mayor conectividad, facilitando el acceso a servicios básicos como salud, educación y mercados, lo que contribuye al desarrollo socioeconómico de la región. Al emplear un método de estabilización basado en materiales locales y de fácil acceso, la comunidad se ve beneficiada no solo en términos



de infraestructura, sino también en la creación de nuevas oportunidades laborales relacionadas con la recolección y el procesamiento de las cenizas.

Asimismo, el uso de cenizas como estabilizador contribuye a una solución que puede ser replicada en otras comunidades rurales del país, brindando un enfoque accesible y de bajo costo que puede ser adoptado por los gobiernos locales. Esto refuerza la equidad social al garantizar que incluso las zonas más remotas y con menores recursos puedan tener acceso a carreteras duraderas y de calidad.

#### **1.4.4 Justificación ambiental**

La investigación presenta un claro enfoque ambiental al proponer el uso de residuos de origen vegetal, como las cenizas de malezas y leña de ciprés, para mejorar las características de la subrasante. Estos materiales, que de otro modo se desecharían o contribuirían a la contaminación del aire y del suelo, son aprovechados en la estabilización de suelos, lo que representa una solución de reciclaje sostenible. Al reducir la cantidad de residuos y convertirlos en recursos útiles, el proyecto disminuye el impacto ambiental de las actividades agrícolas y forestales en la región.

Además, el uso de cenizas como estabilizador minimiza la necesidad de utilizar materiales convencionales como el cemento, cuya producción es altamente intensiva en términos de emisiones de CO<sub>2</sub>. De esta manera, el proyecto contribuye a la reducción de la huella de carbono asociada con la construcción vial, alineándose con las metas de sostenibilidad y protección ambiental a nivel local y nacional.

### **1.5 Hipótesis de la investigación**

#### **1.5.1 Hipótesis general**

El impacto de la inclusión de ceniza de malezas y ceniza de leña de ciprés en cantidades progresivas sobre las propiedades de la subrasante de la carretera Palca – Vilavila 2024 ser positivo.



## 1.5.2 *Hipótesis específicas*

- a. Los materiales que componen la subrasante de la carretera Palca – Vilavila en 2024 presentan propiedades físicas y mecánicas deficiente.
- b. La aplicación de ceniza de malezas y ceniza de leña de ciprés en la subrasante de la carretera Palca – Vilavila reducirá significativamente el índice de plasticidad del suelo, mejorando su comportamiento.
- c. La adición de ceniza de malezas y ceniza de leña de ciprés incrementará la densidad seca máxima del suelo de la subrasante en la carretera Palca – Vilavila, optimizando su capacidad de compactación.
- d. La incorporación de ceniza de malezas y ceniza de leña de ciprés mejorará la capacidad de soporte CBR del material de subrasante en la carretera Palca – Vilavila, permitiendo un mayor soporte de las cargas vehiculares.

## 1.6 Variables

### 1.6.1 *Variable independiente*

Ceniza de Malezas y Ceniza de Leña de Ciprés.

### 1.6.2 *Variable dependiente*

Propiedades de la Subrasante.



1.7 Operacionalización de variables

Tabla 1

Operacionalización de variables

VARIABLE INDEPENDIENTE	DEFINICIONES	DIMENSIÓN	INDICADOR	INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN
<b>Ceniza de Malezas y Ceniza de Leña de Ciprés</b>	Material resultante de la combustión de malezas y leña de ciprés, utilizado como aditivo en la estabilización de suelos. Proporción de Ceniza	Proporción de Ceniza Aplicada	6%, 12% y 20% de incorporación de ceniza de malezas y ceniza de leña de ciprés.	Balanza, Protocolo de mezcla de suelo y cenizas
<hr/>				
VARIABLE DEPENDIENTE				
<b>Propiedades de la Subrasante.</b>	Características físicas y mecánicas del suelo subrasante que influyen en su capacidad de soporte y estabilidad.	Características de la subrasante	<ul style="list-style-type: none"> <li>•IP</li> <li>•MDS</li> <li>• (CBR)</li> </ul>	Pruebas y equipamientos de laboratorio.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Antecedentes de la investigación

##### 2.1.1 *Antecedentes internacionales*

Portilla & Andaluz, (2022) en su investigación titulada "Evaluación del impacto de la ceniza de cáscara de arroz en las características físico-mecánicas de suelos finos de subrasante", se enfocó en investigar la influencia que la inclusión de ceniza de cascarilla de arroz tiene sobre las características físico-mecánicas de suelos de subrasante fina. El objetivo del estudio era realizar una investigación comparativa de los valores CBR del suelo en su forma normal y del suelo estabilizado con ceniza de cáscara de arroz. Los suelos que se utilizaron para el estudio provenían de tres lugares distintos dentro del cantón de Puyo. Para realizar los ensayos Proctor modificado y CBR, las muestras de suelo se combinaron con ceniza de cascarilla de arroz en proporciones variables: 0%, 1%, 3%, 5% y 8%. El siguiente paso consistió en examinar las diferencias y similitudes entre dos diseños diferentes de pavimento flexible. Uno de los diseños utilizaba los valores CBR del suelo natural, mientras que el otro utilizaba los valores CBR del suelo estabilizado. Sobre la base de los resultados, se determinó que el diseño que incluía suelo estabilizado permitía reducir los espesores de las capas de pavimento flexible. Además, se realizó un estudio económico para determinar la naturaleza de la relación entre la integración de la ceniza de cascarilla



de arroz y los gastos asociados a la construcción de una carretera. Las limitaciones líquida y plástica del suelo de Santa Isabel resultaron ser de 48,08% y 40,77%, respectivamente, según los resultados particulares que se obtuvieron. Tanto el suelo de Fátima como el de Veracruz presentaron los mismos valores durante el estudio. Adicionalmente, los valores de densidad seca máxima y humedad óptima para Santa Isabel fueron de 1.241 g/cm<sup>3</sup> y 31.9%, mientras que Fátima tuvo 1.261 g/cm<sup>3</sup> y 28%, y Veracruz 1.236 g/cm<sup>3</sup> y 32.5%. Estos valores se determinaron analizando las mediciones del suelo. Después de realizar un análisis para determinar el grado de compactación natural, se determinó que los suelos de Santa Isabel (49,56%), Fátima (37,91%) y Veracruz (41,59%) tienen un bajo grado de densificación. Esto se atribuye al alto contenido de humedad natural de estos suelos. Además, la investigación demostró que la capacidad de carga CBR de las muestras aumentó considerablemente cuando la proporción de ceniza de cascarilla de arroz presente en los suelos del cantón de Puyo se incrementó de 0% a 8%. Durante este período, el CBR en el sector de Santa Isabel pasó de 7,70% a 12,20%, mientras que en Fátima aumentó de 8,60% a 13,20%, y en Veracruz aumentó de 8,45% a 13,49%. El estudio económico reveló que la adición de ceniza de cáscara de arroz al suelo de la subrasante supuso un aumento del 26,41% en el coste total del proyecto. Y ello a pesar de que se mejoró la capacidad portante.

(Blacio, 2022) en su artículo titulado "Mejora de suelos arcillosos plásticos con viruta de madera reciclada de encofrado, caucho reciclado y ceniza volcánica para su uso en la subrasante de una carretera", se centra en la estabilización de suelos arcillosos plásticos mediante la incorporación de aditivos como viruta de madera, caucho reciclado y cenizas volcánicas. Con un índice de plasticidad del 55%, el suelo se clasificó como franco arcilloso limoso negro de alta plasticidad (CH, A-7-5) por el método SUCS. Esta clasificación se refiere a la composición del suelo. Teniendo en cuenta que, según las especificaciones del MTOP, el material de relleno debe tener una dilatación inferior al 4%, un límite líquido inferior al 35% y un índice de plasticidad inferior al 9%, el noventa y cinco por ciento del



material pudo pasar por el tamiz 200. Este material tenía una densidad máxima de 1,5 mm. Este material tenía una densidad máxima de 1.635 kg/m<sup>3</sup> y una expansión del 11%. Se realizaron pruebas para determinar el contenido de humedad y el peso unitario de los materiales. Los resultados mostraron que las virutas de madera tenían un peso unitario de 0,710 kg/m<sup>3</sup>, mientras que el caucho reciclado tenía un peso unitario de 0,926 kg/m<sup>3</sup>. La ceniza volcánica, que no posee plasticidad (NP), fue sometida a un análisis de curva granulométrica, que dio como resultado la determinación de un porcentaje de finura de 1,83. Para reducir la plasticidad de estos materiales y garantizar que se ajustan a los criterios del MTOP, se pasaron por un tamiz de número 40 para combinarlos con la arcilla expansiva. En cuanto a las pruebas de categorización, se completaron cuatro combinaciones diferentes de mezclas. Al realizar estos experimentos, se utilizó la parte más fina de las virutas de madera y las cenizas volcánicas que habían sido tamizadas con el n° 40. Esto permitió crear combinaciones aceptables. Esto permitió crear combinaciones aceptables con la arcilla que se ajustaban a los requisitos establecidos por el Ministerio de Transporte y Obras Públicas. Con un límite líquido del 72% y un índice de plasticidad del 38%, la primera combinación, compuesta por un 85% de arcilla, un 5% de virutas de madera y un 10% de cenizas volcánicas, demostró un rendimiento excepcional. El límite líquido bajó al 52% y el índice de plasticidad se redujo al 21% cuando se utilizó la segunda combinación. Esta mezcla tenía un 70% de arcilla, un 10% de virutas de madera y un 20% de ceniza volcánica. La tercera combinación, compuesta por un 60% de arcilla, un 10% de virutas de madera y un 30% de ceniza volcánica, redujo el límite líquido al 38% y el índice de plasticidad al 13%. Por último, la cuarta mezcla, compuesta por un 50% de arcilla, un 10% de virutas de madera y un 40% de cenizas volcánicas, consiguió un límite líquido del 33% y un índice de plasticidad del 8%. Esto se ajustaba a las especificaciones del MTOP, que estipulan que el límite máximo de líquido debe ser del treinta y cinco por ciento y que el índice de plasticidad no debe superar el nueve por ciento.



### 2.1.2 Antecedentes nacionales

(Remuzgo, 2022) en su estudio titulado "Análisis del impacto de la puzolana de ceniza de paja de trigo en suelos arenosos arcillosos en la subrasante de Huacrapuquio", El objetivo principal de este estudio es determinar cómo la adición de esta puzolana influye en las propiedades del suelo arenoso arcilloso en dicha subrasante. La hipótesis a contrastar postula que la evaluación del suelo mejorará con la adición de puzolana de ceniza de paja de trigo, lo que implicaría una mejora significativa en sus características mecánicas. En cuanto a la metodología, se sigue un enfoque basado en el método científico, con un tipo de investigación aplicada, un nivel explicativo y un diseño experimental. El estudio se centró en material extirpado de dos calicatas ubicadas en el Jr. Cementerio, entre los kilómetros 1+100 y 1+620 en Huacrapuquio. La muestra fue escogida de manera no probabilística, utilizando una técnica de muestreo aleatorio que comprendió 100 kilogramos de suelo de la primera calicata. Como resultado, se concluyó que para la muestra de suelo sin ningún tipo de modificación, se obtuvo un valor de CBR al 95% de compactación del 7.92%. No obstante, al añadir un 20% de puzolana de ceniza de paja de trigo, el CBR mejoró significativamente, alcanzando un valor del 20.50% al 95% de compactación. Estos resultados demuestran que la incorporación de puzolana de ceniza de paja de trigo contribuye de manera efectiva a mejorar las características mecánicas del suelo arenoso arcilloso en la subrasante del distrito de Huacrapuquio.

(Gonzales, 2023) en su estudio titulado "Optimización de la subrasante con cenizas de cáscara de arroz en el distrito de Cajaruro, Utcubamba, Amazonas, 2021", busca mejorar la subrasante de la carretera que conecta el cruce de Naranjos Alto y Cocaenrique con San Juan de la Libertad. Esta vía se encuentra ubicada en el distrito de Cajaruro, provincia de Utcubamba, departamento de Amazonas. Para lograr este objetivo, se utilizarán pruebas de mecánica de suelos, tales como análisis granulométrico, límites de Atterberg, Proctor modificado y CBR, para investigar el comportamiento tanto del suelo nativo como del suelo que ha sido mezclado con cenizas en cantidades variables (5%,

10%, 15% y 20%). De acuerdo con los resultados de la prueba CBR que se llevó a cabo en el suelo natural de la fosa de prueba nº 2, se alcanzó un valor de 9,5% al 95% de la densidad seca máxima (DMS), lo que indica que la subrasante es inadecuada. Los valores de CBR, por otra parte, aumentaron a 10,4%, 12,8%, 14% y 12,2%, respectivamente, cuando se añadió ceniza de cascarilla de arroz al 5%, 10%, 15% y 20%, respectivamente. Esto indica que la subrasante es aceptable. En el caso del suelo natural en el pozo de prueba nº 4, el valor inicial de CBR fue de 4,3%, que se determina de forma similar como insuficiente. Sin embargo, los valores que se obtuvieron fueron 10,5%, 10,7%, 11,5% y 10,6% con la adición de cenizas en los mismos porcentajes (5%, 10%, 15% y 20%). Esto resultó en una mejora en la categorización de la subrasante a una condición que era beneficiosa. El siguiente paso es llevar a cabo una evaluación técnica y económica de la estabilización del suelo utilizando cenizas de cáscara de arroz. Esta evaluación comparará los resultados alcanzados con los obtenidos con los materiales tradicionales utilizados en la construcción de carreteras de este tipo. El objetivo de esta evaluación es determinar si es factible o no utilizar este aditivo en la mejora de las subrasantes.

### **2.1.3 Antecedentes regionales**

(Maraza, 2023) en su investigación denominada "Mejora de subrasantes de caminos vecinales en zonas tropicales mediante cenizas de malezas y cal, carretera Sandia-Alto Inambari, Puno 2022", el objetivo principal es determinar la influencia de la incorporación de ceniza de maleza y cal en la estabilización de subrasantes de caminos vecinales en zonas tropicales. Específicamente, para este objetivo se utilizó una metodología deductiva basada en el método científico. Esta metodología es propia de un estudio de investigación aplicada que tiene un nivel explicativo y un diseño experimental. De acuerdo a los resultados obtenidos, el valor más alto de densidad seca máxima se alcanzó utilizando 20% de ceniza de maleza y 6% de cal. Esta cantidad fue de 1,69 gramos por centímetro cúbico. Por otra parte, la densidad seca máxima disminuyó a medida que



aumentaba la cantidad de estos componentes, y alcanzó su valor más bajo con una mezcla de 2% de ceniza de maleza y 8% de cal. En cuanto al Índice de Penetración (IP), la utilización de un 8% de cal y un 25% de cenizas de malas hierbas produjo una disminución sustancial. El valor CBR (California Bearing Ratio) alcanzado fue de 10,57%, mientras que el valor CBR más bajo fue de 6,12% utilizando un 25% de ceniza de maleza y un 8% de cal. Además, se detectó un aumento en el módulo de resiliencia para mayores dosis de ceniza y cal. La combinación de 25% de ceniza de maleza y 8% de cal produjo el mayor valor (11,56 ksi) para el módulo de resiliencia. En conclusión, la integración de cal y cenizas de malas hierbas en las subrasantes tuvo un impacto considerable en la estabilidad de las subrasantes. La combinación que contenía un 8% de cal y un 25% de cenizas de malas hierbas produjo un aumento del 1,02% en la densidad seca máxima, una reducción del 77,79% en el IP, un aumento del 270,87% en el CBR y una mejora del 127,78% en el módulo resistente. Claramente, esto ilustra que esta tecnología es eficiente en la mejora de las cualidades mecánicas de las subrasantes que se encuentran en las carreteras rurales de las regiones tropicales.

(Choquecota, 2022) en el estudio titulado " Uso de ceniza de thola para estabilizar el suelo de subrasante en una trocha carrozable, Chucuito Puno, 2022", tiene como objetivo principal investigar de qué manera la incorporación de ceniza de thola en diferentes proporciones (6%, 9%, 12% y 15%) contribuye a mejorar la estabilidad del suelo de subrasante de una carretera de tierra ubicada en Chucuito, Puno. En este estudio, el objetivo principal es optimizar las cualidades del suelo. Estos atributos incluyen la categorización del suelo según los sistemas SUCS y AASHTO, el índice de plasticidad, la densidad seca máxima, el COH y la capacidad portante del suelo actual. Este proyecto se elaboró utilizando un método cuantitativo, con un diseño aplicado y un nivel explicativo, y se desarrolló utilizando una técnica experimental cuasi-experimental. La investigación se realizó utilizando un método de muestreo no probabilístico, y abarcó la porción de la carretera de tierra de Chucuito, Puno, que se ubicó entre los kilómetros 01+500 y 02+500.

La muestra de suelo fue tomada del pozo de sondeo C-1, que se encuentra en la plataforma de la trocha en las coordenadas 01+950 del camino. Como resultado de las investigaciones realizadas, se descubrió que el índice de plasticidad óptimo era del 8%, lo que indica que la cohesividad del suelo ha mejorado. Según la prueba Proctor modificada (MDS), se alcanzó una densidad máxima de 1.727 g/cm<sup>3</sup>. Esto se produjo en términos de compacidad del material. Del mismo modo, la prueba CBR, que se utilizó para determinar la capacidad portante de la subrasante (al 100% del MDS), obtuvo un valor de 18,1%. Esto indica que la resistencia del suelo tratado con ceniza de thola ha aumentado significativamente. A través de los resultados de este estudio, se demuestra que la incorporación de ceniza de thola en el suelo subrasante resulta en una mejora sustancial de sus características, por lo tanto, se establece como una alternativa potencial para la estabilización de carreteras en la región de Puno.

## 2.2 Marco teórico

### 2.2.1 Malezas

La maleza, también conocida como hierba mala o arvenses, se refiere a cualquier planta que crece de manera espontánea y no es deseada en un lugar específico, generalmente en áreas cultivadas o de paisajismo. Estas plantas no forman parte de los cultivos planificados y, debido a su capacidad para adaptarse y competir agresivamente por recursos limitados como el agua, los nutrientes del suelo, la luz solar y el espacio, pueden interferir significativamente con las actividades agrícolas, jardinería y manejo del paisaje (Maraza, 2023).

Las malezas pueden ser plantas nativas o exóticas, y algunas se han adaptado tan bien a las condiciones locales que se vuelven difíciles de controlar. Además de su capacidad para competir con los cultivos, algunas malezas pueden servir de refugio para plagas y patógenos, aumentando los riesgos de enfermedades para las plantas cultivadas.



También pueden ser tóxicas para el ganado, contaminar fuentes de agua y afectar negativamente la biodiversidad al desplazar plantas nativas (Maraza, 2023).

Existen diferentes clasificaciones de malezas según su ciclo de vida (anual, bienal o perenne), su hábitat (acuáticas, terrestres) o su impacto económico y ecológico. El control de las malezas es una parte esencial de la agricultura y el manejo ambiental, e incluye métodos mecánicos, químicos, biológicos y culturales.

El subproducto de la quema de malezas son el residuo sólido que queda después de la combustión o quema de plantas consideradas malezas. Este material resultante está compuesto principalmente por minerales inorgánicos, como óxidos de calcio, potasio, magnesio y fósforo, que originalmente estaban presentes en las plantas. Las cenizas de malezas pueden ser aprovechadas en diversos contextos, como en la mejora de suelos agrícolas, ya que algunos de sus componentes pueden servir como fertilizantes naturales, aportando nutrientes esenciales para el crecimiento de otros cultivos (Maraza, 2023).

Sin embargo, el contenido exacto de las cenizas varía según el tipo de maleza quemada y las condiciones del suelo donde creció. En algunos casos, las cenizas de malezas también pueden contener elementos indeseables o tóxicos, como metales pesados, especialmente si las plantas han crecido en suelos contaminados. Por tanto, su uso en la agricultura o en otros procesos debe ser evaluado cuidadosamente para evitar la introducción de contaminantes en el ambiente. Además, las cenizas de malezas pueden utilizarse en otros campos, como en la fabricación de materiales de construcción, debido a su capacidad para actuar como aditivos en mezclas de cemento o concreto.

### **2.2.2 Ceniza de leña**

La leña es la madera que se obtiene de los árboles y arbustos, principalmente utilizada como combustible para generar calor y energía a través de su combustión.



Generalmente, la leña proviene de ramas o troncos caídos, podados o cortados de manera controlada. Es una fuente de energía renovable y se ha utilizado durante siglos en hogares, especialmente en áreas rurales, para cocinar y calentar espacios (Chavez & Malca, 2021).

Existen diferentes tipos de leña, que se clasifican según la especie de árbol de donde proviene. Las maderas duras, como el roble y la encina, tienden a ser más densas y generan más calor durante la combustión, mientras que las maderas blandas, como el pino y el ciprés, arden más rápidamente. La leña de ciprés, en particular, es valorada por su capacidad para encenderse fácilmente y producir una llama constante, aunque su combustión es más rápida en comparación con otras maderas más densas (Cristobal & Quinte, 2022).

El subproducto de la quema de leña de ciprés es el residuo inorgánico que queda después de quemar la leña de árboles de ciprés. Esta ceniza, al igual que la de otras maderas, está compuesta principalmente por minerales como calcio, potasio, magnesio y trazas de otros elementos. Dado que el ciprés es una madera blanda, la cantidad de ceniza que genera al quemarse puede ser mayor en volumen comparado con maderas duras, pero su densidad de minerales puede ser algo inferior (Altamirano & Utani, 2023).

La ceniza de leña de ciprés puede tener varios usos prácticos, como:

- Mejora del suelo: Al igual que otras cenizas de madera, la ceniza de ciprés es alcalina y puede utilizarse como enmienda para neutralizar suelos ácidos y aportar minerales como potasio, fósforo y calcio, nutrientes esenciales para el crecimiento de las plantas.
- Control de plagas: En jardines o huertos, se puede esparcir ceniza de ciprés para repeler insectos y babosas debido a sus propiedades abrasivas y alcalinas.

## Figura 1

*Leña de ciprés*



### 2.2.3 Suelo

El suelo natural se considera el material más comúnmente utilizado en el ámbito de la construcción, dado que es empleado en una variedad de obras, tales como viviendas y caminos. En este contexto, el ingeniero debe evaluar y seleccionar el tipo de suelo que mejor se ajuste a las necesidades específicas de la estructura que se va a construir. Dicho material tiene su origen en la descomposición de rocas y en los desechos provenientes de diversas obras. Los suelos son materiales que presentan características naturales anisotrópicas y no homogéneas. Esto implica que sus propiedades varían en diferentes direcciones, y su uniformidad no es constante. A pesar de esta variabilidad, ciertos tipos de suelos pueden poseer propiedades que resultan idóneas para su uso en estudios geotécnicos y otras aplicaciones relacionadas con la ingeniería civil (Gutiérrez, 2021).

El suelo está compuesto por una variedad de capas, cada una con sus propias características, formando un entorno natural que incluye minerales, agua, materia orgánica y aire. Estos componentes desempeñan roles fundamentales en el ciclo de vida de los



ecosistemas y son esenciales para muchas funciones vitales que influyen en nuestra vida diaria. En el ámbito de la construcción, el suelo adquiere una importancia crucial debido a sus clasificaciones y propiedades específicas, las cuales son determinantes el desarrollo y edificación de infraestructuras, como las vías. Estas propiedades deben ser cuidadosamente analizadas para garantizar que el suelo cumpla con los requisitos de diseño, cálculo y estructura necesarios para soportar un pavimento de manera efectiva. Además, la exploración y el análisis del suelo son factores clave en este proceso, ya que permiten identificar las características geotécnicas esenciales para garantizar la solidez y resistencia de las infraestructuras de transporte (Bances, 2023).

El suelo, también conocido como tierra, se puede definir como un depósito suelto compuesto por una variedad de partículas sólidas, líquidos y gases. Aunque no existe una medida exacta que delimite el tamaño máximo de las partículas que lo componen, este factor tiene una influencia significativa en las funciones que desempeñan dentro del sistema del suelo. Los suelos pueden formarse a partir de mezclas homogéneas de minerales específicos o bien de combinaciones heterogéneas de diversos materiales, dependiendo de su origen (Camaclanqui & Rivera, 2021).

Este material esencial está compuesto por una amplia variedad de elementos que incluyen grava, arena, arcillas depositadas por glaciares, limos y arcillas de origen fluvial, arenas costeras y aluviales, arcillas marinas blandas y rocas que han sufrido meteorización en zonas tropicales. Además, también pueden contener residuos urbanos, como escorias, latas o cenizas provenientes de vertederos. Esta diversidad en su composición confiere al suelo características muy variadas según su localización y los procesos a los que ha estado expuesto (Brandan, 2020).

Se denomina «suelo» o «tierra» a la zona biológicamente activa que se desarrolla a partir de la desintegración y modificación, tanto física como química, de las rocas, junto



con los restos orgánicos formados por los seres vivos. La palabra «suelo» o «tierra» se refiere a la capa superficial de la corteza terrestre en la superficie de la tierra. Diferentes procesos naturales contribuyen a la formación de un tipo de suelo particular, tales como la sedimentación en cuerpos de agua, la acción de los vientos, la meteorización y la acumulación de materia orgánica.

De manera simplificada, el proceso de formación del suelo comienza con la colonización de organismos vivos como los líquenes, musgos y microorganismos sobre un sustrato inorgánico. Estos organismos, a través de sus procesos metabólicos, aceleran la meteorización de los minerales, la cual inicialmente se desencadena por procesos inorgánicos. Los restos de plantas y animales, al descomponerse, contribuyen a enriquecer este sustrato con nutrientes, que se mezclan con agua y aire atrapado entre las partículas del suelo. Las rocas, por su parte, sufren alteraciones tanto físicas como químicas debido a la intervención del agua y otros fenómenos geológicos, mientras que la acción biológica de estos organismos acelera aún más la evolución del suelo (Bautista, 2022).

Este proceso da lugar a una estructura en capas que se conoce como perfil del suelo, donde cada nivel presenta una composición química y biológica distinta. Las características locales, tales como el tipo de roca (litología), el relieve, el clima y la biota (la vida vegetal y animal), interactúan entre sí y determinan la formación de diferentes tipos de suelos en una región.

La meteorización química y la alteración mecánica de las rocas generan lo que se conoce como manto de alteración o aluvión. Cuando este material se desplaza de su ubicación original a través de procesos de transporte en las laderas, se denomina coluvión. Es sobre estos materiales coluviales donde se forma el suelo, resultado de la interacción física, química y biológica. Este proceso provoca la diferenciación vertical del suelo en capas horizontales o estratos, donde los factores biológicos, como la descomposición de

la materia orgánica y la actividad de microorganismos y fauna, desempeñan un papel crucial (Pocoy, 2024).

El estudio del suelo se engloba en un conjunto de disciplinas conocidas como las Ciencias del Suelo, siendo la edafología una de las más destacadas. Esta ciencia se encarga de analizar diversas características del suelo, desde su composición mineralógica hasta sus propiedades físicas, químicas y biológicas.

Es importante señalar que el suelo se considera un recurso no renovable debido a que el proceso por el que se forma es extremadamente lento. Se necesitan miles de años para producir una capa de suelo rica e ideal para el crecimiento de las plantas y la conservación de los ecosistemas. A pesar de que todas las islas que componen el archipiélago canario tienen un origen volcánico, los materiales que componen cada isla son diferentes entre sí en cuanto a su composición y a sus cualidades físicas y químicas. Esto repercute directamente en el tipo de suelo que se desarrolla en cada una de las islas. Factores como la edad geológica del sustrato, las condiciones climáticas y la vegetación predominante son determinantes para la formación de suelos en estas islas. En áreas áridas o semiáridas, como las islas orientales, los suelos tienden a ser poco profundos y apenas desarrollados, mientras que en zonas más húmedas, el proceso de transformación del material volcánico ha sido más rápido y completo, dando lugar a suelos más profundos y fértiles (Mendoza, 2021).

### **2.2.3.1 Propiedades**

El suelo presenta una serie de propiedades físicas, químicas y mecánicas que determinan su comportamiento, el cual varía significativamente entre los distintos tipos de suelo. Es fundamental comprender estas propiedades para poder diferenciarlos y evaluar su idoneidad en diversas aplicaciones. Algunas de las propiedades más relevantes son las siguientes:

- ✚ Densidad: La densidad del suelo se clasifica en tres categorías:
  - Densidad absoluta: Se refiere a la masa total del suelo excluyendo los vacíos que pueda contener, dividida por su volumen total. Es una medida que solo considera el material sólido del suelo.
  - Densidad aparente: A diferencia de la densidad absoluta, esta incluye el volumen de los vacíos presentes en el suelo, lo que proporciona una visión más realista de la densidad en condiciones naturales.
  - Densidad relativa: Es la relación entre la densidad aparente y un valor de referencia, que suele ser la densidad del agua a 4°C. Este parámetro permite una comparación directa entre el suelo y el agua.
  
- ✚ Gravedad específica: La gravedad específica se define como la relación entre el peso de una masa de suelo y su volumen. En la mayoría de los minerales presentes en suelos, la gravedad específica suele oscilar entre 2.6 y 2.9 kg/cm<sup>3</sup>, lo que proporciona un rango útil para identificar su composición y características.
  
- ✚ Plasticidad: La plasticidad es la capacidad de un suelo para deformarse bajo la aplicación de una fuerza externa sin que su volumen cambie y sin que se formen grietas en su estructura. Esta propiedad es particularmente notable en suelos arcillosos, que exhiben un comportamiento plástico cuando están húmedos.
  
- ✚ Porosidad: Se refiere a la proporción de vacíos en el suelo, expresada como el cociente entre el volumen de los vacíos y el volumen total del suelo. En suelos granulares, como las arenas, la porosidad oscila entre el 26% y el 48%. En cambio, en suelos finos, como las arcillas y los limos, este valor puede estar entre el 35% y el 83%, lo que refleja una mayor capacidad para retener agua.



- ✚ Permeabilidad: Esta propiedad mide la capacidad del suelo para permitir que los líquidos, generalmente agua, se infiltren a través de sus poros. La permeabilidad es un factor clave en la ingeniería civil, especialmente en el diseño de presas de tierra, ya que influye en la velocidad con la que el agua puede infiltrarse en el suelo, lo cual se mide por unidad de tiempo.
  
- ✚ Color: El color del suelo proporciona información sobre su composición química y el contenido de ciertas sustancias. Por ejemplo, los suelos de color oscuro suelen ser ricos en materia orgánica, mientras que los suelos rojos indican una alta concentración de hierro. Los suelos de tonalidades amarillas, por su parte, suelen contener arcillas con bajo contenido de materia orgánica.
  
- ✚ Textura: La textura del suelo se refiere a la combinación y proporción de las partículas minerales que lo componen. Los principales tipos de partículas son arenas, limos y arcillas, y la proporción de cada una de ellas determina la clasificación del suelo y sus propiedades mecánicas, como la estabilidad y capacidad de soporte (Mendoza, 2021).

### 2.2.3.2 Tipos de suelo

De acuerdo con la clasificación basada en el origen de los suelos, estos se dividen en dos grandes categorías: orgánicos e inorgánicos. Los suelos inorgánicos se forman a partir de la descomposición tanto física como química de las rocas. Si estos suelos permanecen en el lugar donde se originaron, se denominan suelos residuales. Sin embargo, si son desplazados por factores externos como el viento, el agua o la gravedad, se les llama suelos transportados. A continuación, se describen los diferentes tipos de suelos de acuerdo con sus características:

- ✚ Gravas: Este tipo de suelo está compuesto por partículas cuyo tamaño oscila entre los 2 mm y los 75 mm. Se define a las gravas como fragmentos sueltos del suelo que superan los 2 mm de diámetro. Estas partículas suelen encontrarse en los márgenes de los ríos y se conocen como canto rodado. Debido a la constante acción erosiva y el transporte por las corrientes de agua, las gravas pierden sus aristas y adquieren una forma redondeada. Sus partículas pueden variar en tamaño, desde 2 mm hasta 7.62 cm.
- ✚ Arenas: Las arenas consisten en partículas cuyo tamaño varía entre 0.075 mm y 2 mm. Este tipo de suelo, debido a su granulometría, se utiliza en diversas aplicaciones de la construcción, principalmente en la fabricación de morteros y concretos.
- ✚ Limos: Los limos son partículas extremadamente finas que miden menos de 0.075 mm de diámetro. Estos suelos tienden a retener agua y, en ocasiones, presentan problemas de compactación, lo que puede afectar la estabilidad estructural de las obras que se apoyan sobre ellos.
- ✚ Arcillas: Las arcillas están compuestas por pequeños cristales con una estructura atómica laminar, lo que les otorga propiedades coloidales. Cuando se mezclan con agua, adquieren una consistencia plástica que permite moldearlas fácilmente. Las partículas de arcilla son extremadamente pequeñas, con diámetros inferiores a 0.005 mm, lo que les otorga una gran capacidad de retención de agua y una plasticidad que las hace ideales para determinadas aplicaciones geotécnicas (Nuñez & Quispe, 2023).

#### 2.2.4 Subrasante

Los suelos conocidos como subrasantes se encuentran situados directamente debajo de la capa de pavimento en una estructura vial. Su principal función es proporcionar la capacidad de carga necesaria para soportar tanto el peso de los materiales que componen el pavimento como las cargas dinámicas que se aplican sobre él, como el tráfico



vehicular. Cuando una subrasante no posee la capacidad de carga adecuada, es esencial intervenir para mejorar sus propiedades, ya sea mediante su reemplazo o mediante técnicas de estabilización que incrementen su capacidad de soporte. Si no se realiza esta mejora, la insuficiencia de la subrasante podría provocar fallas estructurales en la carretera, comprometiendo su durabilidad y funcionalidad (Almonacid, 2019).

La subrasante es la capa más baja de una estructura vial y desempeña un papel fundamental en la estabilidad y durabilidad de las carreteras, caminos y otras infraestructuras de transporte. Está constituida por el terreno natural o por materiales previamente preparados y compactados que se encuentran justo por debajo de la sub-base o base granular. En términos de ingeniería civil, la subrasante actúa como el soporte estructural para las capas superiores del sistema de pavimentación, con base, sub-base y capa superior, ya que distribuye y transmite las cargas impuestas por el tránsito vehicular hacia el terreno subyacente de manera uniforme.

La calidad y capacidad de soporte de la subrasante son factores clave que determinan la resistencia y la vida útil de la carretera. Para evaluar su capacidad de carga, se emplean indicadores como (CBR) o el módulo de reacción del suelo. Estos parámetros permiten cuantificar la resistencia de la subrasante frente a las cargas, lo que facilita la planificación de las capas superiores y del pavimento, optimizando el espesor y los materiales necesarios para resistir el tránsito y las condiciones ambientales (López, 2021).

La subrasante puede estar compuesta por diferentes tipos de suelo, desde suelos arcillosos hasta arenosos o gravosos, y la variabilidad en las características del terreno influye en su capacidad de soporte. Cuando el suelo natural presenta deficiencias en cuanto a resistencia o estabilidad, es común que se recurra a métodos de estabilización para mejorar su desempeño. Estos métodos incluyen la inserción de materiales estabilizantes como cal, cemento, cenizas volantes o incluso polímeros, que permiten

fortalecer la resistencia portante del suelo y reducir problemas como la expansión o la susceptibilidad al agua (Fernandez & Villanueva, 2024).

La subrasante también juega un papel crucial en la drenabilidad del sistema vial, ya que debe permitir un adecuado desalojo del agua para evitar la acumulación de humedad que puede debilitar tanto la subrasante como las capas superiores, lo que podría generar deformaciones, grietas y fallas estructurales prematuras. Un buen diseño y preparación de la subrasante son, por tanto, esenciales para garantizar el desempeño a largo plazo de una infraestructura vial.

#### **2.2.5 Estabilización de la subrasante**

Es una técnica cuyo objetivo es mejorar las cualidades de los suelos que constituyen la base de la construcción de una carretera. Esto se hace con el fin de reforzar la capacidad portante y la resiliencia de los suelos. Este proceso se realiza mediante la incorporación de materiales estabilizantes, como aditivos químicos (cal, cemento, cenizas volantes) o materiales reciclados (fibras, aceites usados), que modifican la composición y estructura del suelo, reduciendo su susceptibilidad a la deformación, mejorando su resistencia a la humedad y su durabilidad a largo plazo (Chumpitaz & Pérez, 2021).

El objetivo principal de la estabilización es garantizar que la subrasante tenga las características necesarias para soportar las cargas del tráfico y las condiciones climáticas adversas, prolongando la vida útil de la vía y optimizando el espesor de las capas superiores (base y sub-base). Esta técnica es esencial en la construcción de carreteras, ya que permite utilizar suelos locales de baja calidad que, sin la estabilización, no cumplirían con los requisitos estructurales (Escobar, 2022).

### **Estabilización Física**

La estabilización física sirve para mejorar el comportamiento del terreno mediante la modificación de sus características físicas. Entre las técnicas más comunes para este tipo de estabilización se incluyen la mezcla de diferentes tipos de suelos, la vibroflotación, el uso de geotextiles y la preconsolidación. Este enfoque tiene como objetivo optimizar la capacidad del suelo de soportar cargas y reducir su susceptibilidad a asentamientos o deformaciones.

Cuando se introduce un material adicional proveniente de otro sitio para mejorar las propiedades del suelo, se habla específicamente de estabilización físico-mecánica. Esta técnica es muy útil cuando se necesita modificar las propiedades mecánicas del suelo sin alterar su composición química (Vera, 2022).

### **Estabilización Mecánica**

**Estabilización por Compactación** El método de estabilización por compactación se emplea para mejorar la resistencia y estabilidad del suelo sin necesidad de modificar su estructura o composición química. Este proceso consiste en aplicar una presión controlada sobre el suelo, redistribuyendo las fuerzas que actúan sobre él, lo que incrementa su densidad y reduce la posibilidad de asentamientos diferenciales. La compactación puede llevarse a cabo in situ, utilizando maquinaria pesada que aplica presión, impactos, vibración o amasado, transfiriendo fuerzas de manera eficiente para lograr una mayor estabilidad. Este es uno de los métodos más comunes en la construcción, debido a su facilidad de ejecución y su efectividad en optimizar las características del suelo sin necesidad de aditivos externos (Banda & Paz, 2021).

**Estabilización por Cambio de Granulometría** Este tipo de estabilización mecánica se basa en optimizar las propiedades del suelo, como su granulometría y plasticidad, mediante la mezcla con materiales que tienen características complementarias. El objetivo

es lograr una distribución granulométrica más adecuada que permita una mejor compactación y estabilidad del suelo. Esta técnica se puede realizar tanto en el lugar de la obra (in situ) como en plantas de tratamiento de suelos, lo que la convierte en una opción versátil y altamente efectiva para suelos que requieren una mejora considerable de su capacidad de soporte.

### **Estabilización Química**

**Estabilización con Cemento** La estabilización con cemento es una técnica que busca transformar suelos sueltos o débiles en materiales más firmes y duraderos. Este proceso implica la adición de cemento al suelo, seguido de una compactación adecuada y un periodo de curado para asegurar la cohesión entre las partículas del suelo y el cemento. Se requiere determinar el contenido óptimo de humedad a través de pruebas preliminares para asegurar que el suelo alcance su máxima resistencia una vez compactado. Los suelos granulares que se clasifican como A1, A2 y A3 según el sistema de clasificación AASHTO son los más convenientes para este tipo de estabilización, ya que presentan una granulometría favorable para la reacción con el cemento (Escobar, 2024).

**Estabilización con Cal** La estabilidad con cal es una técnica que consiste en agregar cal viva o cal anhidra al suelo, lo que provoca una reacción que altera significativamente las propiedades físicas del material. Este método es particularmente efectivo en suelos finos, como las arcillas, ya que reduce su plasticidad, haciéndolos más granulares y quebradizos, lo que facilita su manejo y compactación. Además, el proceso de estabilización con cal aumenta el límite plástico del suelo y la humedad óptima de compactación, lo que simplifica su tratamiento y mejora su estabilidad en proyectos de construcción.

### 2.2.5.1 Análisis de laboratorio en la subrasante

#### Análisis granulométrico

El análisis granulométrico de suelos de grano grueso es esencial para comprender cómo la distribución de los distintos tamaños de partículas incide en las características de compactación y densidad de los materiales. Este procedimiento es crucial para evaluar la forma en que las proporciones relativas de partículas de diferentes tamaños influyen en la estructura interna y en el comportamiento del suelo cuando es sometido a procesos de compactación. La correcta distribución granulométrica puede afectar significativamente la estabilidad y resistencia del suelo, aspectos fundamentales en el diseño de proyectos de ingeniería civil (Rodríguez, 2023).

De acuerdo con el Ministerio de Transportes y Comunicaciones, el objetivo principal del análisis granulométrico es determinar la proporción de los distintos componentes del suelo, que se clasifican en función de sus diferentes tamaños. Esta clasificación proporciona información esencial para determinar el uso más adecuado del suelo en distintos proyectos de infraestructura, como la construcción de carreteras, pavimentos y cimentaciones. Conocer la distribución de tamaños de partículas permite a los ingenieros seleccionar el tipo de suelo más apropiado para lograr la estabilidad y durabilidad de las obras, optimizando así su rendimiento y reduciendo el riesgo de fallos estructurales.

Este tipo de análisis se utiliza frecuentemente en la construcción de carreteras, donde la compactación adecuada es clave para garantizar la capacidad de carga y la resistencia del pavimento. Además, ofrece una base para clasificar los suelos de acuerdo a normativas establecidas, lo que facilita su aplicación correcta en distintos tipos de proyectos. Así, el análisis granulométrico es una herramienta indispensable en la ingeniería geotécnica, ya que permite ajustar los diseños a las condiciones específicas del terreno, optimizando la seguridad y eficiencia de las estructuras (Chavez & Malca, 2021).

### **Contenido de humedad**

El contenido de humedad natural de los suelos es una de las cualidades más importantes, según afirma el Ministerio de Transportes y Comunicaciones. Esto se debe al hecho de que tiene una relación directa con la capacidad portante de la subrasante, especialmente en suelos de textura fina. Las condiciones de humedad y densidad del material en su forma natural tienen un impacto significativo en la capacidad portante del suelo, así como en las características mecánicas del mismo. Por ello, el control de la humedad es muy necesario para garantizar la integridad y longevidad de cualquier infraestructura que se construya sobre dicho suelo.

El Ministerio también destaca que, cuando el contenido de humedad natural es igual o inferior al nivel de humedad óptimo para el suelo en cuestión, el proyectista deberá recomendar una compactación normal del suelo. En este caso, será necesario agregar la cantidad adecuada de agua para alcanzar el nivel de compactación requerido, logrando así las condiciones óptimas para que el suelo soporte las cargas previstas. Sin embargo, en situaciones donde el contenido de humedad natural supera el nivel óptimo, es necesario aplicar medidas adicionales. Estas pueden incluir el incremento de la energía de compactación, la utilización de técnicas que favorezcan la aireación del suelo para reducir su humedad, o, en casos más extremos, la sustitución de los materiales saturados por otros que cumplan con las especificaciones necesarias (Blacio, 2022).

### **Límites de Atterberg**

Los límites de Atterberg son ensayos que permiten evaluar las diferentes fases en las que un suelo puede encontrarse, es decir, los estados líquido, plástico y sólido. Estos límites son cruciales para medir la plasticidad de un suelo, identificando el contenido de humedad necesario para que el material transite entre estos estados. A través de estos ensayos, es posible determinar el (IP), que se obtiene al calcular la discrepancia entre el



límite líquido y el límite plástico. Este índice resulta fundamental para analizar si la plasticidad de un suelo es adecuada o si puede presentar problemas de inestabilidad (Choquecota, 2022).

### - Límite Líquido (LL)

Se dice que una muestra de suelo ha alcanzado el límite líquido cuando alcanza un determinado porcentaje de contenido de humedad en relación con su peso en seco. Este es el punto en el que el material pasa del estado líquido al estado plástico. En esta fase, los suelos plásticos presentan una muy baja resistencia al esfuerzo cortante. De acuerdo con los estudios de Atterberg, dicha resistencia es de aproximadamente 24 g/cm<sup>2</sup>. En este estado, la cohesión del suelo es prácticamente nula, lo que significa que las partículas del suelo tienen una escasa capacidad para mantenerse unidas bajo carga. Así, el límite líquido marca el punto en que el suelo comienza a comportarse de manera plástica y pierde su fluidez (Crespo, 2008, Plasticidad de los suelos).

### - Límite Plástico (LP)

El límite plástico, por su parte, es el porcentaje de contenido de humedad en el que un suelo cohesivo transita de un estado semisólido a uno plástico. En términos más sencillos, este es el punto en el que el suelo pasa de ser frágil y quebradizo a adquirir una consistencia plástica que le permite ser moldeado sin romperse. Al igual que el límite líquido, este valor también se expresa en función del peso seco de la muestra de suelo analizada.

Según el Ministerio de Transportes y Comunicaciones, la obtención del límite líquido (LL) y del límite plástico (LP) posibilita el cálculo del índice de plasticidad (IP), el cual se determina mediante la siguiente fórmula:

$$IP=LL-LP$$

El índice de plasticidad representa el rango de humedad en el que el suelo mantiene una consistencia plástica. Este valor es de gran importancia, ya que un IP alto sugiere un suelo con un elevado contenido de arcilla, lo que le otorga mayor plasticidad y, en consecuencia, la capacidad de deformarse sin romperse bajo ciertas condiciones. Por el contrario, un IP bajo indica que el suelo tiene menos arcilla y, por lo tanto, presenta una plasticidad limitada. Esta información es crucial para determinar la trabajabilidad del suelo, es decir, su capacidad de ser manejado en obra, así como su estabilidad ante variaciones de humedad (Mamani, 2024).

La evaluación de estos límites permite a los ingenieros clasificar correctamente el suelo y prever su comportamiento ante condiciones climáticas y de carga, lo cual es vital para el diseño de proyectos de infraestructura.

### **Proctor modificado**

El ensayo Proctor modificado es una metodología ampliamente reconocida en el ámbito de la ingeniería geotécnica, cuyo principal objetivo es determinar la cantidad de agua que debe añadirse a un suelo para que éste alcance su nivel máximo de compactación cuando se le aplica una cantidad específica de energía. A través de este ensayo, se puede identificar el nivel óptimo de humedad, es decir, el porcentaje de agua que permite obtener la mayor densidad posible del suelo. Este proceso garantiza que la compactación se lleve a cabo de manera eficiente, asegurando que el suelo cumpla con los requisitos técnicos necesarios para soportar las demandas estructurales del proyecto en cuestión. De este modo, el ensayo es clave para garantizar la estabilidad y resistencia del suelo en el contexto de proyectos de infraestructura y construcción.

El ensayo se centra en evaluar la relación entre la cantidad de agua presente en el suelo y la densidad que se logra al compactarlo dentro de un molde. Este proceso es



conocido como densidad relativa y hace referencia a la cantidad de suelo compactado bajo condiciones controladas de humedad, energía y volumen. Durante el ensayo, el suelo se compacta en cinco capas dentro del molde, y cada capa recibe un número específico de golpes utilizando un martillo estandarizado. El objetivo de este procedimiento es garantizar que las densidades obtenidas representen las condiciones ideales de compactación que el suelo puede alcanzar cuando se somete a las condiciones óptimas de humedad y energía.

El ensayo Proctor modificado se diferencia de otros métodos de compactación debido a la mayor cantidad de energía que se aplica, lo que lo hace más adecuado para suelos que se utilizarán en infraestructuras de alta demanda, como carreteras, represas y otras obras de ingeniería civil. Este método resulta esencial para asegurar que el suelo empleado en la construcción logre la densidad máxima posible, contribuyendo a que las estructuras que se construyan sobre él tengan la estabilidad, durabilidad y resistencia necesarias para soportar cargas y resistir el paso del tiempo (Blacio, 2022).

### **CBR**

El CBR o "California Bearing Ratio" (Relación de Soporte de California) es un ensayo empleado para determinar la calidad de un suelo en función de su resistencia, evaluada mediante una prueba de penetración realizada en un molde especial. En algunos países, como México, este ensayo también es conocido como VRS (Valor Relativo de Soporte).

El ensayo CBR fue desarrollado por primera vez en 1925 y empezó a ser incluido en los estándares estadounidenses a partir de 1964, tanto en su versión de laboratorio (regulada por la norma ASTM D 1883) como en su versión de campo (norma ASTM D 4429). A pesar de tener algunas limitaciones, sigue siendo uno de los métodos más empleados debido a su bajo costo, especialmente cuando se le compara con otros ensayos



más complejos, como las pruebas triaxiales. Además, su uso está respaldado por diversas correlaciones y métodos semi-empíricos que se emplean para el diseño de pavimentos.

Según lo especificado en la norma ASTM D 1883-07, el ensayo CBR (Índice de Capacidad de Soporte California) consiste en someter a la superficie del suelo a una carga mediante un pistón metálico con un área de 0.5 pulgadas cuadradas. Este pistón penetra en el suelo compactado que ha sido colocado dentro de un molde, avanzando a una velocidad constante. El valor del CBR se obtiene al comparar la carga unitaria requerida para que el pistón penetre el suelo 0.1 pulgadas (aproximadamente 0.25 cm) y 0.2 pulgadas (equivalente a 0.5 cm), con la carga unitaria necesaria para lograr la misma penetración en un material de referencia, generalmente una piedra triturada bien graduada. El resultado de esta comparación se expresa como un porcentaje, lo que permite evaluar la capacidad del suelo para soportar cargas en relación con este material estándar (Vera, 2022).

Por cada muestra de suelo, se calculan dos valores de CBR: uno para la penetración de 0.1 pulgadas y otro para la de 0.2 pulgadas. El valor que se reporta habitualmente es el obtenido para la penetración de 0.1 pulgadas, siempre y cuando este sea menor que el correspondiente a 0.2 pulgadas. Si el valor de CBR para la penetración de 0.1 pulgadas es mayor que el de 0.2 pulgadas, el ensayo debe repetirse. La norma no especifica si es necesario preparar una nueva muestra de suelo o si es posible reutilizar la muestra existente, volteándola y repitiendo el ensayo por el otro extremo.

Los valores de CBR se expresan en un rango porcentual, donde un valor cercano al 0% indica suelos de baja calidad, mientras que valores cercanos al 100% representan suelos de alta calidad. En algunos casos, se pueden obtener valores superiores al 100%, lo cual suele ocurrir en suelos que han sido ensayados en condiciones secas o en la misma forma en que fueron compactados.

En la versión de laboratorio del ensayo CBR, las muestras de suelo se preparan utilizando el equipo del ensayo Proctor, compactándose dentro de moldes que tienen un diámetro de 6 pulgadas. Para lograr la compactación, se emplea un martillo de gran tamaño, que permite comprimir el suelo de manera controlada. Durante la prueba, un pistón es utilizado para penetrar la muestra de suelo a una velocidad constante de 1.27 mm por minuto, lo que asegura una evaluación precisa y uniforme de la resistencia del suelo frente a la penetración.

Este procedimiento ha llegado a consolidarse como una herramienta indispensable en la evaluación de la capacidad de soporte de suelos en proyectos de pavimentación. Su aplicación se debe a su alta eficacia, simplicidad en la ejecución y bajo costo, lo que lo convierte en un método accesible y ampliamente utilizado en el campo de la ingeniería civil.

### 2.3 Marco conceptual

- a. CBR: El CBR (California Bearing Ratio) es un índice utilizado para evaluar la capacidad de soporte de un suelo o de una subrasante. Fue desarrollado inicialmente por el Departamento de Transportes de California para medir la resistencia del suelo y su capacidad de soportar las cargas impuestas por el tráfico vehicular. Se determina mediante una prueba de laboratorio en la que se somete una muestra de suelo a la penetración de un pistón estandarizado, comparando su resistencia con la de un material de referencia, generalmente piedra triturada.
  
- b. Cenizas: Las cenizas son el residuo mineral incombustible resultante de la combustión de materiales orgánicos, como la madera, carbón o plantas. En el ámbito de la ingeniería civil, las cenizas, tanto volantes como de origen vegetal, se utilizan como material estabilizador en la mejora de suelos debido a su capacidad para modificar propiedades mecánicas como la resistencia y la compacidad del



suelo. En particular, las cenizas contienen minerales como calcio y sílice, que pueden interactuar químicamente con el suelo.

- c. Malezas:** Las malezas son plantas indeseadas que crecen de manera espontánea en cultivos, jardines o áreas no cultivadas, interfiriendo con la producción agrícola o el control paisajístico. Desde el punto de vista ecológico, las malezas son resistentes y de rápido crecimiento, lo que las convierte en un recurso viable para su combustión y la obtención de cenizas que pueden ser utilizadas como aditivos en la estabilización de suelos.
  
- d. Leña:** La leña es madera que se emplea principalmente como combustible, ya sea en su forma natural o después de ser procesada. Comúnmente utilizada para calefacción o cocción, su quema produce cenizas que contienen compuestos como calcio, potasio y sílice, que pueden aprovecharse en aplicaciones como la mejora de suelos. La leña de ciprés es especialmente apreciada por su combustión eficiente y la cantidad de cenizas que genera.
  
- e. Subrasante:** Es la capa de suelo que se encuentra directamente bajo el pavimento o la capa base en una carretera, y actúa como soporte estructural de la misma. Sus propiedades mecánicas, como la resistencia y la capacidad de soporte, son fundamentales para la estabilidad y durabilidad de la infraestructura vial. El acondicionamiento o estabilización de la subrasante, mediante la adición de materiales como cenizas, puede mejorar significativamente su rendimiento.



## CAPÍTULO III

### METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

La Metodología de Investigación es el conjunto de procedimientos, técnicas y estrategias que se utilizan de manera sistemática para abordar un problema de investigación, con el fin de obtener respuestas válidas y confiables a las preguntas planteadas. Incluye la planificación, la elección de los métodos de recolección y análisis de datos, así como la justificación de cada decisión tomada a lo largo del proceso. En otras palabras, la metodología de investigación no solo describe los métodos específicos (como encuestas, experimentos o análisis estadísticos), sino que también abarca el marco teórico y filosófico que sustenta la investigación, guiando el diseño del estudio y asegurando que el proceso de obtención de conocimiento sea riguroso, coherente y replicable (Hernández et al., 2018).

#### 3.1 Diseño de la investigación

El diseño de investigación experimental es un tipo de diseño de investigación en el que el investigador manipula intencionadamente una o más variables independientes para luego determinar el efecto que estas manipulaciones tienen sobre una o más variables dependientes mientras las condiciones del experimento están bajo control. Para garantizar que los resultados obtenidos no se vean afectados por factores externos o incontrolados,

el objetivo principal de este tipo de diseño es crear vínculos de causa-efecto entre las variables con el fin de garantizar la exactitud de los resultados obtenidos. Para ello, se requiere la creación de un entorno controlado donde se apliquen los tratamientos o intervenciones, y se comparen los resultados con un grupo de control o a través de diferentes condiciones experimentales. En el diseño experimental, es esencial la aleatorización, que garantiza que los sujetos o unidades experimentales se asignen a los distintos grupos de manera aleatoria, reduciendo el sesgo. También es crucial la replicabilidad, lo que implica que los experimentos puedan repetirse bajo las mismas condiciones para verificar la consistencia de los resultados (Hadi et al., 2023).

Investigación experimental porque implica la manipulación directa de la variable independiente, que en este caso son las cantidades de ceniza de malezas y leña de ciprés. Además, se controla las condiciones en las que se lleva a cabo el experimento, como la compactación y el contenido de humedad del suelo, para asegurar que los cambios en las propiedades de la subrasante, tales como la densidad seca, el índice de plasticidad y la capacidad de soporte CBR, son el resultado exclusivo de la intervención experimental.

### **3.2 Métodos de la investigación**

El método de investigación científica es un método que se utiliza para recopilar información sobre fenómenos naturales o sociales mediante la observación, la creación de una hipótesis, la experimentación, el análisis de datos y la conclusión. Este método es un enfoque metódico y estructurado. Su objetivo principal es generar conocimientos válidos, verificables y reproducibles, basados en evidencias objetivas (Hadi et al., 2023).

Método científico porque se basa en un proceso sistemático para generar conocimiento. Inicia con la observación de un problema (mejora de las propiedades de la subrasante), seguido de la formulación de preguntas y la propuesta de hipótesis sobre cómo la inclusión de cenizas afectará las propiedades del suelo.

### 3.3 Nivel y tipo de investigación

#### 3.3.1 *Tipo de investigación*

La investigación aplicada es un tipo de estudio que se centra en la resolución de problemas prácticos o la mejora de condiciones específicas en un entorno real. El objetivo principal de la investigación aplicada es mejorar la situación. La investigación aplicada, a diferencia de la investigación básica, cuyo objetivo es producir información teórica sin una aplicación inmediata en mente, se centra en aprovechar los conocimientos existentes para construir soluciones reales que beneficien a la sociedad, a una industria o a un tema específico. La investigación básica pretende generar conocimientos teóricos. Este tipo de investigación se caracteriza por su orientación hacia la acción y la implementación, ya que trata de resolver problemas identificables en el mundo real mediante la aplicación de teorías, modelos o metodologías ya existentes. En muchos casos, se vincula con el desarrollo tecnológico, la mejora de procesos o la innovación en sectores productivos (Pimienta et al., 2018).

Investigación aplicada porque busca resolver un problema práctico y concreto en el ámbito de la ingeniería civil, específicamente la mejora de las propiedades de la subrasante de una carretera.

#### 3.3.2 *Nivel de investigación*

El Nivel de Investigación Explicativo es el tipo de investigación que busca identificar y entender las causas que generan un determinado fenómeno, explicando cómo y por qué ocurren los hechos observados. A diferencia de los niveles descriptivo o correlacional, que se limitan a describir o relacionar variables, la investigación explicativa profundiza en las relaciones causales y en los mecanismos subyacentes que conectan las variables (Reyes, 2022).

Nivel de investigación explicativo porque el objetivo principal es identificar y comprender las causas y efectos que genera la inclusión progresiva de cenizas en las propiedades del suelo de la subrasante.

### **3.4 Población y muestra de la investigación**

#### **3.4.1 Población**

En el contexto de la metodología de investigación, la población se refiere al conjunto total de elementos, individuos o unidades que comparten características comunes y sobre los cuales se pretende realizar un estudio o investigación. La población es el grupo completo del cual el investigador desea obtener información o al que desea generalizar los resultados de su estudio. Dependiendo de la naturaleza de la investigación, la población puede estar compuesta por personas, objetos, eventos, instituciones o fenómenos. La definición precisa de la población es crucial, ya que establece los límites del estudio y determina a quiénes o qué afectarán los resultados de la investigación (Iglesias, 2021).

La población se refiere a la totalidad de los suelos que componen la subrasante de la carretera Palca – Vilavila. Esto incluye todas las secciones de la carretera en las que se busca evaluar el impacto de las cenizas sobre las propiedades del suelo.

#### **3.4.2 Muestra**

En la metodología de investigación, la muestra es un subconjunto representativo de la población que se selecciona para ser estudiado con el fin de hacer inferencias o generalizaciones sobre toda la población. Debido a que en muchos casos no es factible investigar a cada elemento de la población por razones de tiempo, costo o accesibilidad, se recurre al uso de una muestra que proporcione resultados confiables y precisos. Para que una muestra sea válida, debe cumplir con ciertos criterios, como ser suficientemente representativa, es decir, reflejar las características esenciales de la población. Esto se logra mediante procedimientos de muestreo que pueden ser probabilísticos (cuando todos los

elementos de la población tienen una probabilidad conocida de ser seleccionados) o no probabilísticos (cuando la selección no sigue un proceso de aleatorización estricta) (Castillo et al., 2014).

La muestra, por su parte, es un subconjunto representativo de dicha subrasante. Esta muestra en varias secciones o puntos específicos de la carretera, en los cuales se recolecto muestras de suelo para ser sometidas a ensayos de laboratorio.

### **3.5 Técnicas e instrumentos**

#### **3.5.1 Técnicas**

Los métodos de investigación son los procesos o instrumentos concretos que se utilizan en el campo de la metodología de la investigación. Estas técnicas se utilizan para recopilar, procesar y evaluar la información necesaria para responder a las preguntas de investigación o comprobar hipótesis. La aplicación de los métodos de investigación en un entorno práctico es posible gracias a las técnicas, que varían en función de la metodología adoptada, el tipo de estudio que se realiza y el propósito de la investigación. Los métodos pueden clasificarse según el tipo de datos que se van a recopilar (cuantitativos o cualitativos) o el método que se utiliza para obtener la información. Hay una gran variedad de métodos que pueden clasificarse (Medina et al., 2023).

- Observación detallada.
- Ensayos en laboratorio.

#### **3.5.2 Instrumentos**

En el contexto de la metodología de investigación, los instrumentos son los medios o herramientas que se utilizan para recolectar datos de manera sistemática y estructurada, con el fin de obtener información relevante para el estudio. Los instrumentos permiten operacionalizar las variables de la investigación, es decir, traducir conceptos teóricos en

elementos medibles y observables. Los instrumentos de recolección de datos pueden ser de distintos tipos, dependiendo de la naturaleza de la investigación (cualitativa o cuantitativa) y de las características de las variables que se desean medir (Medina et al., 2023).

- Ensayos con niveles de confiabilidad.
- Equipos y herramientas de laboratorio.

### **3.6 Validación y confiabilidad del instrumento**

#### **3.6.1 Validación de instrumentos**

En lo que respecta a la técnica de investigación, el proceso de validación de instrumentos es el proceso mediante el cual se verifica que un instrumento de recogida de datos mide con precisión y fiabilidad lo que pretende medir. mediante el proceso de validación, se garantiza que los resultados obtenidos mediante el uso del instrumento son legítimos, lo que significa que representan correctamente la realidad o el fenómeno que se está investigando (Medina et al., 2023).

#### **3.6.2 Confiabilidad de instrumentos**

En el campo de la metodología de la investigación, fiabilidad de los instrumentos se refiere al valor en que un instrumento de medida genera resultados que son coherentes, estables y reproducibles cuando se utiliza en condiciones comparables a las esperadas. Cuando se utiliza en varias ocasiones o en las mismas condiciones, un instrumento se considera fiable si produce resultados coherentes, reduciendo así la probabilidad de que se produzcan errores aleatorios (Medina et al., 2023).

### **3.7 Procedimiento de recolección de datos**

El procesamiento para la ejecución del estudio se realizó mediante una exhaustiva revisión bibliográfica, enfocada en cómo la inclusión de cenizas de malezas y cenizas de leña de ciprés afecta las propiedades del suelo de subrasante. Este análisis permitió



fundamentar el impacto de dichos materiales en la estabilización del suelo y su atribución en parámetros clave como la densidad máxima seca, el contenido de humedad óptimo, el índice de plasticidad y el CBR.

La vía Palca – Vilavila, que abarca 10 kilómetros de longitud, fue seleccionada como área de estudio. Para fines prácticos, se realizaron tres muestreos representativos a lo largo de la carretera. El primer punto de muestreo se ubicó en el kilómetro 0, el segundo en el kilómetro 5 y el tercero en el kilómetro 10. Estos puntos fueron elegidos estratégicamente para obtener una representación adecuada de las variaciones en las propiedades del suelo a lo largo del tramo estudiado. Los análisis realizados en cada punto permitieron evaluar de manera precisa el efecto de las cenizas sobre las propiedades mecánicas del suelo de subrasante en diferentes ubicaciones.

### **Obtención de la ceniza de malezas**

Las malezas utilizadas para la obtención de cenizas incluyeron especies como el nabo silvestre y el ichu, entre otras variedades nativas de la zona. Estas malezas fueron recolectadas en áreas cercanas al lugar de estudio, donde crecen de forma abundante. Una vez recolectadas, las malezas fueron sometidas a un proceso de secado al aire libre para eliminar la humedad, y posteriormente incineradas a temperaturas controladas en un horno para obtener las cenizas. Este proceso garantizó que las cenizas obtenidas tuvieran las propiedades adecuadas para ser utilizadas en la estabilización del suelo de subrasante.

### **Obtención de las cenizas de leña de ciprés**

Para la obtención de las cenizas de leña de ciprés, se utilizó madera proveniente de árboles de ciprés de la región, que es una fuente común de combustible en las zonas rurales. La leña fue quemada en condiciones controladas para evitar la pérdida de componentes importantes durante la combustión. Al igual que con las cenizas de malezas, se empleó un horno para asegurar una combustión uniforme y completa. Una vez finalizado



el proceso de incineración, las cenizas resultantes fueron tamizadas para eliminar impurezas y obtener un material fino y homogéneo, ideal para su incorporación en el suelo de subrasante como agente estabilizador.

Ambos tipos de cenizas, tanto de malezas como de ciprés, fueron almacenados en condiciones adecuadas para evitar la absorción de humedad antes de su uso en los experimentos de laboratorio y pruebas de campo, asegurando que las propiedades de los materiales fueran óptimas para los análisis posteriores.

### 3.7.1 *Ensayos en laboratorio*

a. **Ensayo de límites de consistencia:** Este ensayo tiene como objetivo fundamental cuantificar la proporción de partículas plásticas presentes en el material, especialmente las que pueden atravesar un tamiz con malla número 40. Para llevar a cabo este análisis, se consideran los valores de los límites líquido y plástico del material, siguiendo las normas establecidas por ASTM y MTC, lo que garantiza la precisión y estandarización del proceso.

#### **Procedimiento LP:**

- En primer lugar, se extrae una muestra específica de la mezcla previamente preparada, que será utilizada para determinar el LL.
- Luego, se añade suelo seco a la mezcla con el fin de disminuir su contenido de humedad.
- La mezcla se amasa manualmente sobre una zona de vidrio, y se modelan cilindros de aproximadamente 3 mm de diámetro. Este proceso se continúa hasta que comienzan a formarse fisuras en los cilindros, lo que indica que se ha alcanzado el límite plástico.



- En el momento en que se observan las primeras fisuras, se mide y registra el contenido de humedad de la muestra.
- Con el fin de certificar la fiabilidad de los resultados, el ensayo se repite una o dos veces adicionales. Esto permite obtener un promedio del contenido de humedad, garantizando la consistencia de los datos obtenidos.
- El límite plástico se establece calculando el promedio de los porcentajes de humedad obtenidos en las diferentes pruebas realizadas.
- Si los valores registrados en las distintas pruebas muestran una variación superior a dos puntos porcentuales, se sugiere repetir el procedimiento. Esto es necesario para asegurar la precisión de los resultados y evitar posibles errores en la medición.

$$LP = \frac{W_w}{W_s} \times 100$$

### Procedimiento LL:

- En primer lugar, se prepara una mezcla consistente de suelo y agua en una cápsula de porcelana, asegurándose de que los componentes estén bien integrados.
- Posteriormente, se coloca una porción de esta mezcla en la copa de Casagrande, garantizando que tenga un espesor uniforme de aproximadamente 1 cm.
- Con el uso del ranurador, se realiza una hendidura en el centro de la muestra. A continuación, mediante el mecanismo de manivela, se eleva y deja caer la copa a una velocidad constante de 2 caídas por segundo.
- Este proceso se repite hasta que ambas mitades de la muestra de suelo se unan en el fondo de la ranura a lo largo de 1/2 pulgada (equivalente a 1.27 cm).



- Se registra el número de golpes necesarios para que la ranura en la base se cierre.
- A continuación, se extrae cuidadosamente la porción de suelo que ha cerrado la ranura utilizando una espátula, y se procede a pesarla para determinar su contenido de humedad.
- A continuación, se extrae la tierra restante de la taza Casagrande y se ajusta la combinación que queda en la cápsula de porcelana añadiendo agua o tierra seca, según la situación. El objetivo es mantener el número de golpes entre 15 y 35 cada vez.
- Los datos recogidos se utilizan para construir una curva de fluidez empleando un gráfico semilogarítmico. El número de golpes se representa en el eje logarítmico (eje de abscisas), mientras que los valores del contenido de humedad se representan en el eje lineal (eje de ordenadas). En conjunto, se construye la curva de fluidez.
- Finalmente, en esta curva se encuentra el punto correspondiente a 25 golpes, lo que permite establecer el valor del límite líquido del suelo.

$$LL = \frac{W_w}{W_s} \times 100$$

$$IP = LL - LP$$

- b. Granulométrica:** El análisis granulométrico tiene como finalidad principal determinar cómo se distribuyen los tamaños de las partículas dentro de los agregados de un material. Esta información es crucial, ya que permite comprender las características del material y su comportamiento en diversas aplicaciones, especialmente en proyectos de ingeniería civil y construcción.



### **Procedimiento:**

- En primer lugar, se debe evaluar si el suelo necesita ser secado antes de iniciar el análisis granulométrico. Esto es fundamental para asegurar que los resultados obtenidos sean precisos y confiables.
- Posteriormente, se realiza un lavado de la fracción fina del suelo, con el propósito de eliminar cualquier material soluble o indeseado que pueda interferir en el análisis.
- Una vez lavado, la muestra debe secarse completamente en una estufa, de manera que se elimine toda la humedad residual y se facilite el proceso de tamizado.
- A continuación, se procede al tamizado utilizando un conjunto de tamices organizados de mayor a menor tamaño de abertura. Estos tamices deben estar correctamente asegurados para garantizar que el proceso se lleve a cabo de manera uniforme y eficaz.
- Se pesa cuidadosamente el material retenido en cada tamiz, así como la masa total de la muestra analizada, para obtener datos precisos.
- Con base en las mediciones realizadas, se calculan los porcentajes de masa retenida y de masa pasante para cada tamiz, comparados con la masa total de la muestra.
- Finalmente, se elabora un gráfico de distribución granulométrica, donde se representa el porcentaje acumulado de masa en función del tamaño de las partículas. Este gráfico permite visualizar de manera clara la composición granulométrica del suelo, lo cual es esencial para su caracterización y clasificación en aplicaciones de ingeniería.

**c. Proctor modificado:** El ensayo de Proctor Modificado es una prueba fundamental en el ámbito de la ingeniería geotécnica y de pavimentación, cuyo propósito es determinar



las condiciones ideales para la compactación de un suelo. El objetivo principal de la prueba es obtener la mayor densidad seca posible del suelo utilizando la menor cantidad de agua posible durante el proceso. Cuando se trata de la construcción de cimientos, carreteras y otras construcciones que requieren una base de suelo compacta y fuerte, esta técnica es absolutamente esencial. A continuación, se describen con más detalle los pasos necesarios para llevar a cabo esta prueba.

### **Procedimiento:**

- En primer lugar, se selecciona una muestra de suelo representativa que debe tener un peso entre 2.5 y 3 kilogramos. Es esencial que la muestra esté completamente seca antes de comenzar el procedimiento para garantizar la exactitud de los resultados.
- La muestra se tamiza para eliminar partículas que excedan el tamaño permitido por el tamiz N° 4, lo que asegura una homogeneización adecuada del tamaño de las partículas.
- Luego, se procede a humedecer gradualmente la muestra, añadiendo agua de manera controlada hasta que adquiera una consistencia ligeramente húmeda. Esto es necesario para preparar la muestra para la compactación.
- A continuación, la muestra humedecida se coloca en el molde Proctor, provisto de collares adicionales para evitar que el material se pierda durante el proceso de compactación. Se utiliza un martillo de caída libre que se deja caer desde una altura de 0,45 metros para administrar 56 golpes a cada capa de tierra, lo que da como resultado la compactación de la tierra en cinco capas. Es esencial llevar un registro detallado de toda la información relativa al número total de golpes que se han dado.



- Posteriormente, se extraen dos muestras de 100 gramos cada una, una de la parte superior y otra de la parte inferior del suelo compactado en el molde, las cuales serán pesadas para su análisis posterior.
  - Se registra el peso del molde junto con la placa base antes de iniciar el proceso de compactación, con el fin de tener un registro inicial que servirá de referencia durante el análisis.
  - Finalmente, la muestra compactada y aún húmeda se coloca en una estufa para secarse por completo. A lo largo de este proceso, se documentan cuidadosamente todos los datos obtenidos, asegurando la consistencia y precisión de los resultados.
- d. **CBR:** El ensayo CBR se lleva a cabo con la intención de determinar la capacidad de resistencia del suelo que se está investigando con el fin de expresar los resultados en términos porcentuales. Esta medida de resistencia se compara con la de los materiales de referencia, lo que permite determinar si el suelo es aceptable o no para su uso en la construcción de pavimentos como subrasante, subbase, base, capa de base o cualquier otra capa. A continuación, se describe detalladamente el protocolo estándar que se sigue al realizar este ensayo.

### **Procedimiento:**

- Inicialmente, se recolecta una muestra representativa del material a analizar, que será compactada durante el ensayo. Para cada prueba de CBR, se utiliza un molde que se llena con 5 kg del material. Este proceso tiene como finalidad medir el contenido de humedad y determinar el (MDS) del material.
- La compactación del suelo se realiza mediante un método dinámico dentro del molde, aplicando una cantidad de energía y agua previamente calculadas de

manera técnica, con el objetivo de garantizar que el suelo se compacte de forma adecuada.

- El número de moldes utilizados oscila entre tres y nueve, dependiendo de las características de la muestra. Para producir un conjunto de datos que sea indicativo del comportamiento del material bajo distintos niveles de compactación, se administra un número variado de golpes a cada molde. Estos golpes oscilan entre 12 y 55 golpes por capa.
- Una vez finalizado el proceso de compactación del material contenido en el interior del molde, se extrae el collar del molde y se termina de nivelar la superficie de la probeta que ha sido compactada. Con ello se pretende reducir la cantidad de huecos y comprimir el material sobrante, con el objetivo final de que la superficie sea lo más uniforme posible.
- Se lleva a cabo una evaluación exhaustiva del material compactado en el molde. Durante este proceso, se registran de manera detallada todos los datos resultantes de las mediciones y observaciones, asegurando que la información obtenida sea precisa y permita un análisis confiable del comportamiento del suelo bajo las condiciones del ensayo.

### 3.8 Procesamiento y análisis de datos

En esta fase, el objetivo principal es convertir los datos en información valiosa que sirva como fundamento para tomar decisiones informadas. Este proceso implica la aplicación de diversas técnicas y herramientas especializadas para llevar a cabo un análisis riguroso de los datos, garantizando que los resultados obtenidos sean precisos, confiables y directamente aplicables a la situación o problema en cuestión. De esta manera, la información generada adquiere relevancia y utilidad para orientar de manera efectiva las decisiones estratégicas o técnicas necesarias.

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1 Presentación y análisis de resultados

En este apartado se presentan los resultados del impacto de la introducción de cenizas de malezas y leña de ciprés en porcentajes de 6%, 12% y 20% respecto a las características de la subrasante en la carretera Palca-Vilavila

##### 4.1.1 *Características de los materiales de la subrasante de la carretera Palca-Vilavila*

##### Humedad-%

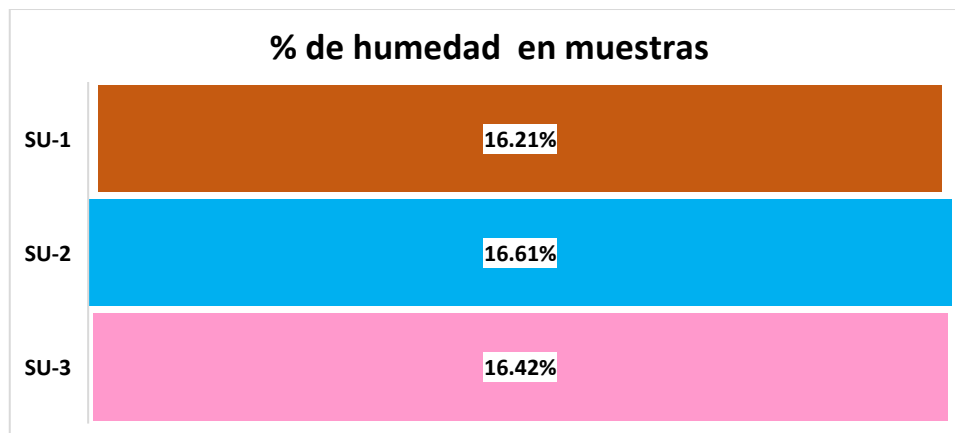
Tabla 2

*Humedad en puntos de control*

% de humedad en las muestras extraídas	
Definición	Humedad
SU-1	16.21%
SU-2	16.61%
SU-3	16.42%

**Figura 2**

*Humedad en puntos de control*



Se observa los porcentajes de humedad en las muestras extraídas de tres puntos de control (SU-1, SU-2 y SU-3). La humedad, entendida como la cantidad de agua en relación con el peso total del material, presenta valores de 16.21% en SU-1, 16.61% en SU-2 y 16.42% en SU-3.

**Gradación de la subrasante%**

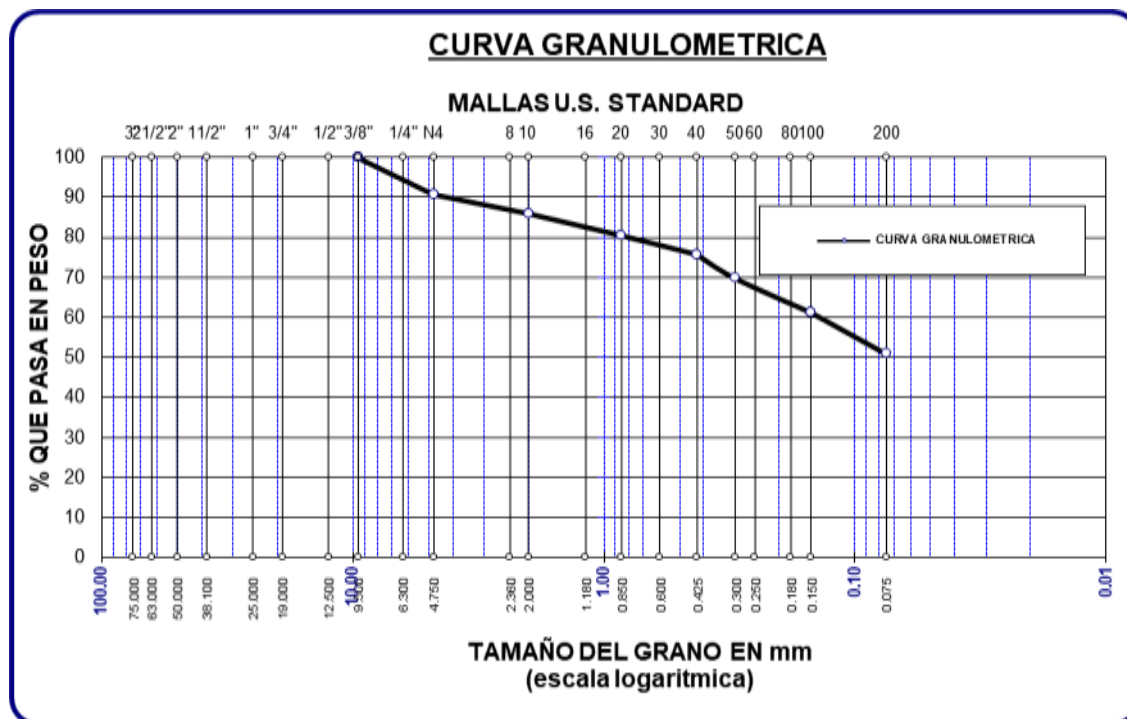
**Tabla 3**

*Gradación en el SU-01*

Tamices	Pesos retenidos	%Retenido parciales	%Retenido acumulados	% que pasa
3/8"	0.00	0.00	0.00	100.00
No4	27.56	9.19	9.19	90.81
No10	14.23	4.74	13.93	86.07
No20	16.54	5.51	19.44	80.56
No40	14.23	4.74	24.19	75.81
No 50	17.84	5.95	30.13	69.87
No100	25.64	8.55	38.68	61.32
No200	31.24	10.41	49.09	50.91
BASE	152.72	50.91	100.00	0.00
TOTAL	300.00	100.00		
% PERDIDA	50.91			

**Figura 3**

*Gradación en el SU-01 - Curva*



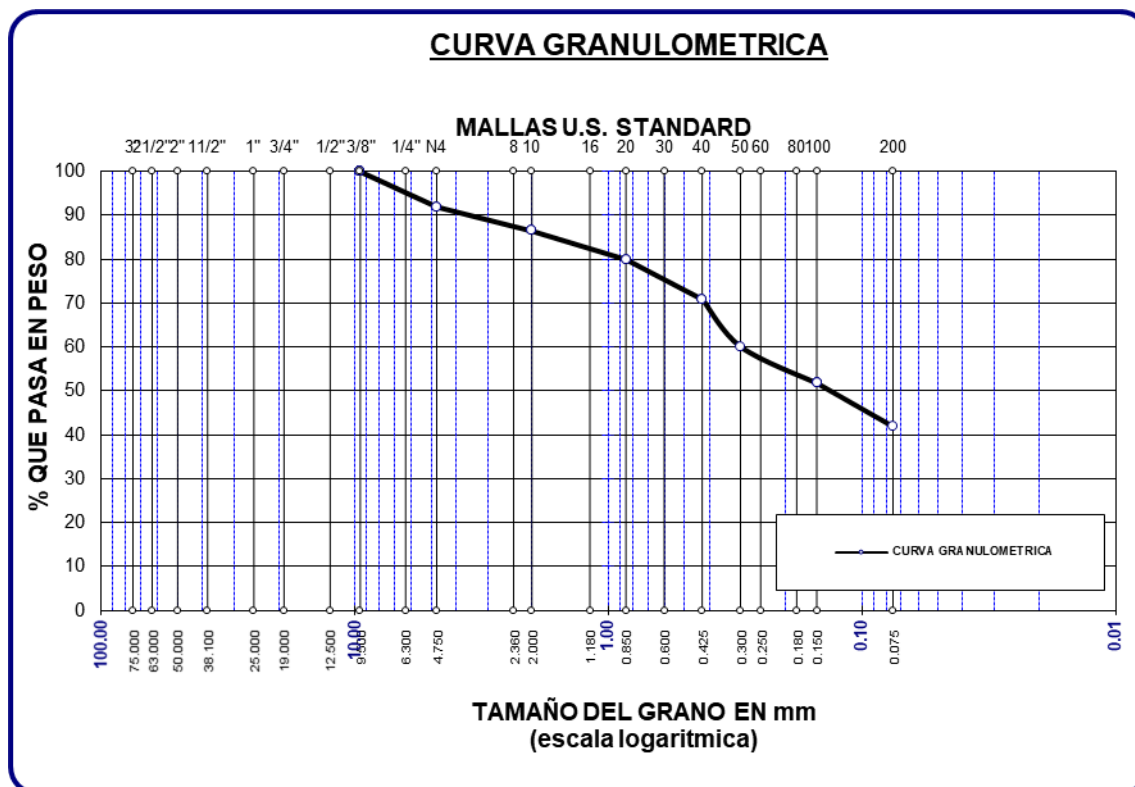
**Tabla 4**

*Gradación en el SU-02*

Tamices	Pesos retenidos	%Retenido parciales	%Retenido acumulados	% que pasa
3/8"	0.00	0.00	0.00	100.00
No4	24.00	8.00	8.00	92.00
No10	16.52	5.51	13.51	86.49
No20	19.54	6.51	20.02	79.98
No40	27.32	9.11	29.13	70.87
No 50	32.44	10.81	39.94	60.06
No100	24.88	8.29	48.23	51.77
No200	29.78	9.93	58.16	41.84
BASE	125.52	41.84	100.00	0.00
TOTAL	300.00	100.00		
% PERDIDA	41.84			

**Figura 4**

*Gradación en el SU-02 - Curva*



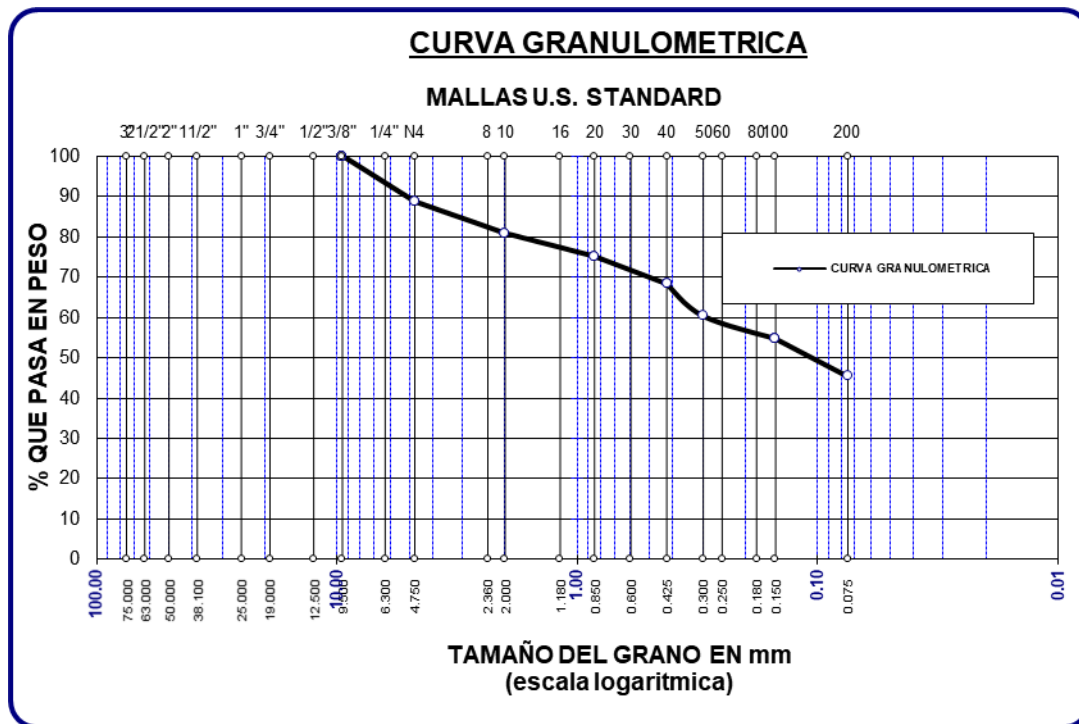
**Tabla 5**

*Gradación en el SU-03*

Tamices	Pesos retenidos	%Retenido parciales	%Retenido acumulados	% que pasa
3/8"	0.00	0.00	0.00	100.00
No4	22.56	11.28	11.28	88.72
No10	15.63	7.82	19.10	80.91
No20	11.40	5.70	24.80	75.21
No40	13.64	6.82	31.62	68.39
No 50	15.88	7.94	39.56	60.45
No100	11.24	5.62	45.18	54.83
No200	18.63	9.32	54.49	45.51
BASE	91.02	45.51	100.00	0.00
TOTAL	200.00	100.00		
% PERDIDA	45.51			

**Figura 5**

Gradación en el SU-03 - Curva



**LL, LP e IP**

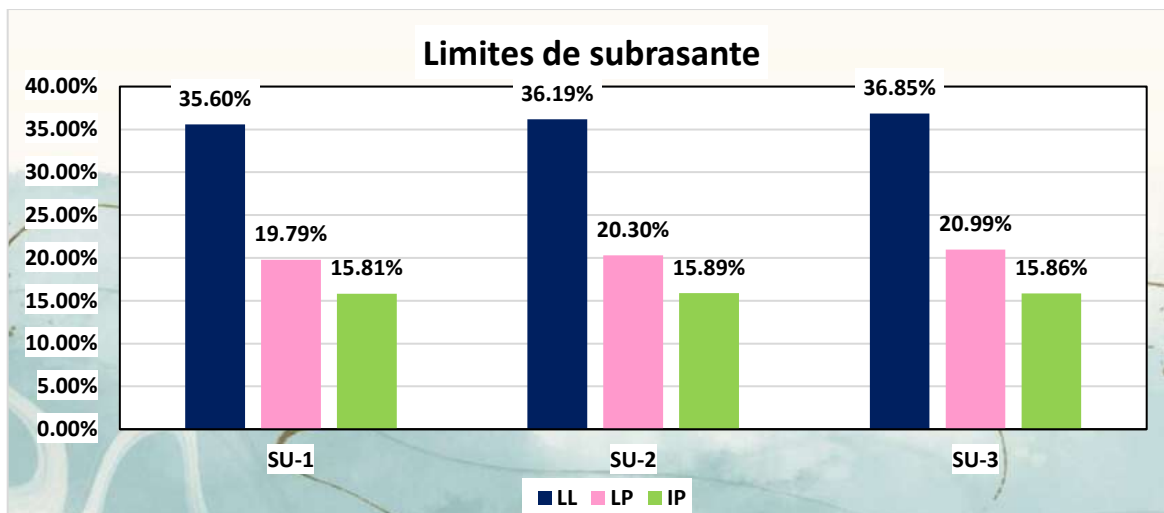
**Tabla 6**

Índice plástico en los diferentes puntos de control de la subrasante natural

IP de las muestras de la subrasante				
Definición	LL	LP	IP	IP promedio
SU-1	35.60%	19.79%	15.81%	
SU-2	36.19%	20.30%	15.89%	15.85%
SU-3	36.85%	20.99%	15.86%	

**Figura 6**

*Índice plástico en los diferentes puntos de control de la subrasante natural*



Se muestra los resultados de los Límites de Atterberg, el (LL), que representa la humedad crítica en la que el suelo pasa de un estado plástico a uno líquido, varía entre 35.60% en SU-1, 36.19% en SU-2 y 36.85% en SU-3. El (LP), se registra con valores de 19.79% en SU-1, 20.30% en SU-2 y 20.99% en SU-3. El (IP), que se obtiene como la diferencia entre el LL y el LP, presenta valores de 15.81% en SU-1, 15.89% en SU-2 y 15.86% en SU-3, con un promedio general de 15.85%.

### MDS y OCH

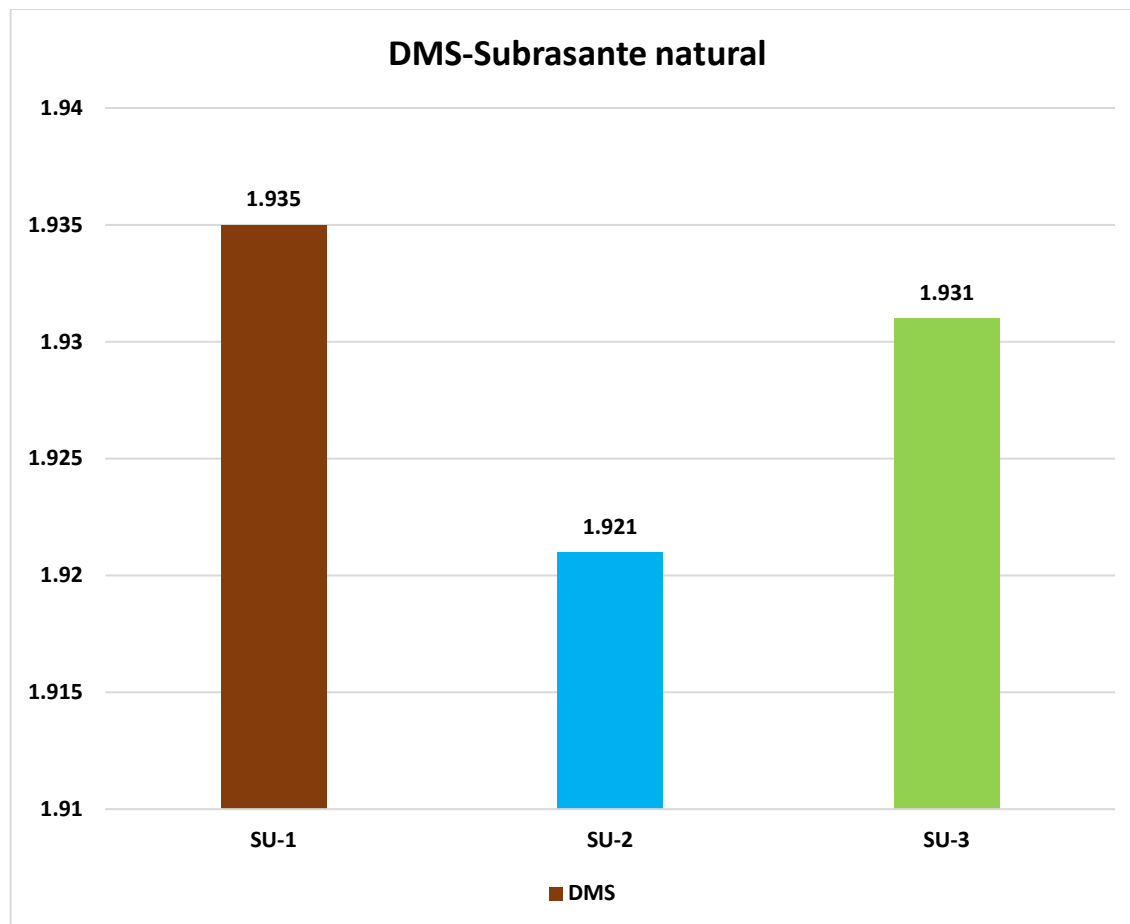
**Tabla 7**

*DMS y CHO en los diferentes puntos de control de la subrasante natural*

Subrasante natural-DMS Y CHO				
Definición	DMS		CHO(%)	
SU-1	1.935		10.71	
SU-2	1.921	1.929	10.73	10.77
SU-3	1.931		10.86	

Figura 7

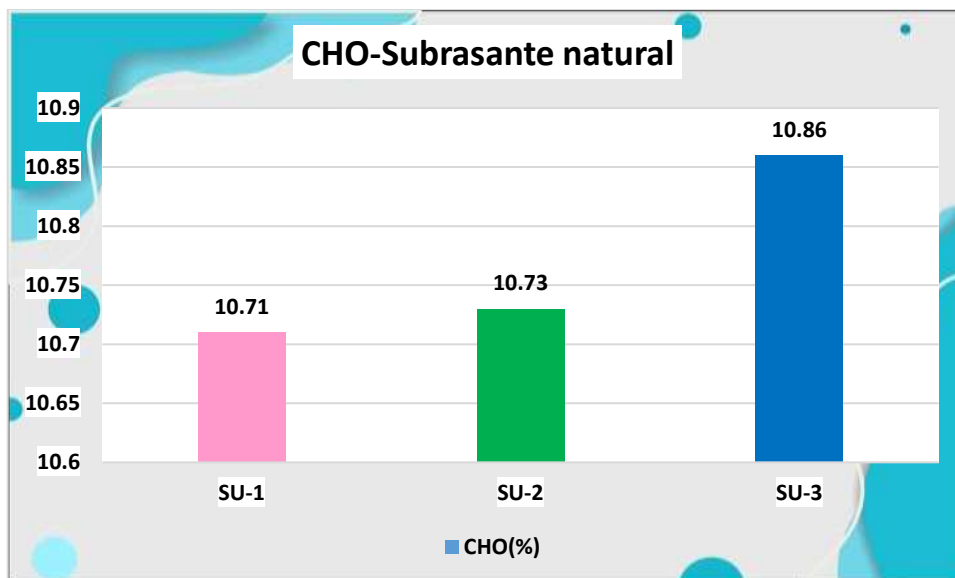
DMS en los diferentes puntos de control de la subrasante natural



Se presenta los valores de la (DMS) en los diferentes puntos de control de la subrasante natural, los cuales permiten evaluar el comportamiento del suelo bajo condiciones de compactación óptima. En este estudio, se han identificado ligeras variaciones en la DMS de tres puntos de control: en SU-1, la DMS es de 1.935 g/cm<sup>3</sup>, en SU-2 es de 1.921 g/cm<sup>3</sup> y en SU-3 es de 1.931 g/cm<sup>3</sup>. Aunque estas variaciones son leves, reflejan las diferencias en la capacidad de compactación del suelo, probablemente debido a la heterogeneidad natural del material o a las condiciones locales específicas, como la granulometría o el contenido de humedad previo a la compactación.

**Figura 8**

*CHO en los diferentes puntos de control de la subrasante natural*



El (CHO), que indica el porcentaje de humedad necesario para alcanzar la DMS en el suelo, también varía en los puntos evaluados. En SU-1, el CHO es de 10.71% y 10.77%, en SU-2 es de 10.73%, y en SU-3 es de 10.86%. Estos valores reflejan las condiciones óptimas de humedad que permiten la máxima compactación del suelo en cada ubicación.

**CBR al 100% y 95%**

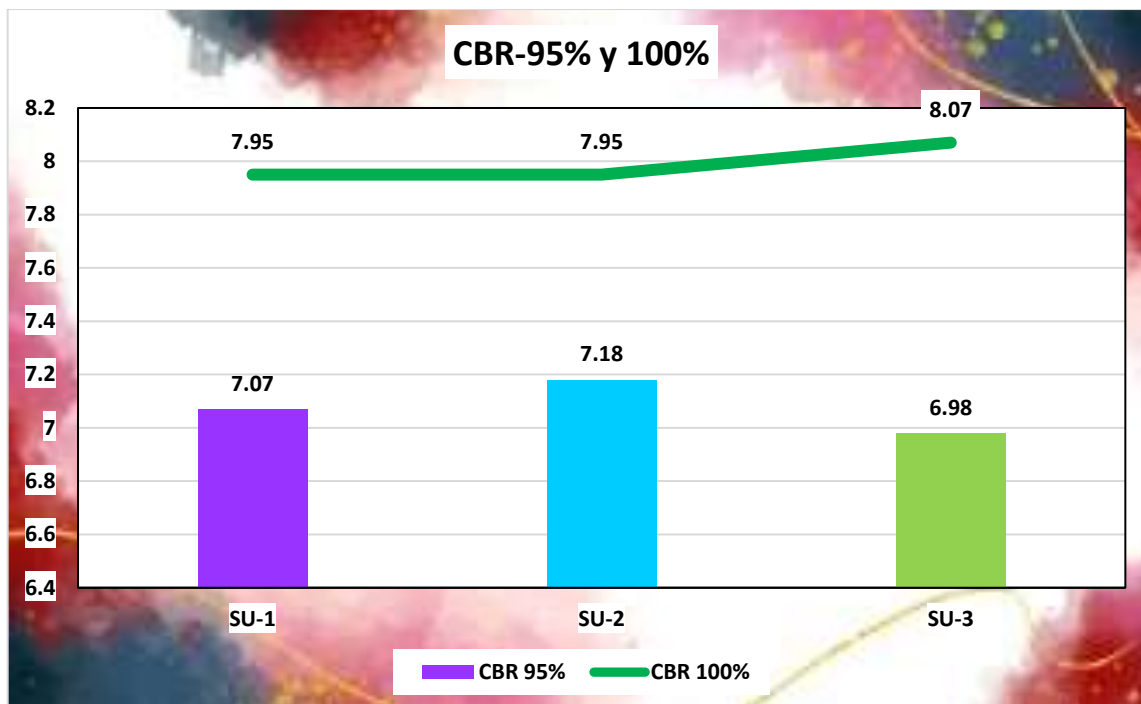
**Tabla 8**

*CBR al 95% y 100% en los diferentes puntos de control de la subrasante natural*

CBR de la subrasante natural				
Definición	CBR 95%	Promedio	CBR 100%	Promedio
SU-1	7.07		7.95	
SU-2	7.18	7.08	7.95	7.99
SU-3	6.98		8.07	

**Figura 9**

*CBR al 95% y 100% en los diferentes puntos de control de la subrasante natural*



Se presenta los resultados del CBR al 95% y 100% de compactación en diferentes puntos de control de la subrasante natural. El CBR es un índice que mide la resistencia del suelo a la penetración, utilizado comúnmente a fin de analizar la capacidad de soporte del suelo en proyectos viales. En el caso del CBR al 95% de compactación, los valores obtenidos son 7.07 en el punto SU-1, 7.18 en SU-2 y 6.98 en SU-3, con un promedio de 7.08.

Por su parte, el CBR al 100% de compactación muestra valores de 7.95 tanto en SU-1 como en SU-2, mientras que en SU-3 es de 8.07, con un promedio de 7.99. Estos resultados reflejan las diferencias en la capacidad de carga de la subrasante bajo distintos niveles de compactación, proporcionando una visión integral del comportamiento del suelo en cada punto de control.

### 4.1.2 Aplicación de ceniza de malezas y ceniza de leña de ciprés en el índice de plasticidad

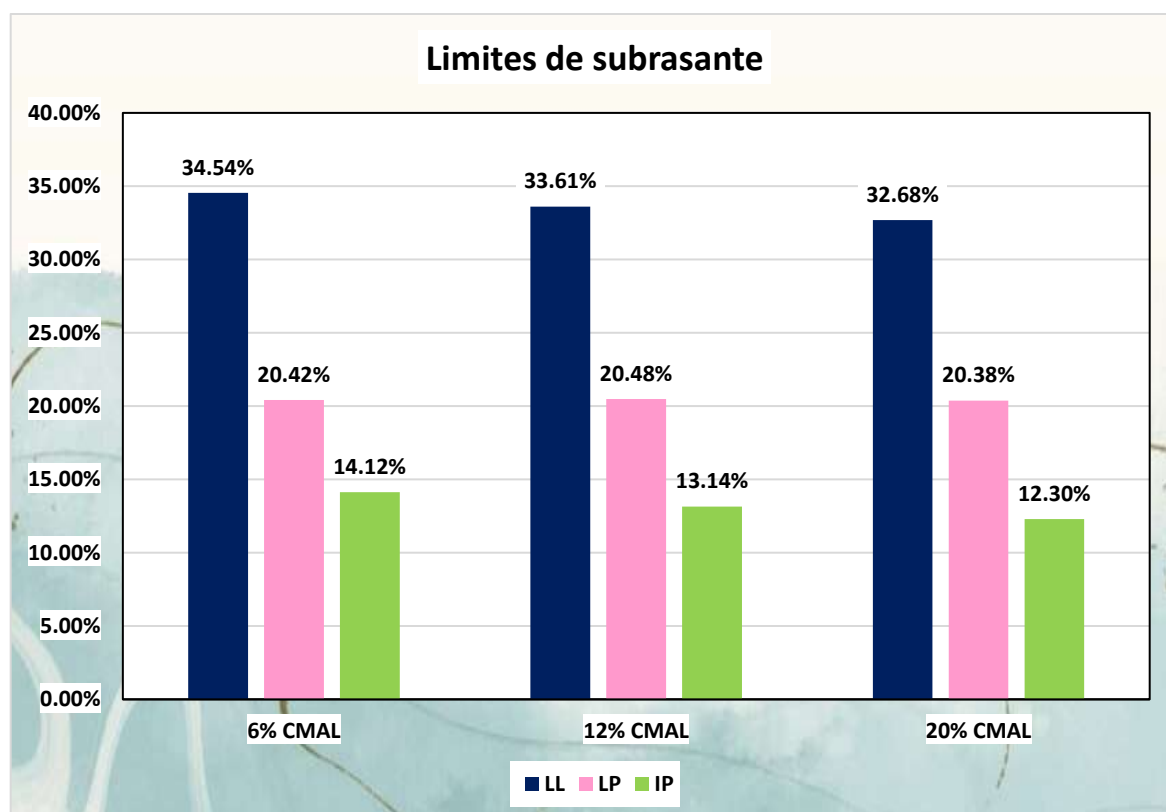
**Tabla 9**

*Índice plástico con ceniza de malezas*

IP de las muestras de la subrasante			
Definición	L.L.	L.P.	I.P.
6% CMAL	34.54%	20.42%	14.12%
12% CMAL	33.61%	20.48%	13.14%
20% CMAL	32.68%	20.38%	12.30%

**Figura 10**

*Índice plástico con ceniza de malezas*



Se presenta los resultados de los Límites de Atterberg, específicamente el Índice Plástico (IP), en las muestras de subrasante natural con la adición de diferentes porcentajes de



cenizas de malezas. Los resultados muestran cómo varían los valores de los límites de consistencia del suelo a medida que se acrecienta la proporción de cenizas. El Límite Líquido (LL), que representa el contenido de humedad al que el suelo pasa de un estado plástico a líquido, disminuye con la adición de cenizas: desde 34.54% con un 6% de cenizas, a 33.61% con un 12%, y finalmente a 32.68% con un 20%.

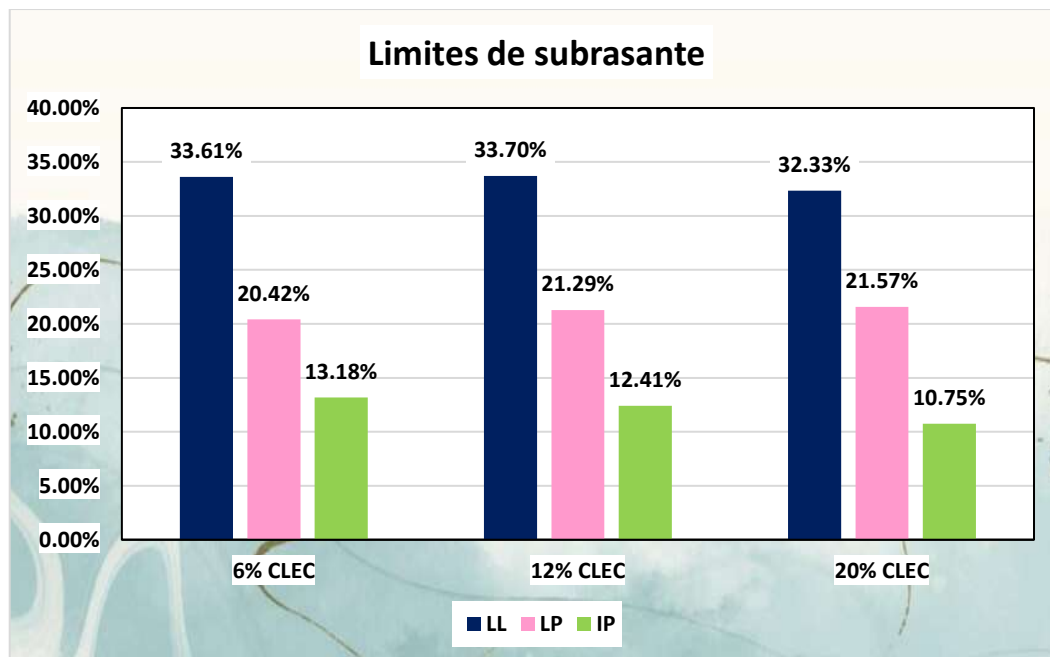
El Límite Plástico (LP), que refleja el contenido de humedad al que el suelo pasa de un estado semisólido a plástico, permanece relativamente constante alrededor de 20.42% a 20.48% en todas las muestras. El (IP), que es la discrepancia entre el LL y el LP, disminuye progresivamente con la adición de cenizas: de 14.12% con un 6% de cenizas, a 13.14% con un 12%, y finalmente a 12.30% con un 20%. Estos resultados sugieren que la incorporación de cenizas de malezas reduce la plasticidad del suelo, haciéndolo menos susceptible a deformaciones bajo condiciones húmedas.

**Tabla 10**

*Índice plástico con ceniza de leña de ciprés*

<b>IP de las muestras de la subrasante</b>			
<b>Definición</b>	<b>LL</b>	<b>LP</b>	<b>IP</b>
6% CLEC	33.61%	20.42%	13.18%
12% CLEC	33.70%	21.29%	12.41%
20% CLEC	32.33%	21.57%	10.75%

Figura 11

*Índice plástico con ceniza de leña de ciprés*

Se presenta los resultados de los Límites de Atterberg, específicamente el Índice Plástico (IP), en las muestras de subrasante natural añadiendo diferentes cantidades de ceniza de leña de ciprés (CLEC). El Límite Líquido (LL), que indica el contenido de humedad al cual el suelo cambia de un estado plástico a líquido, disminuye ligeramente con el acrecentamiento del porcentaje de ceniza de leña de ciprés: 33.61% con un 6%, 33.70% con un 12%, y 32.33% con un 20%.

El Límite Plástico (LP), que refleja el contenido de humedad en el que el suelo pasa de un estado semisólido a plástico, aumenta conforme se incrementa la cantidad de ceniza, registrando 20.42% con un 6%, 21.29% con un 12%, y 21.57% con un 20%. El Índice Plástico (IP), que es la diferencia entre el LL y el LP, disminuye a medida que se incrementa la proporción de ceniza de ciprés, bajando de 13.18% con un 6%, a 12.41% con un 12%, y a 10.75% con un 20%. Estos resultados sugieren que la añadidura de ceniza de ciprés reduce la plasticidad del suelo, lo que lo hace menos susceptible a deformaciones bajo condiciones de humedad.

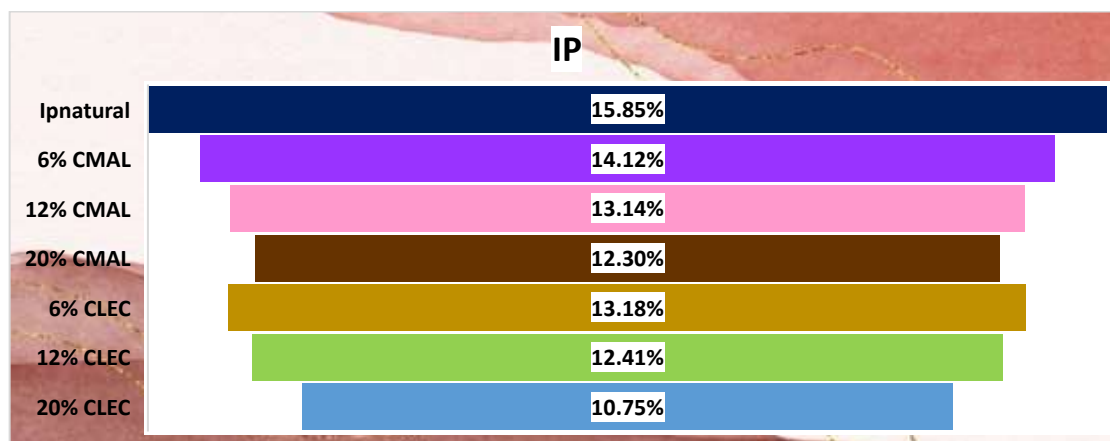
**Tabla 11**

*Comparativa del índice plástico con cenizas*

Índice plástico de las muestras	
Definición	IP
IP Natural	15.85%
6% CMAL	14.12%
12% CMAL	13.14%
20% CMAL	12.30%
6% CLEC	13.18%
12% CLEC	12.41%
20% CLEC	10.75%

**Figura 12**

*Comparativa del índice plástico con cenizas*



Se muestra los valores del (IP) de las muestras de subrasante natural y las modificadas con diferentes porcentajes de cenizas de malezas (CMAL) y cenizas de leña de ciprés (CLEC). El IP natural, sin aditivos, es de 15.85%, sirviendo como referencia para comparar el impacto de las adiciones de cenizas. Con la adición de cenizas de malezas, el IP disminuye de forma progresiva conforme aumenta el porcentaje de ceniza, pasando de 14.12% con un 6%, a 13.14% con un 12%, y a 12.30% con un 20%. De manera similar, la incorporación de ceniza de leña de ciprés también reduce la plasticidad del suelo, con un IP de 13.18% con un 6%, 12.41% con un 12%, y 10.75% con un 20%. Estos resultados reflejan que ambas cenizas contribuyen a disminuir la plasticidad del suelo, con un mayor impacto observado al aumentar las proporciones de ceniza.

### 4.1.3 Variación de la densidad seca máxima del suelo de la subrasante al adicionar ceniza de malezas y ceniza de leña de ciprés en la carretera Palca – Vilavila

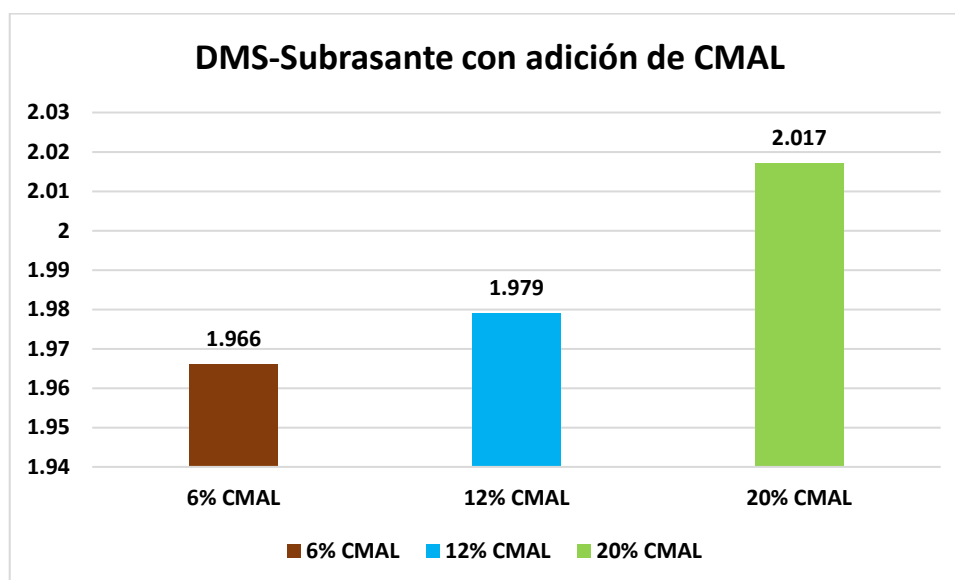
Tabla 12

DMS y CHO en los diferentes puntos de control de la subrasante con ceniza de malezas

Subrasante -DMS Y CHO		
Definición	DMS	CHO (%)
6% CMAL	1.966	9.46
12% CMAL	1.979	9.19
20% CMAL	2.017	8.78

Figura 13

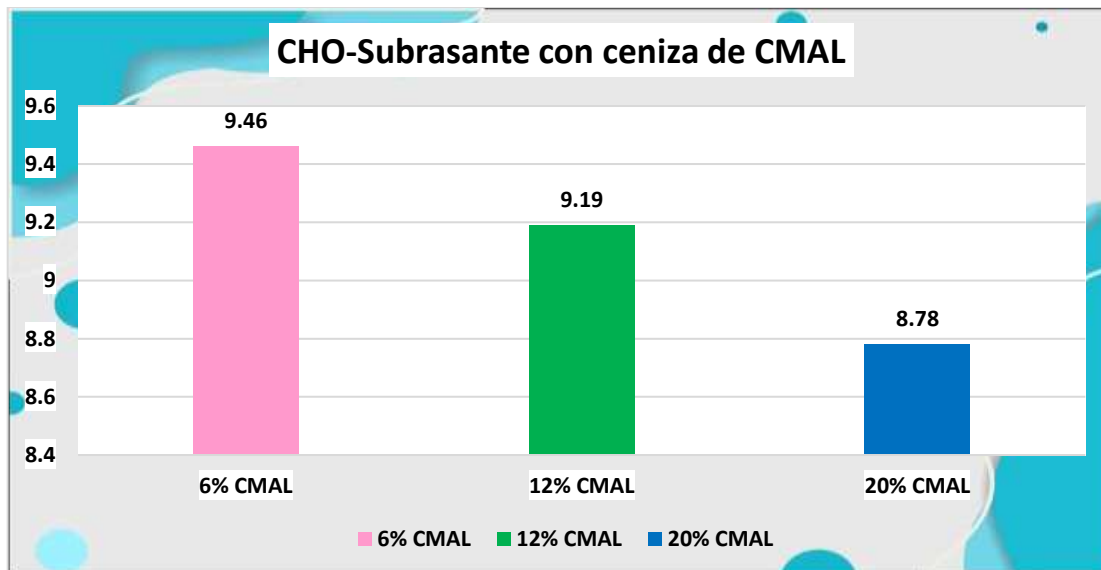
DMS en los diferentes puntos de control de la subrasante con ceniza de malezas



Se visualiza los valores de (DMS) y en los diferentes puntos de control de la subrasante natural con la añadidura de ceniza de malezas (CMAL). La DMS, que representa la densidad máxima que puede conseguir el suelo al ser compactado de manera óptima, aumenta conforme se incrementa el porcentaje de cenizas de malezas: desde 1.966 g/cm<sup>3</sup> con un 6% de cenizas, a 1.979 g/cm<sup>3</sup> con un 12%, y alcanzando 2.017 g/cm<sup>3</sup> con un 20% de cenizas.

**Figura 14**

*CHO en los diferentes puntos de control de la subrasante con ceniza de malezas*



El CHO, que es el porcentaje de humedad requerido para lograr la DMS, disminuye a medida que se añade más ceniza de malezas, indicando que el suelo requiere menos humedad para alcanzar su densidad máxima. Los valores del CHO son 9.46% con un 6% de cenizas, 9.19% con un 12%, y 8.78% con un 20%. Las evidencias sugieren que la adición de cenizas de malezas mejora las condiciones de compactación del suelo, permitiendo una mayor densidad con menor contenido de humedad.

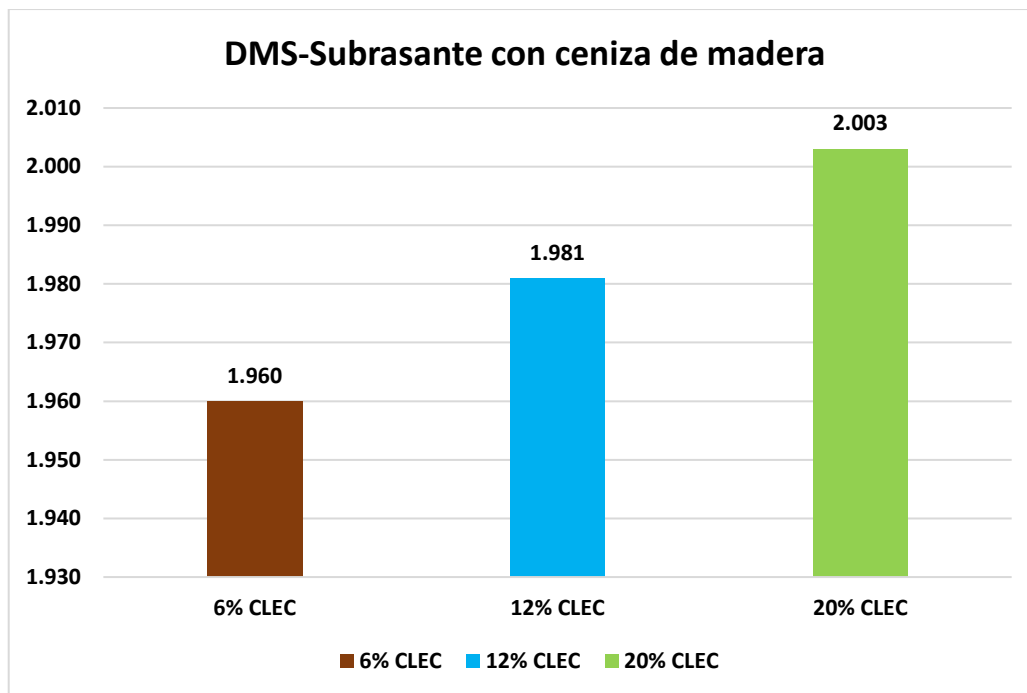
**Tabla 13**

*DMS y CHO en los diferentes puntos de control con ceniza de leña de ciprés*

Subrasante -DMS Y CHO		
Definición	DMS	CHO (%)
6% CLEC	1.960	9.56
12% CLEC	1.981	9.00
20% CLEC	2.003	8.60

Figura 15

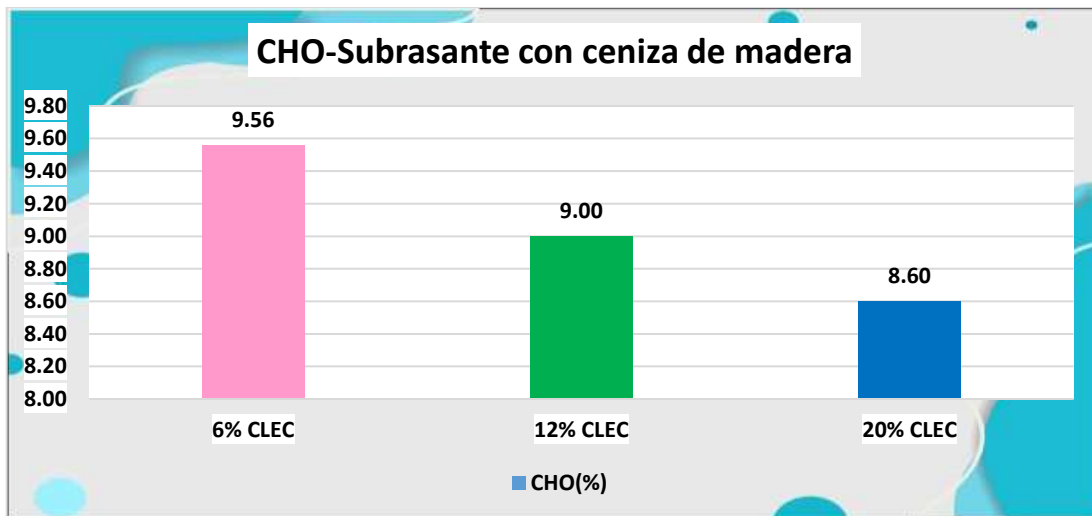
DMS en los diferentes puntos de control con ceniza de leña de ciprés



Se presenta los valores de la (DMS) en diferentes puntos de control de la subrasante con la añadidura de ceniza de leña de ciprés (CLEC). En este estudio, se observó que la DMS aumenta progresivamente con la incorporación de mayores porcentajes de ceniza de ciprés, lo que insinúa que la adición de este material mejora la estructura del suelo, permitiendo una mayor compactación. Inicialmente, con la adición de un 6% de ceniza de ciprés, la DMS se situó en 1.960 g/cm<sup>3</sup>. Al incrementar la proporción de ceniza al 12%, el valor de la DMS aumentó a 1.981 g/cm<sup>3</sup>, lo que representa una mejora importante en la compactación del suelo. Finalmente, con la adición de un 20% de ceniza de ciprés, la DMS alcanzó 2.003 g/cm<sup>3</sup>, evidenciando una mejora aún mayor en la capacidad de compactación. Este comportamiento se puede atribuir a las propiedades pozolánicas de la ceniza de ciprés, que al reaccionar con los componentes del suelo, mejora su cohesión y reduce los vacíos presentes en su estructura. A medida que acrecienta la cantidad de ceniza, la matriz del suelo se densifica, resultando en una mayor DMS.

**Figura 16**

*CHO en los diferentes puntos de control con ceniza de leña de ciprés*



El CHO, que representa la humedad requerida para conseguir la DMS, disminuye con el aumento progresivo de la ceniza de ciprés. Los valores de CHO son 9.56% con un 6% de ceniza, 9.00% con un 12%, y 8.60% con un 20%, lo que indica que el suelo necesita menos humedad para compactarse de manera efectiva con la adición de ceniza de ciprés. Estos resultados muestran que la ceniza de leña de ciprés mejora las propiedades de compactación del suelo al aumentar la DMS y reducir el CHO.

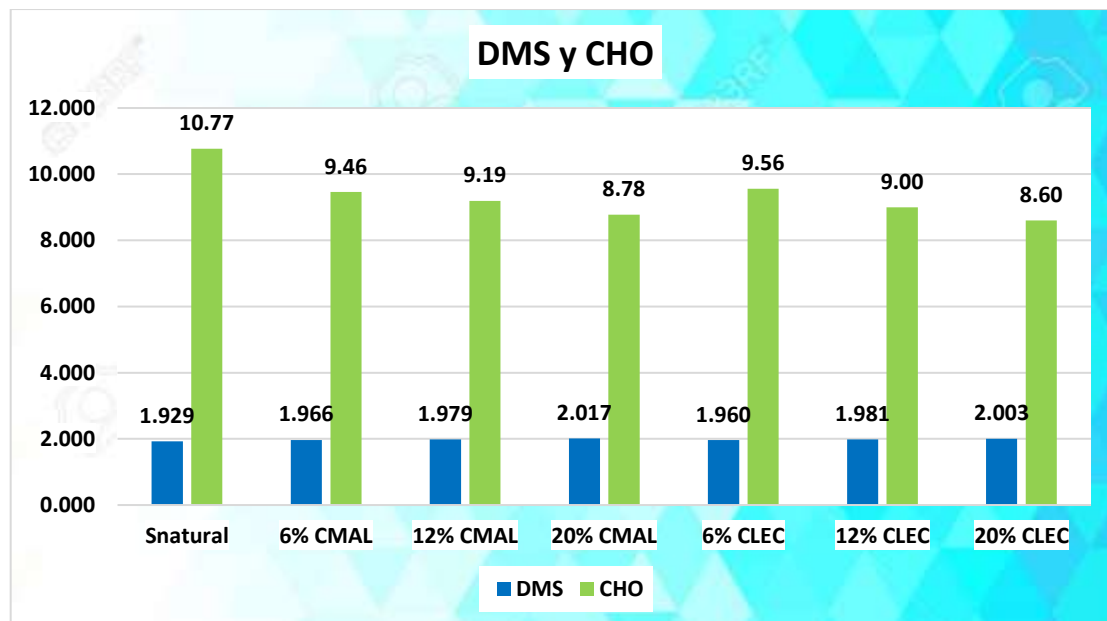
**Tabla 14**

*DMS y CHO - Comparativa*

Definición	DMS Y CHO	
	DMS g/cm <sup>3</sup>	CHO %
IP Natural	1.929	10.77
6% CMAL	1.966	9.46
12% CMAL	1.979	9.19
20% CMAL	2.017	8.78
6% CLEC	1.960	9.56
12% CLEC	1.981	9.00
20% CLEC	2.003	8.60

Figura 17

DMS y CHO - Comparativa



Se muestra los valores de la Densidad Máxima Seca (DMS) y el Contenido de Humedad Óptimo (CHO) para la subrasante natural y las muestras modificadas con diferentes porcentajes de cenizas de malezas (CMAL) y cenizas de leña de ciprés (CLEC). El valor de referencia para la subrasante natural es una DMS de 1.929 g/cm<sup>3</sup> y un CHO de 10.77%. Con la adición de cenizas de malezas, la DMS aumenta progresivamente, alcanzando 1.966 g/cm<sup>3</sup> con un 6% de CMAL, 1.979 g/cm<sup>3</sup> con un 12%, y 2.017 g/cm<sup>3</sup> con un 20%. Paralelamente, el CHO disminuye, registrando 9.46%, 9.19%, y 8.78% para las proporciones de 6%, 12% y 20%, respectivamente. De manera similar, con la adición de cenizas de leña de ciprés, la DMS también incrementa, con valores de 1.960 g/cm<sup>3</sup> al 6%, 1.981 g/cm<sup>3</sup> al 12%, y 2.003 g/cm<sup>3</sup> al 20%. El CHO, al igual que con las cenizas de malezas, disminuye conforme aumenta la proporción de cenizas, con valores de 9.56%, 9.00%, y 8.60% para las mismas proporciones. Esta comparativa muestra que tanto las cenizas de malezas como las de leña de ciprés mejoran la compactación del suelo, aumentando la DMS y reduciendo el CHO. Sin embargo, los efectos son similares entre ambas cenizas, lo que sugiere que ambos aditivos tienen un impacto auténtico comparable en las propiedades de compactación del suelo.

### 4.1.4 Efecto de la adición de ceniza de malezas y ceniza de leña de ciprés en el CBR del material de subrasante en la carretera Palca – Vilavila

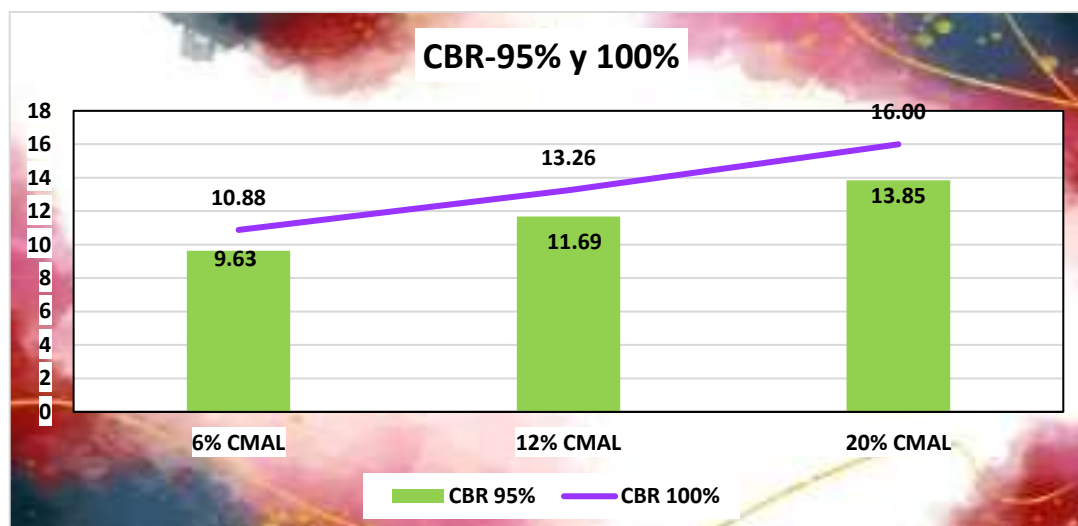
**Tabla 15**

*CBR en los diferentes puntos de control de la subrasante con ceniza de malezas*

CBR de la subrasante con ceniza de malezas		
Definición	CBR 95%	CBR 100%
6% CMAL	9.63	10.88
12% CMAL	11.69	13.26
20% CMAL	13.85	16.00

**Figura 18**

*CBR en los diferentes puntos de control de la subrasante con ceniza de malezas*



Se presenta los resultados del CBR al 95% y 100% de compactación en la subrasante con la añadidura de variados porcentajes de cenizas de malezas (CMAL). El CBR, que mide la capacidad de soporte del suelo, es un indicador clave para evaluar la resistencia de suelos utilizados en proyectos viales. Con la adición de un 6% de CMAL, los valores del CBR son 7.07 al 95% de compactación y 7.95 al 100%. Al aumentar la cantidad de cenizas de malezas a 12%, el CBR al 95% sube ligeramente a 7.18, mientras que al 100% de compactación se mantiene en 7.95. Finalmente, con un 20% de CMAL, el CBR al 95% es 6.98, mostrando una ligera disminución, mientras que al 100% de compactación aumenta a 8.07.

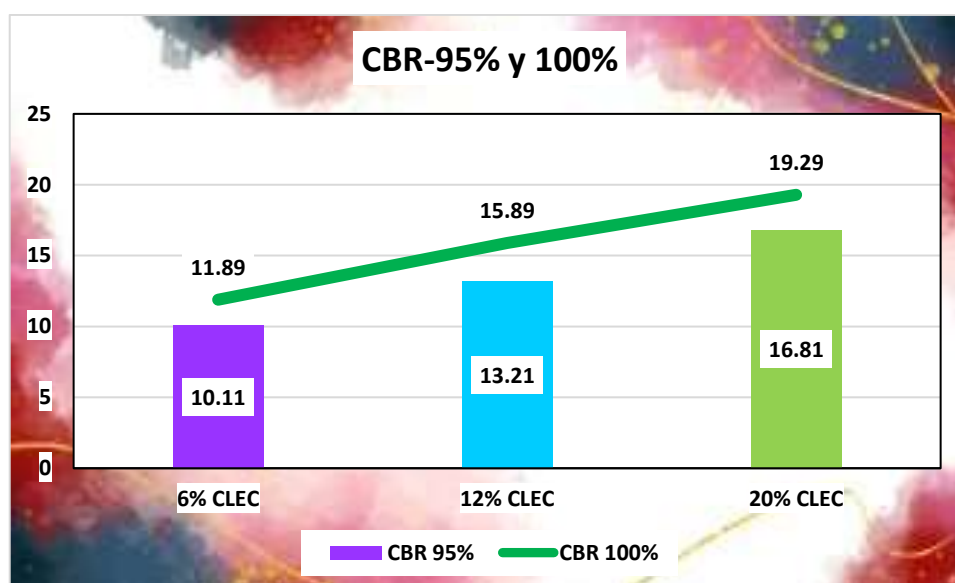
**Tabla 16**

*CBR en los diferentes puntos de control de la subrasante con ceniza de leña de ciprés*

CBR de la subrasante con ceniza de leña		
Definición	CBR 95%	CBR 100%
6% CLEC	10.11	11.89
12% CLEC	13.21	15.89
20% CLEC	16.81	19.29

**Figura 19**

*CBR en los diferentes puntos de control de la subrasante con ceniza de leña de ciprés*



Se visualiza los CBR al 95% y 100% de compactación en la subrasante con la añadidura de diferentes porcentajes de ceniza de leña de ciprés (CLEC). El CBR, que mide la capacidad de soporte del suelo, aumenta de manera significativa a medida que se acrecienta la proporción de ceniza. Con un 6% de CLEC, los valores del CBR son 10.11 al 95% de compactación y 11.89 al 100%. Al aumentar la cantidad de ceniza a 12%, el CBR se eleva a 13.21 al 95% y a 15.89 al 100%. Finalmente, con un 20% de CLEC, los valores de CBR alcanzan 16.81 al 95% de compactación y 19.29 al 100%. Estos resultados evidencian que la adición de ceniza de leña de ciprés mejora considerablemente la capacidad de carga de la subrasante, con incrementos significativos en el CBR tanto al

95% como al 100% de compactación, lo que sugiere una mayor estabilidad y resistencia del suelo tratado con este aditivo.

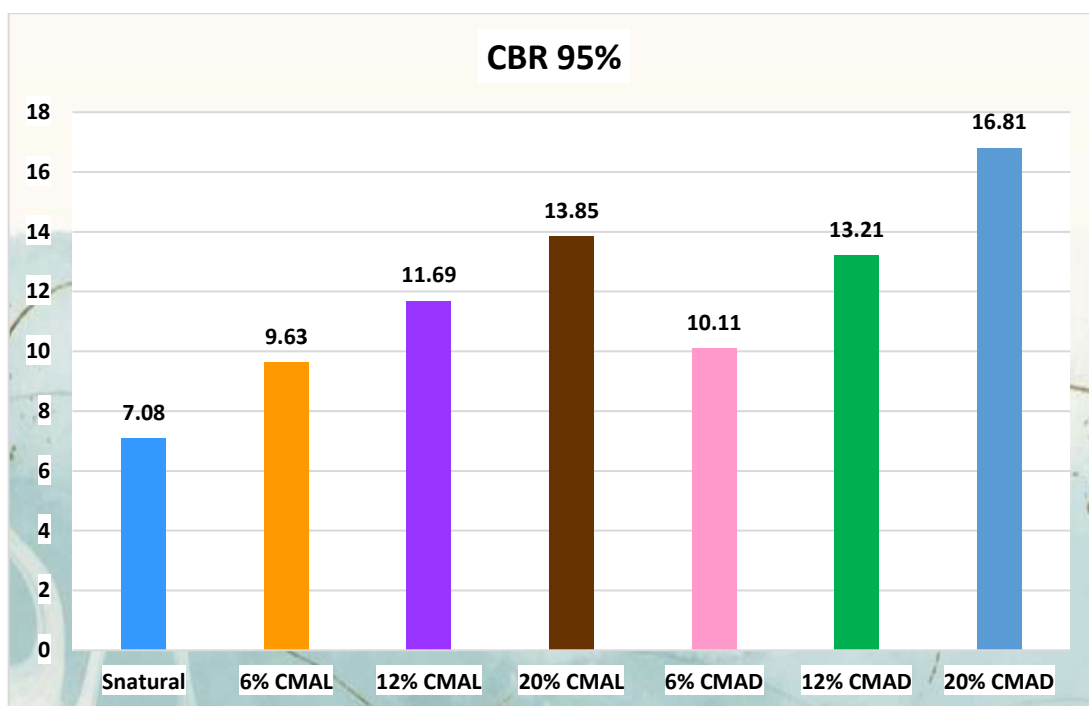
**Tabla 17**

*Comparativa de CBR*

CBR	
Definición	CBR 95%
S Natural	7.08
6% CMAL	9.63
12% CMAL	11.69
20% CMAL	13.85
6% CLEC	10.11
12% CLEC	13.21
20% CLEC	16.81

**Figura 20**

*Comparativa de CBR*



Se muestra los valores del CBR al 95% de compactación para la subrasante natural y las muestras tratadas con diferentes porcentajes de cenizas de malezas (CMAL) y cenizas de leña de ciprés (CLEC). El CBR natural de la subrasante, sin ningún aditivo, es de 7.08, y

sirve como referencia para evaluar el efecto de los aditivos. Con la adición de cenizas de malezas (CMAL), el CBR aumenta progresivamente a medida que se incrementa la proporción de ceniza: 9.63 con un 6%, 11.69 con un 12%, y 13.85 con un 20%. De manera similar, la incorporación de ceniza de leña de ciprés (CLEC) también optimiza considerablemente la capacidad portante del suelo. El CBR es de 10.11 con un 6%, 13.21 con un 12%, y 16.81 con un 20%. Esta comparativa indica que tanto las cenizas de malezas como las de leña de ciprés aumentan el CBR de la subrasante, mejorando su capacidad de soporte. No obstante, la ceniza de leña de ciprés muestra un mayor efecto en el incremento del CBR, especialmente con porcentajes más altos, lo que sugiere un mejor desempeño en la estabilización del suelo.

#### 4.2 Discusión de resultados

En el estudio de (Maraza, 2023), se examinaron las implicaciones de la cal y las cenizas de maleza en el proceso de estabilización del suelo. De acuerdo con los resultados obtenidos, la densidad seca máxima del suelo cambió a 1,63, 1,66, 1,69 y 1,58 g/cm<sup>3</sup> respectivamente cuando se añadieron en proporciones de 2%C + 10%CM, 4%C + 15%CM, 6%C + 20%CM y 8%C + 25%CM. Estas proporciones se seleccionaron en función de los resultados obtenidos. El mayor valor, 1,69 g/cm<sup>3</sup>, se alcanzó con la dosis de 6%C + 20%CM, lo que permite concluir que la integración de cal y cenizas de malas hierbas provoca un aumento de la densidad seca hasta ese grado. En cambio, la densidad seca se deterioró cuando se superó esta dosis, como ocurrió con el 8%C y el 25%CM. La adición de cal y de cenizas de malas hierbas dio lugar a un descenso del valor del índice de plasticidad, que fue proporcional a la disminución. Los valores que se registraron para las proporciones idénticas que se indicaron fueron 22,56%, 17,34%, 12,81% y 6,12%, siendo la cifra más baja 6,12% para 8%C y 25%CM. Se demostró que la integración de estos elementos provocaba una disminución progresiva del índice de plasticidad del suelo, como sugiere la conclusión. En cuanto al California Bearing Ratio (CBR), se observó un aumento



de la cantidad de ceniza y cal a lo largo del proceso. Los valores de CBR fueron 6,20%, 6,68%, 9,32% y 10,57%, obteniéndose el valor más alto de 10,57% para el 8% de monóxido de carbono y el 25% de monóxido de carbono. Basándose en estas pruebas, parece que la incorporación de cal y cenizas de malas hierbas al suelo da lugar a una mejora considerable de su capacidad portante.

En el estudio de (Liendo, 2023), la ceniza de tallo de mostaza se incluyó en el suelo como aditivo para mejorar sus cualidades. Tras observar un descenso del 6% en la muestra estándar de la fosa de ensayo C-3 a valores del 4%, 3% y 2%, se comprobó que el Índice de Plasticidad (IP) tenía tendencia a disminuir con la adición de ceniza. Esta fue la conclusión a la que se llegó. De manera similar, el Índice de Plasticidad (IP) se redujo de 9% a 7%, 4% y 3% en el pozo de prueba C-4. Las adiciones de ceniza al 5%, 10% y 15% resultaron en la reducción más dramática al 15%, que resultó en una disminución del 75% en el Índice de Plasticidad. Con adiciones de ceniza al 5%, 10% y 15%, se encontró que el contenido óptimo de humedad disminuía, pasando de 10,40% en el pozo de prueba C-3 a valores de 9,10%, 9,50% y 9,00%. Del mismo modo, el contenido óptimo de humedad disminuyó en el pozo de ensayo C-4, pasando de 15,50% a 13,60%, 13,30% y 12,60%. Además, se observó un aumento progresivo de la Densidad Máxima en Seco (DMS), que pasó de 1,986 g/cm<sup>3</sup> en la arqueta C-3 a 1,996 g/cm<sup>3</sup>, 2,009 g/cm<sup>3</sup> y 2,062 g/cm<sup>3</sup>, y de 1,705 g/cm<sup>3</sup> en la arqueta C-4 a 1,729 g/cm<sup>3</sup>, 1,768 g/cm<sup>3</sup> y 1,787 g/cm<sup>3</sup>, siendo la adición del 15% la más significativa. En el estudio se observó un aumento del California Bearing Ratio (CBR) al 95% - 01». El CBR aumentó de 9,3% en la muestra estándar a 11,1%, 13,0% y 13,5% en el pozo de prueba C-3. Además, el CBR aumentó de 3,5% en la muestra estándar a 11,1%, 13,0% y 13,5% en el pozo de prueba C-3. Además, el CBR aumentó de 3,9% a 4,6%, 5,3% y 5,6% en el pozo de prueba C-4, lo que indica que las propiedades mecánicas del suelo habían mejorado.

En el estudio de (Altamirano & Utani, 2023) se incluyó ceniza de madera de ciprés para mejorar las características de la subrasante. De acuerdo con los resultados, el porcentaje medio de humedad natural del suelo fue menor cuando se comparó con los tres tratamientos (T1, T2 y T3). Este hallazgo sugiere que la incorporación de ceniza de madera de ciprés no resulta en una reducción del contenido de humedad en ninguno de los porcentajes que fueron evaluados. En relación con los ensayos de Límites de Atterberg, se calculó el Índice de Plasticidad (IP). Este índice proporciona una indicación del rango de humedad en el que el suelo es capaz de mantener una consistencia plástica. Sobre la base de los resultados, se determinó que la muestra estándar, junto con los tratamientos T2 y T3, exhibe una plasticidad media, con un valor de IP en el rango de 7 a 20. Esto indica que el suelo es arcilloso. Esto indica que el suelo es arcilloso y tiene una plasticidad moderada. El tratamiento T1, que consistió en 5% de ceniza de leña de ciprés, arrojó un valor de PI inferior a 7, lo que sugiere que el suelo exhibe un bajo grado de flexibilidad. Esto indica que la incorporación de un 5% de ceniza de leña de ciprés en el suelo produce una mejora considerable de su flexibilidad, por lo que disminuye su inclinación a deformarse en respuesta a las variaciones en los niveles de humedad. Por último, los resultados de la prueba CBR dejaron claro que la adición de un 5% de ceniza de madera de ciprés produjo el mayor aumento de la capacidad portante. Se trataba de una mejora significativa por encima del valor mínimo del 6% de CBR que era necesario. Sin embargo, cuando la cantidad de ceniza aumentaba en los tratamientos sucesivos, el CBR descendía. Esto podría atribuirse a la excesiva reducción del contenido de arcilla que se produjo como resultado del aumento de la proporción de ceniza de madera de ciprés. El hecho de utilizar este estabilizante en cantidades excesivas sugiere que podría disminuir la eficiencia del suelo.

Los estudios de Maraza (2023), Liendo (2023) y Altamirano & Utani (2023) coinciden en que la adición de diferentes tipos de cenizas (de maleza, tallos de mostaza y



leña de ciprés) mejora las propiedades mecánicas del suelo, aunque con diferencias en sus resultados específicos. Maraza demostró que la combinación de cal y cenizas de maleza incrementa la densidad seca y disminuye el Índice de Plasticidad (IP), pero con una dosificación óptima, ya que, al excederla, la densidad disminuye. De manera similar, Liendo mostró que la adición de cenizas de tallos de mostaza reduce notablemente el IP y aumenta la densidad seca, especialmente con un 15% de aditivo. Por otro lado, Altamirano & Utani encontraron que, aunque la ceniza de leña de ciprés no mejoró el contenido de humedad, sí redujo el IP con un 5% de adición, mejorando la capacidad de soporte del suelo, aunque porcentajes mayores resultaron en una disminución del CBR. En conjunto, los tres estudios sugieren que la adición de cenizas es efectiva en la estabilización del suelo, pero que es necesario identificar las proporciones adecuadas para maximizar sus beneficios sin efectos contraproducentes.



## CONCLUSIONES

**Primera,** los materiales que componen la subrasante de la carretera Palca – Vilavila presentan un (IP) del 15.85%, una (DMS) de 1.929 g/cm<sup>3</sup> y un contenido óptimo de humedad del 10.77%. Además, el CBR al 95% es de 7.08, lo que indica una capacidad de soporte adecuada para la subrasante en las condiciones evaluadas.

**Segunda,** la aplicación de ceniza de maleza y ceniza de leña de ciprés en la subrasante de la carretera Palca – Vilavila reduce de manera significativa el Índice de Plasticidad (IP) del suelo. Con la adición de un 20% de ceniza de maleza, el IP disminuyó a 12.30%, mientras que con un 20% de ceniza de leña de ciprés se logró una reducción mayor, alcanzando un IP de 10.75%. Estos resultados demuestran la efectividad de ambos tipos de ceniza en mejorar las propiedades del suelo, siendo la ceniza de ciprés más eficiente.

**Tercera,** la adición de ceniza de maleza y ceniza de leña de ciprés mejoró significativamente la densidad seca máxima del suelo de la subrasante en la carretera Palca – Vilavila. Con un 20% de ceniza de maleza se alcanzó una densidad máxima de 2.017 g/cm<sup>3</sup>, mientras que con un 20% de ceniza de leña de ciprés se obtuvo una densidad de 2.003 g/cm<sup>3</sup>.

**Cuarta,** la incorporación de ceniza de maleza y ceniza de leña de ciprés mejoró significativamente la capacidad de soporte (CBR) del material de subrasante en la carretera Palca – Vilavila. Con la adición del 20% de ceniza de maleza, se alcanzó un CBR de 13.85%, mientras que con un 20% de ceniza de leña de ciprés, el CBR aumentó a 16.81%. Estos resultados demuestran que ambos aditivos incrementan la capacidad de soporte del suelo, siendo la ceniza de ciprés más efectiva en mejorar este aspecto.



## RECOMENDACIONES

**Primera,** realizar estudios a largo plazo que analicen la durabilidad y el comportamiento del suelo estabilizado con ceniza de maleza y ceniza de leña de ciprés bajo condiciones de carga y variaciones climáticas. Esto permitirá verificar si los beneficios observados en la reducción del Índice de Plasticidad (IP) y el aumento de la densidad seca máxima (DMS) y del CBR se mantienen con el tiempo.

**Segunda,** dado que se observaron mejoras en las propiedades del suelo con un 20% de adición de cenizas, sería útil investigar el efecto de porcentajes mayores y menores de estos aditivos para identificar la dosificación óptima que maximice la capacidad de soporte del suelo sin comprometer su estabilidad.

**Tercera,** evaluar los impactos ambientales y económicos asociados al uso de ceniza de maleza y de leña de ciprés en proyectos de infraestructura. Investigaciones que comparen estos aditivos con otros estabilizadores comunes podrían ayudar a definir su viabilidad en términos de sostenibilidad y costo.

**Cuarta,** explorar la combinación de ceniza de maleza y ceniza de leña de ciprés con otros aditivos, como cal o cemento, para analizar sinergias que puedan mejorar aún más las propiedades del suelo y optimizar los procesos de estabilización.

**BIBLIOGRAFÍA**

- Altamirano Villena, J. Y., & Utani Huasco, F. (2023). Influencia de la adición de ceniza de leño de ciprés en la subrasante arcillosa para la carretera Matapuquio-Collpa Andahuaylas 2022. *Universidad Continental*.  
<https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/14352>
- Bances Vidaurre, L. M. (2023). *Estabilización de subrasante arcillosa con cenizas de madera producto de hornos artesanales en el Pueblo Joven Nadine 2, Chachapoyas – Amazonas*.
- Banda Sánchez, D. R., & Paz Castro, J. M. (2021). Estabilización de suelos adicionando ceniza de paja de Pino en la vía carrozable Yacancate-El Ape, provincia de Cutervo-Cajamarca – 2021. *Repositorio Institucional - UCV*.  
<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/89892>
- Bautista Gomez, J. U. (2022). Aplicación de cal hidratada con ceniza de madera para la estabilidad de la subrasante en la carretera Larampuquio – Accocapillapata, Ayacucho, 2022. *Repositorio Institucional - UCV*.  
<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/98582>
- Blacio Romero, J. L. (2022). *Estabilización de suelo arcillosos plásticos utilizando la viruta de madera reciclada de encofrado, caucho reciclado, ceniza volcánica para una carretera en la subrasante* [bachelorThesis, Guayaquil: ULVR, 2022.].  
<http://repositorio.ulvr.edu.ec/handle/44000/5567>
- Brandan Calero, Y. A. (2020). Aplicación de ceniza de madera de fondo para estabilizar la subrasante en Avenida San Felipe con Universitaria, Comas 2020. *Repositorio Institucional*
- Chavez Malca, D., & Malca Ore, E. (2021). Aplicación de ceniza de madera de fondo para estabilizar la subrasante en Avenida Mariscal Cáceres, Ayacucho 2021. *Repositorio Institucional - UCV*. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/102415>



- Choquecota Serrano, W. (2022). Incorporación de ceniza de thola para estabilizar el suelo de subrasante de una trocha carrozable, Chucuito Puno, 2022. *Repositorio Institucional - UCV*. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/96383>
- Chumpitaz De Las Casas, A. J., & Pérez Tippe, A. J. (2021). Incorporación de cal y ceniza de madera para el mejoramiento de la sub rasante en el distrito de Mala – Cañete 2021. *Repositorio Institucional - UCV*. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/84015>
- Fernandez Villegas, A. D., & Villanueva Gamarra, A. L. (2024). Estabilización de subrasante aplicando fibra de plátano y ceniza de ichu. *Repositorio Institucional -*
- Gonzales Perez, D. L. (2023). *Mejoramiento de la subrasante con cenizas de cáscara de arroz en el distrito de Cajaruro, Utcubamba, Amazonas 2021*. <http://tesis.usat.edu.pe/handle/20.500.12423/6618>
- Gutiérrez Quispe, E. (2021). Estabilización de la subrasante en vías no pavimentadas con resina de ciprés, trocha carrozable Tiquiña, Checacupe, Cusco 2021. *Repositorio I*
- Mamani Charalla, D. (2024). Propiedades físicas y mecánicas de la subrasante mediante sistema de reforzamiento con aditivo organosilanos y cal, carretera Charamaya – Puno – 2023. *Repositorio Institucional - UCV*. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/144073>
- Maraza Lipa, S. N. (2023). Estabilización de subrasantes de caminos vecinales en zonas tropicales con cenizas de malezas y cal, carretera Sandia-Alto Inambari, Puno 2022. *Universidad Continental*. <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/13872>
- Medina, M., Rojas, R., Bustamante, W., Loaiza, R., Martel, C., & Castillo, R. (2023). *Metodología de la investigación: Técnicas e instrumentos de investigación* [Text.Chapter]. Instituto Universitario de Innovación Ciencia y Tecnología Inudi Perú. <https://doi.org/10.35622/inudi.b.080>



- Núñez Pianto, E., & Quispe Gallegos, C. J. (2023). Incorporación de ceniza de madera de fondo para estabilizar subrasante limosa en el tramo Mayocc-Trigopampa km:11+150 al 12+250, Ayacucho, 2022. *Repositorio Institucional - UCV*.
- Pocoy Ramirez, J. G. (2024). Estabilización de suelos de la subrasante de la av. Luzuriaga utilizando cal y ceniza de madera, Carhuaz, Ancash, 2023. *Repositorio Institucional*
- Reyes, E. (2022). *Metodología de la Investigación Científica*. Page Publishing Inc.
- Rodriguez Trejo, J. M. (2023). *Análisis a nivel de subrasante de estabilización de suelos con melaza de caña de azúcar Saccharum officinarum en el Centro Poblado El Sol, Huaura, Lima, 2022*. <https://repositorio.unjfsc.edu.pe/handle/20.500.14067/8894>
- Uribe Cabezas, J. A. (2020). Aplicación de capas de concreto Whitetopping para mejorar la durabilidad del pavimento flexible de la Av. Alameda, Callao-2020. *Repositorio Institucional - UCV*. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/65519>
- Vera Agüero, F. A. (2022). Evaluación técnica, económica con aditivo cenizas de paja de trigo y ceniza de caña de maíz para mejoramiento de subrasante Ancash—2022.



## ANEXOS



### Anexo 1. Matriz de Consistencia

Problemas	Objetivos	Hipótesis	Variables	Inst. de Medición
<p><b>Problema General:</b></p> <p>¿Cuál es el impacto de la inclusión de ceniza de malezas y ceniza de leña de ciprés en cantidades progresivas sobre las propiedades de la subrasante de la carretera Palca – Vilavila 2024?</p>	<p><b>Objetivo General:</b></p> <p>Evaluar el impacto de la inclusión de ceniza de malezas y ceniza de leña de ciprés en cantidades progresivas sobre las propiedades de la subrasante de la carretera Palca – Vilavila 2024.</p>	<p><b>Hipótesis General:</b></p> <p>El impacto de la inclusión de ceniza de malezas y ceniza de leña de ciprés en cantidades progresivas sobre las propiedades de la subrasante de la carretera Palca – Vilavila 2024 ser positivo.</p>	<p><b>Variable Independiente</b></p> <p>Ceniza de Malezas y Ceniza de Leña de Ciprés.</p> <p><b>Indicadores:</b></p> <p>6%, 12% y 20% de incorporación de ceniza de malezas y ceniza de leña de ciprés.</p>	<p>Balanza, Protocolo de mezcla de suelo y cenizas.</p>
<p><b>Problemas Específicos</b></p> <p>¿Cuáles son las características físicas y mecánicas de los materiales que componen la subrasante de la carretera Palca – Vilavila en el año 2024?</p> <p>¿Qué impacto tiene la aplicación de ceniza de malezas y ceniza de leña de ciprés en el índice de plasticidad del suelo de subrasante en la carretera Palca – Vilavila en 2024?</p> <p>¿Cómo varía la densidad seca máxima del suelo de la subrasante al adicionar ceniza de malezas y ceniza de leña de ciprés en la carretera Palca – Vilavila en 2024?</p> <p>¿De qué manera afecta la capacidad de soporte CBR del material de subrasante la adición de ceniza de malezas y ceniza de leña de ciprés en la carretera Palca – Vilavila en 2024?</p>	<p><b>Objetivos Específicos</b></p> <p>Determinar las características físicas y mecánicas de los materiales que componen la subrasante de la carretera Palca – Vilavila en el año 2024.</p> <p>Evaluar el impacto de la aplicación de ceniza de malezas y ceniza de leña de ciprés en el índice de plasticidad del suelo de subrasante en la carretera Palca – Vilavila en 2024.</p> <p>Analizar la variación de la densidad seca máxima del suelo de la subrasante al adicionar ceniza de malezas y ceniza de leña de ciprés en la carretera Palca – Vilavila en 2024.</p> <p>Determinar el efecto de la adición de ceniza de malezas y ceniza de leña de ciprés en la capacidad de soporte CBR del material de subrasante en la carretera Palca – Vilavila en 2024.</p>	<p><b>Hipótesis Específicas</b></p> <p>Los materiales que componen la subrasante de la carretera Palca – Vilavila en 2024 presentan propiedades físicas y mecánicas deficiente.</p> <p>La aplicación de ceniza de malezas y ceniza de leña de ciprés en la subrasante de la carretera Palca – Vilavila reducirá significativamente el índice de plasticidad del suelo, mejorando su comportamiento.</p> <p>La adición de ceniza de malezas y ceniza de leña de ciprés incrementará la densidad seca máxima del suelo de la subrasante en la carretera Palca – Vilavila, optimizando su capacidad de compactación.</p> <p>La incorporación de ceniza de malezas y ceniza de leña de ciprés mejorará la capacidad de soporte CBR del material de subrasante en la carretera Palca – Vilavila, permitiendo un mayor soporte de las cargas vehiculares.</p>		



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
 FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS  
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL  
 LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS

## ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

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

TESIS	: IMPACTO DE LA INCLUSIÓN DE CENIZA DE MALEZAS Y CENIZA DE LENA DE CIPRES EN CANTIDADES PROGRESIVAS SOBRE LAS PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE DE LA CARRETERA PALCA – VILAVILA 2024
SOLICITANTE	: BACHILLER MILAN LEONIDAS ITO PACORI
UBICACIÓN	: PALCA-VILA VILA
MUESTRA	: CALICATA 1
FECHA	: 16 DE JULIO DEL 2024

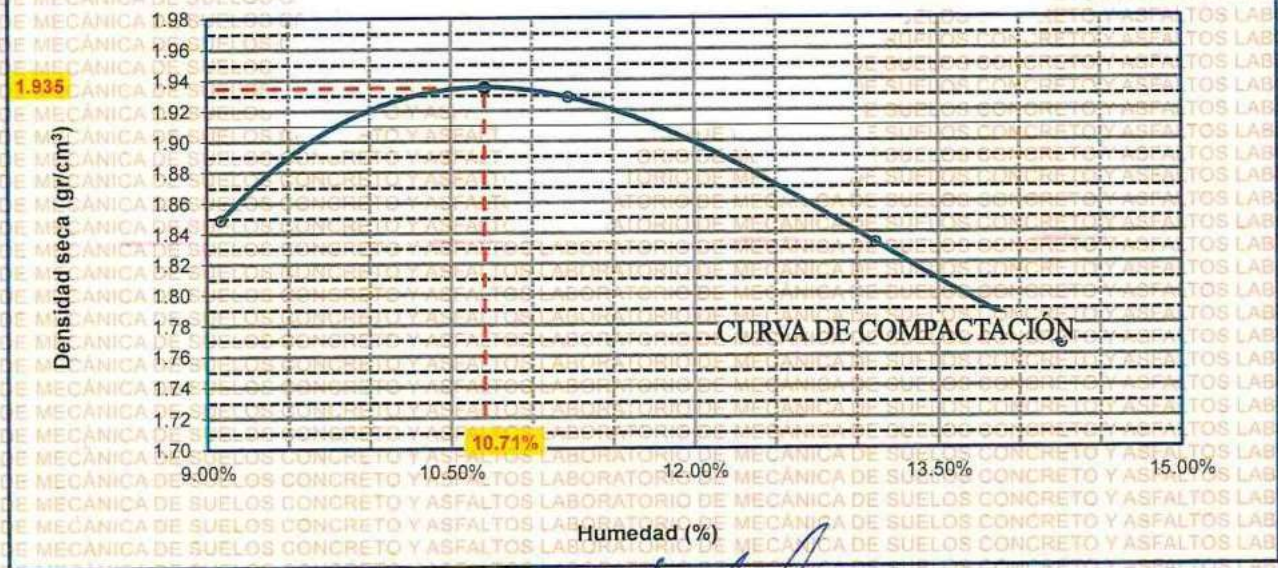
MOLDE No	: 1	VOLUMEN DEL MOLDE	: 2135 cm <sup>3</sup>
No DE CAPAS	: 5	GOLPES POR CAPA	: 56 golpes

Peso Suelo Humedo + Molde	gr.	10191	10465	10312	10195
Peso del Molde	gr.	5885	5885	5885	5885
Peso del Suelo Húmedo	gr/cm <sup>3</sup> .	4306	4580	4427	4310
Densidad del Suelo Humedo	gr/cm <sup>3</sup> .	2.017	2.145	2.074	2.019

Capsula No	No	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.
Suelo Humedo + Capsula	gr.	333.00	333.40	350.40	353.30	396.20	400.40	242.20	242.00
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	310.14	311.50	322.20	323.40	358.40	360.90	221.20	218.70
Peso del Agua	gr.	22.86	21.90	28.20	29.90	37.80	39.50	21.00	23.30
Peso de la Capsula	gr.	64.00	65.00	64.00	64.00	65.00	65.00	64.00	65.00
Peso del Suelo Seco	gr.	246.14	246.50	258.20	259.40	293.40	295.90	157.20	153.70
% de Humedad	%	9.29%	8.88%	10.92%	11.53%	12.88%	13.35%	13.36%	15.16%
<b>Promedio de Humedad</b>	%	9.09%		11.22%		13.12%		14.26%	
<b>Densidad del Suelo Seco</b>	%	1.849		1.929		1.833		1.767	

METODO:	ASTM D - 1557	MAXIMA DENSIDAD SECA	: 1.935 gr/cm <sup>3</sup>
	MODIFICADO "C"	HUMEDAD OPTIMA	: 10.71%

### RELACIÓN HUMEDAD - DENSIDAD



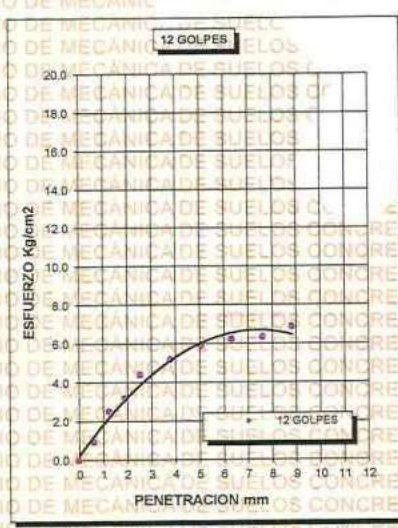
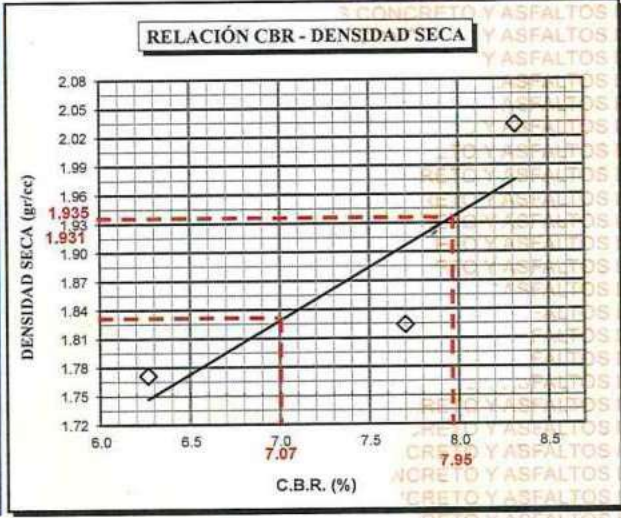
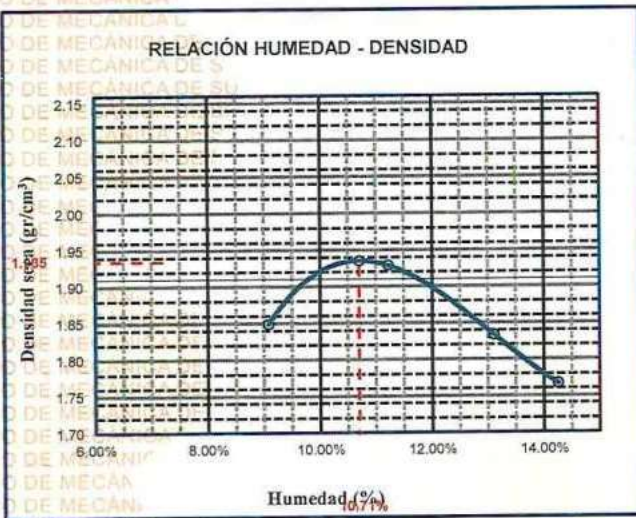
UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
 FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS  
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL  
 LABORATORIO M.S.C.A.  
 JULIACA  
 Wladimir Yaná Torres  
 C.I. 103297



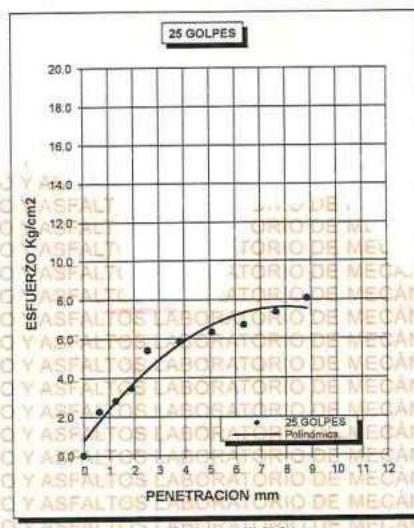
**UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"**  
**FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**  
**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS**



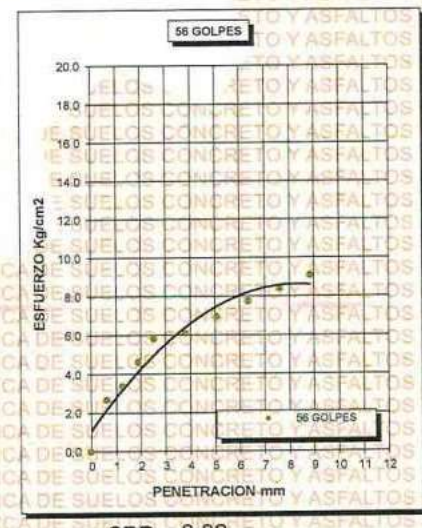
<b>PROYECTO :</b>	IMPACTO DE LA INCLUSIÓN DE CENIZA DE MALEZAS Y CENIZA DE LEÑA DE CIPRÉS EN CANTIDADES PROGRESIVAS SOBRE LAS PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE DE LA CARRETERA PALCA – VILAVILA 2024	<b>METODO DE COMPACTACIÓN ASTM D1557-91</b>
<b>SOLICITADO :</b>	BACHILLER MILAN LEONIDAS ITO PACORI	<b>MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm<sup>3</sup>.)</b> 1.935
<b>UBICACIÓN :</b>	PALCA-VILA VILA	<b>HUMEDAD OPTIMA (%)</b> 10.71%
<b>MUESTRA :</b>	SUELO NATURAL - CALICATA 01	<b>CBR AL 100 DE M.D.S. (%)</b> 7.95
<b>FECHA :</b>	16 DE JULIO DEL 2024	<b>CBR AL 95% DE M.D.S. (%)</b> 7.07
		<b>AASHTO :</b>
		<b>EMBEBIDO :</b>



CBR 6.27



CBR 7.70



CBR 8.32

UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
FIGP - CAP. INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIO M.S.C.A. JEPATURA  
JURACCA  
Ing. Arnaldo Yana Torres  
C.P. 103257



## ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

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

<b>TESIS</b>	: IMPACTO DE LA INCLUSIÓN DE CENIZA DE MALEZAS Y CENIZA DE LENA DE CIPRES EN CANTIDADES PROGRESIVAS SOBRE LAS PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE DE LA CARRETERA PALCA – VILAVILA 2024
<b>SOLICITANTE</b>	: BACHILLER MILAN LEONIDAS ITO PACORI
<b>UBICACIÓN</b>	: PALCA-VILA VILA
<b>MUESTRA</b>	: CALICATA 2
<b>FECHA</b>	: 16 DE JULIO DEL 2024

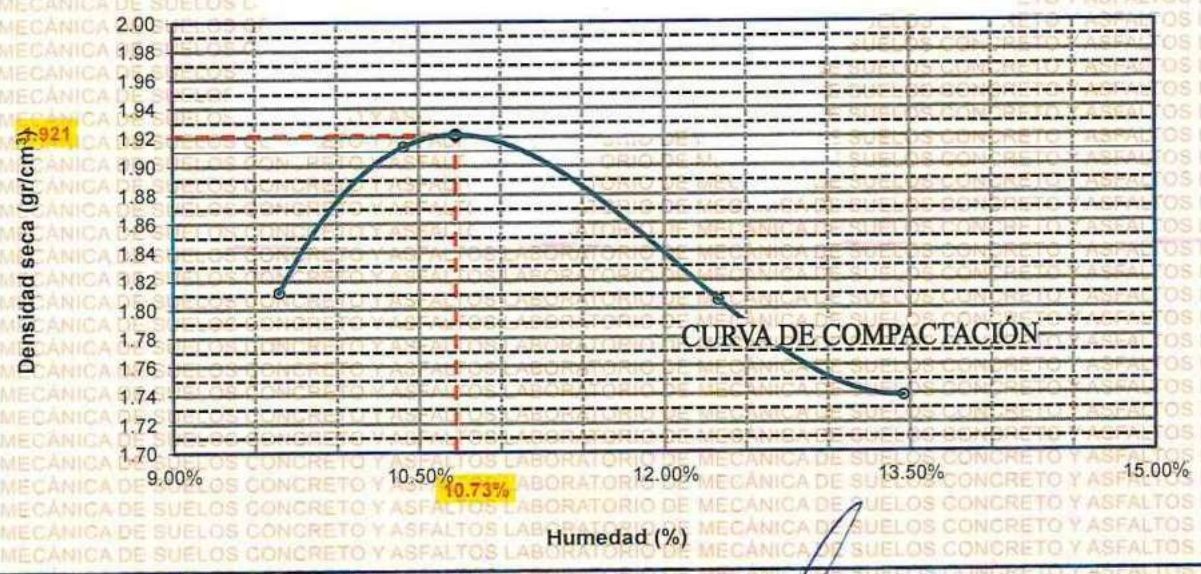
<b>MOLDE No</b>	: 1	<b>VOLUMEN DEL MOLDE</b>	: 2142 cm <sup>3</sup>
<b>No DE CAPAS</b>	: 5	<b>GOLPES POR CAPA</b>	: 56 golpes

Peso Suelo Humedo + Molde	gr.	10120	10390	10210	10090
Peso del Molde	gr.	5865	5865	5865	5865
Peso del Suelo Húmedo	gr/cm <sup>3</sup> .	4255	4525	4345	4225
Densidad del Suelo Humedo	gr/cm <sup>3</sup> .	1.986	2.113	2.028	1.972

Capsula No	No	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.
Suelo Humedo + Capsula	gr.	335.00	335.10	355.00	354.30	395.00	400.10	240.20	240.30
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	311.20	311.30	327.30	327.20	358.60	363.50	219.60	219.20
Peso del Agua	gr.	23.80	23.80	27.70	27.10	36.40	36.60	20.60	21.10
Peso de la Capsula	gr.	64.00	65.00	64.00	64.00	65.00	65.00	64.00	65.00
Peso del Suelo Seco	gr.	247.20	246.30	263.30	263.20	293.60	298.50	155.60	154.20
% de Humedad	%	9.63%	9.66%	10.52%	10.30%	12.40%	12.26%	13.24%	13.68%
<b>Promedio de Humedad</b>	%	9.65%		10.41%		12.33%		13.46%	
<b>Densidad del Suelo Seco</b>	%	1.812		1.913		1.806		1.738	

<b>METODO:</b>	ASTM D - 1557	<b>MAXIMA DENSIDAD SECA</b>	: 1.921 gr/cm <sup>3</sup>
	MODIFICADO "C"	<b>HUMEDAD OPTIMA</b>	: 10.73%

### RELACIÓN HUMEDAD - DENSIDAD



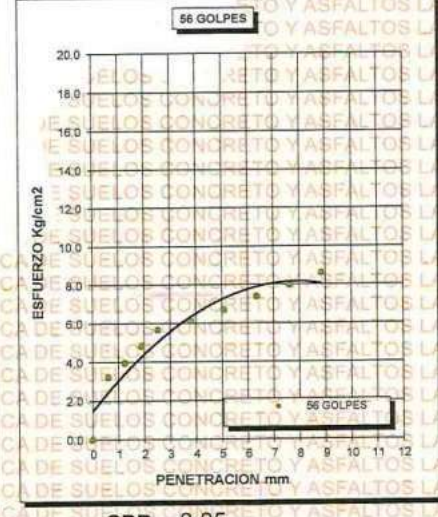
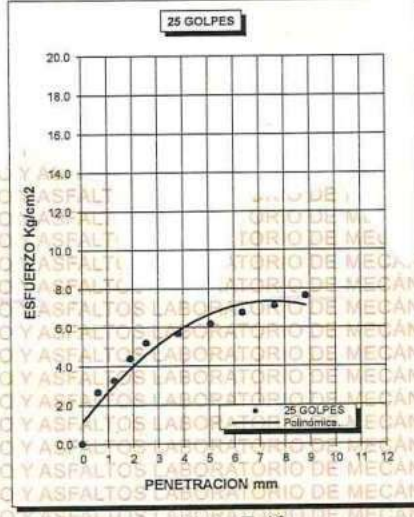
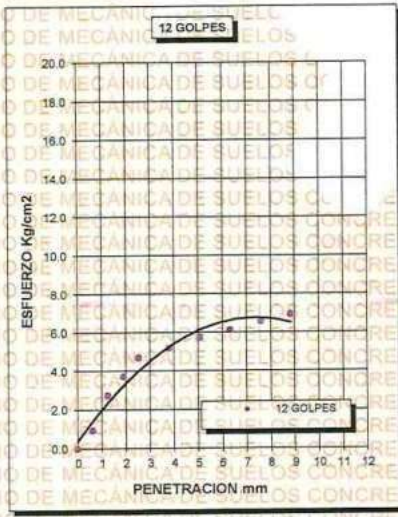
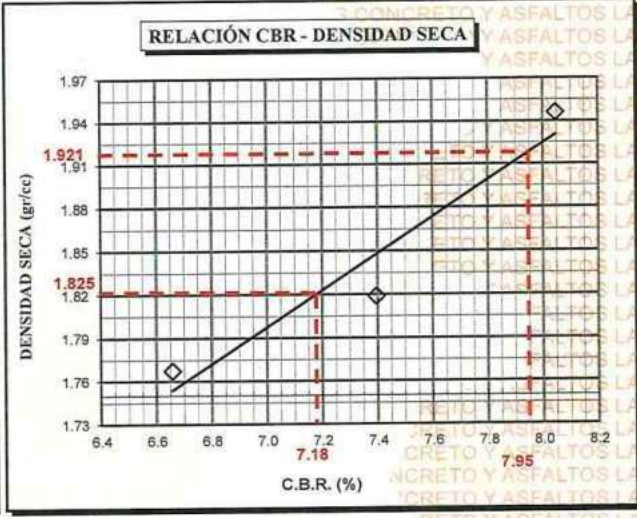
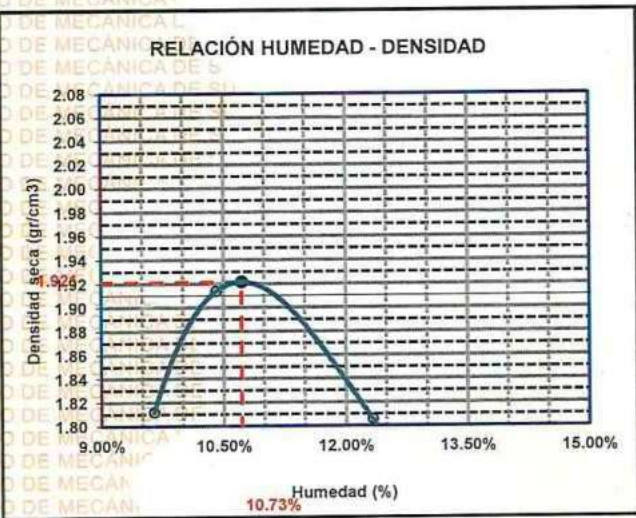
UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
 FICP - CAR INGENIERÍA CIVIL  
 Miguel Arnaldo Yano Torres  
 CIP 103257



**UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"**  
**FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**  
**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS**



<b>PROYECTO :</b> IMPACTO DE LA INCLUSIÓN DE CENIZA DE MALEZAS Y CENIZA DE LEÑA DE CIPRÉS EN CANTIDADES PROGRESIVAS SOBRE LAS PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE DE LA CARRETERA PALCA – VILAVILA 2024	<b>METODO DE COMPACTACIÓN ASTM D1557-91</b>
<b>SOLICITADO :</b> BACHILLER MILAN LEONIDAS ITO PACORI	<b>MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm<sup>3</sup>.):</b> 1.921
<b>UBICACIÓN :</b> PALCA-VILA VILA	<b>HUMEDAD OPTIMA (%):</b> 10.73%
<b>MUESTRA :</b> SUELO NATURAL - CALICATA 02	<b>CBR AL 100 DE M.D.S. (%):</b> 7.95
<b>FECHA :</b> 16 DE JULIO DEL 2024	<b>CBR AL 95% DE M.D.S. (%):</b> 7.18
	<b>AASHTO :</b>
	<b>EMBEBIDO :</b>



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
FICP - CAP. INGENIERÍA CIVIL

*[Signature]*

LABORATORIO M.S.C.A. JEFATURA

JULIACA, PERÚ



### ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

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

TESIS	IMPACTO DE LA INCLUSIÓN DE CENIZA DE MALEZAS Y CENIZA DE LENA DE CIPRES EN CANTIDADES PROGRESIVAS SOBRE LAS PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE DE LA CARRETERA PALCA - VILAVILA 2024		
SOLICITANTE	BACHILLER MILAN LEONIDAS ITO PACORI		
UBICACIÓN	PALCA-VILA VILA		
MUESTRA	CALICATA 3		
FECHA	16 DE JULIO DEL 2024		

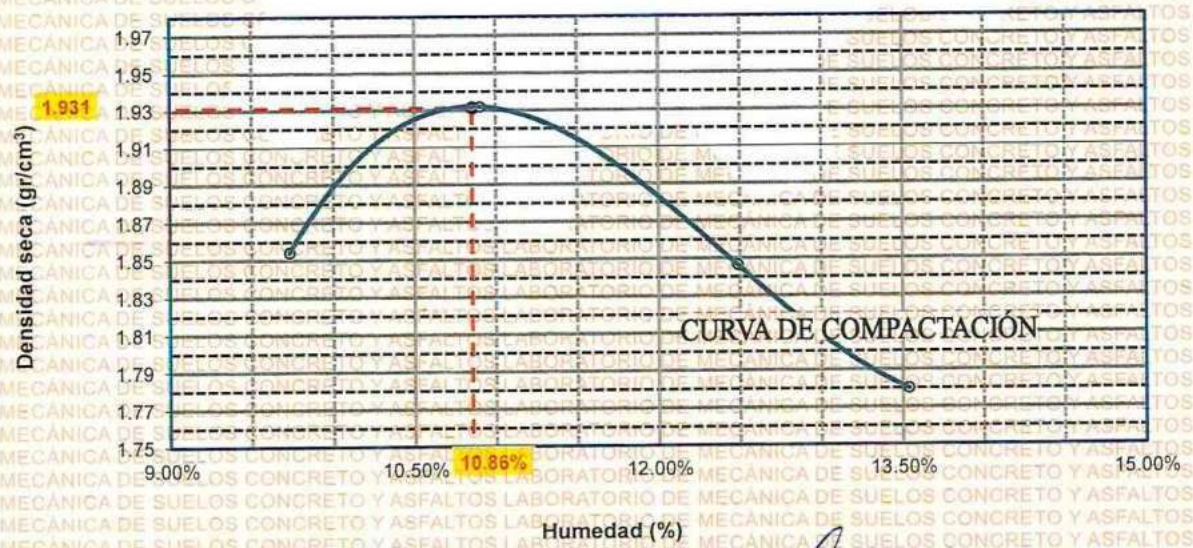
MOLDE No	:	1	VOLUMEN DEL MOLDE	:	2142 cm <sup>3</sup>
No DE CAPAS	:	5	GOLPES POR CAPA	:	56 golpes

Peso Suelo Humedo + Molde	gr.	10223	10454	10314	10194
Peso del Molde	gr.	5865	5865	5865	5865
Peso del Suelo Húmedo	gr/cm <sup>3</sup> .	4358	4589	4449	4329
Densidad del Suelo Humedo	gr/cm <sup>3</sup> .	2.035	2.142	2.077	2.021

Capsula No	No	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.
Suelo Humedo + Capsula	gr.	340.00	340.30	360.10	360.80	400.30	400.80	245.70	245.60
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	315.60	315.80	331.20	331.40	363.10	363.50	224.10	224.00
Peso del Agua	gr.	24.40	24.50	28.90	29.40	37.20	37.30	21.60	21.60
Peso de la Capsula	gr.	64.00	65.00	64.00	64.00	65.00	65.00	64.00	65.00
Peso del Suelo Seco	gr.	251.60	250.80	267.20	267.40	298.10	298.50	160.10	159.00
% de Humedad	%	9.70%	9.77%	10.82%	10.99%	12.48%	12.50%	13.49%	13.58%
<b>Promedio de Humedad</b>	%	9.73%		10.91%		12.49%		13.54%	
<b>Densidad del Suelo Seco</b>	%	1.854		1.932		1.846		1.780	

METODO:	ASTM D - 1557	MAXIMA DENSIDAD SECA	:	1.931 gr/cm <sup>3</sup>
	MODIFICADO "C"	HUMEDAD OPTIMA	:	10.86%

### RELACIÓN HUMEDAD - DENSIDAD



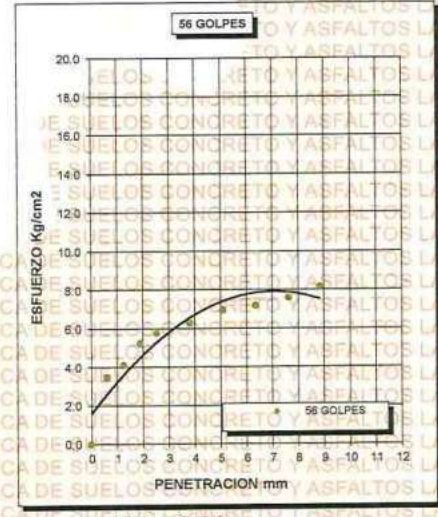
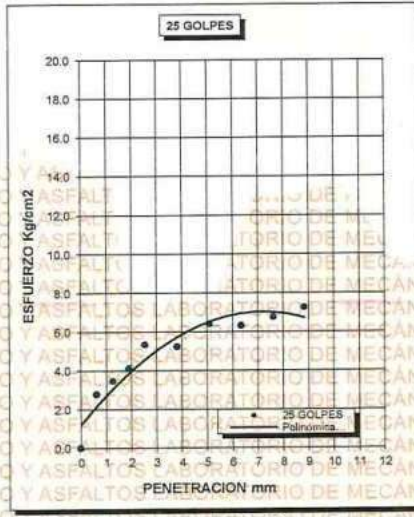
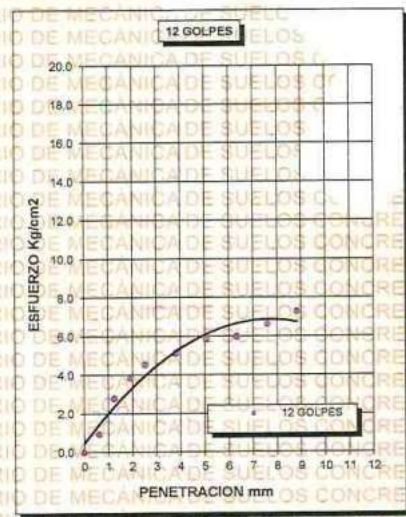
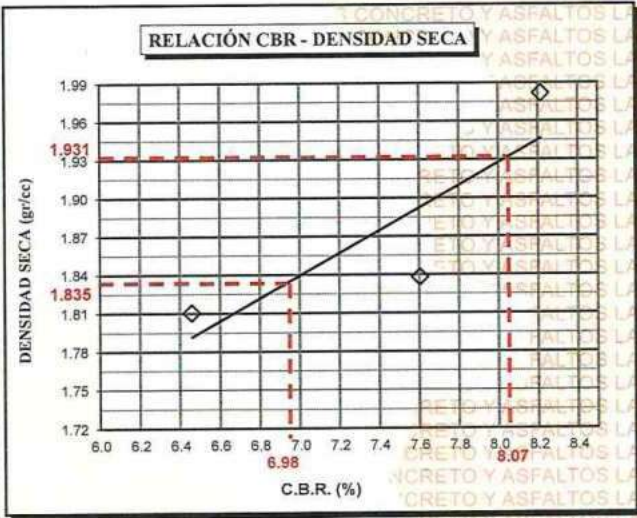
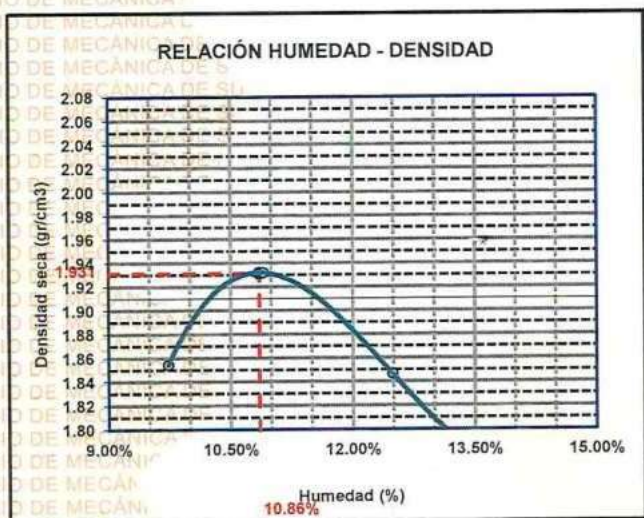
*[Signature]*  
 Ing. Arnaldo Yana Torres  
 CIP. 103257



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS



<b>PROYECTO :</b> IMPACTO DE LA INCLUSIÓN DE CENIZA DE MALEZAS Y CENIZA DE LEÑA DE CIPRÉS EN CANTIDADES PROGRESIVAS SOBRE LAS PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE DE LA CARRETERA PALCA – VILAVILA 2024	<b>METODO DE COMPACTACIÓN ASTM D1557-91</b>
<b>SOLICITADO :</b> BACHILLER MILAN LEONIDAS ITO PACORI	<b>MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm<sup>3</sup>.)</b> 1.931 <b>HUMEDAD OPTIMA (%)</b> 10.86% <b>CBR AL 100 DE M.D.S. (%)</b> 8.07 <b>CBR AL 95% DE M.D.S. (%)</b> 6.98
<b>UBICACIÓN :</b> PALCA-VILA VILA	<b>AASHTO :</b>
<b>MUESTRA :</b> SUELO NATURAL - CALICATA - 03	<b>EMBEBIDO :</b>
<b>FECHA :</b> 16 DE JULIO DEL 2024	



Arnaldo Yana Torres  
 M.S.C.A. JEFATURA  
 LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS  
 UANCV - JULIACA  
 CIP-103257



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
 FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS  
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL  
 LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS

### ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

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

TESIS	: IMPACTO DE LA INCLUSIÓN DE CENIZA DE MALEZAS Y CENIZA DE LENA DE CIPRES EN CANTIDADES PROGRESIVAS SOBRE LAS PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE DE LA CARRETERA PALCA – VILAVILA 2024
SOLICITANTE	: BACHILLER MILAN LEONIDAS ITO PACORI
UBICACIÓN	: PALCA-VILA VILA
MUESTRA	: MUESTRA CON 6% DE CENIZA DE MALEZAS
FECHA	: 16 DE JULIO DEL 2024

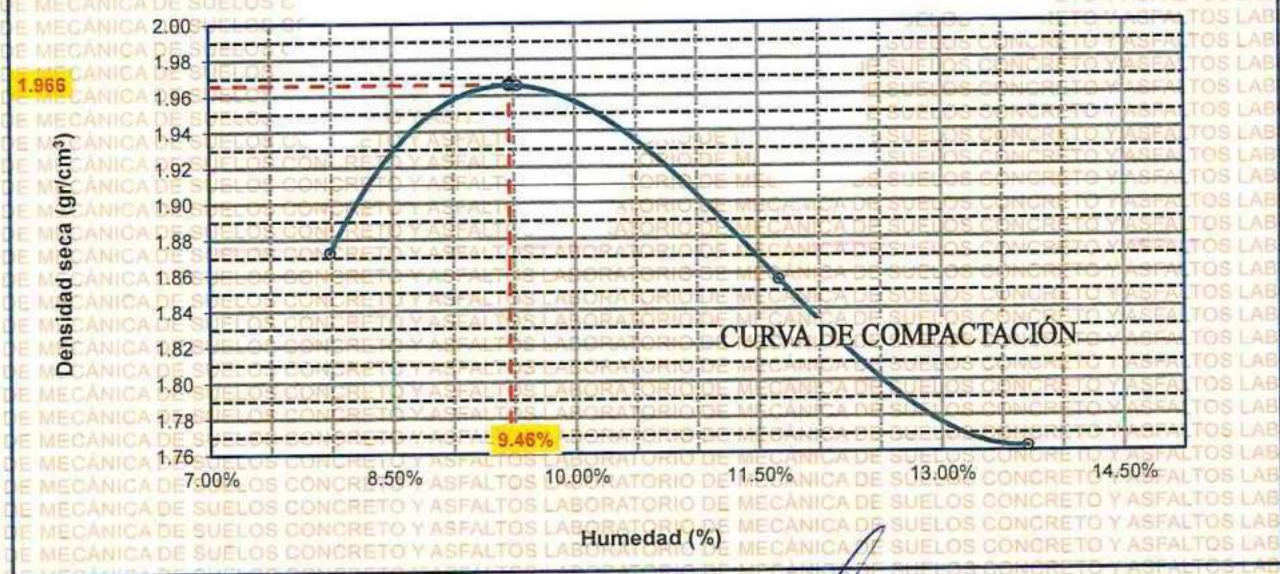
MOLDE No	: 1	VOLUMEN DEL MOLDE	: 2121 cm <sup>3</sup>
No DE CAPAS	: 5	GOLPES POR CAPA	: 56 golpes

Peso Suelo Humedo + Molde	gr.	10154	10431	10262	10116
Peso del Molde	gr.	5865	5865	5865	5865
Peso del Suelo Húmedo	gr/cm <sup>3</sup> .	4289	4566	4397	4251
Densidad del Suelo Humedo	gr/cm <sup>3</sup> .	2.022	2.153	2.073	2.004

Capsula No	No	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.
Suelo Humedo + Capsula	gr.	337.00	337.00	352.50	353.60	403.20	403.40	247.20	246.80
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	316.50	317.20	327.20	328.60	367.70	368.20	225.20	224.80
Peso del Agua	gr.	20.50	19.80	25.30	25.00	35.50	35.20	22.00	22.00
Peso de la Capsula	gr.	64.00	65.00	64.00	64.00	65.00	65.00	64.00	65.00
Peso del Suelo Seco	gr.	252.50	252.20	263.20	264.60	302.70	303.20	161.20	159.80
% de Humedad	%	8.12%	7.85%	9.61%	9.45%	11.73%	11.61%	13.65%	13.77%
Promedio de Humedad	%	7.98%		9.53%		11.67%		13.71%	
Densidad del Suelo Seco	%	1.873		1.965		1.856		1.763	

METODO:	ASTM D - 1557	MAXIMA DENSIDAD SECA	: 1.966 gr/cm <sup>3</sup>
	MODIFICADO "C"	HUMEDAD OPTIMA	: 9.46%

### RELACIÓN HUMEDAD - DENSIDAD



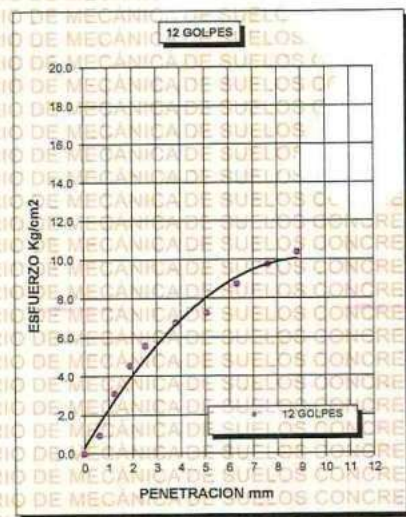
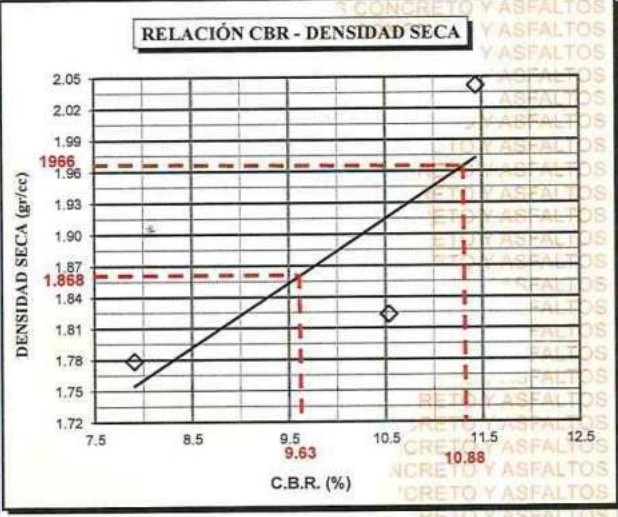
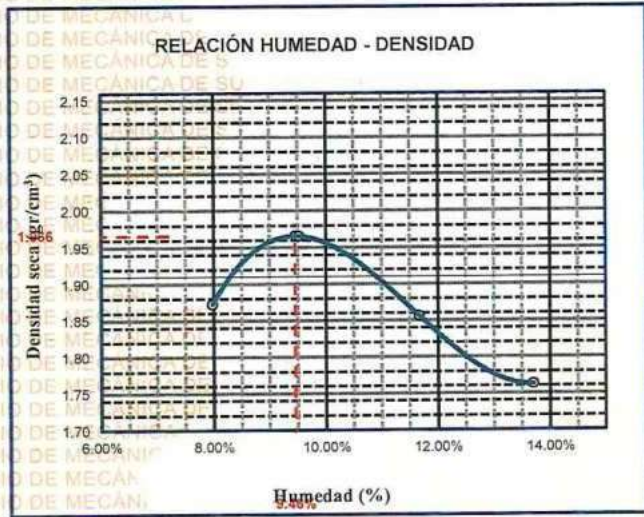
UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL  
 LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS  
 M.S.C.A. JEFATURA  
 Mgtr. Almatzo Yana Torres



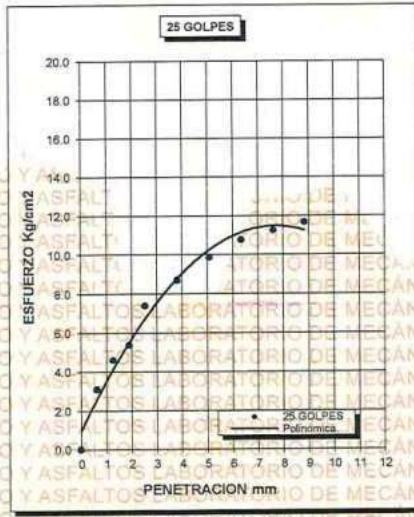
**UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"**  
**FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**  
**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS**



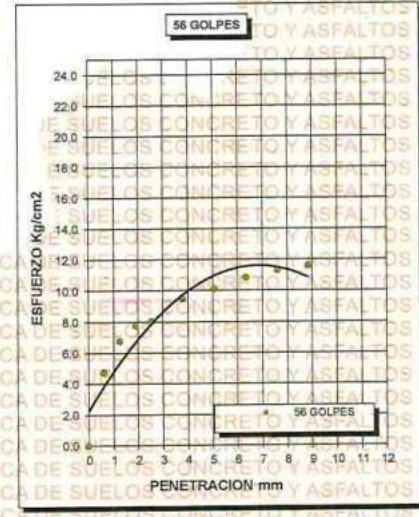
<b>PROYECTO :</b> IMPACTO DE LA INCLUSIÓN DE CENIZA DE MALEZAS Y CENIZA DE LEÑA DE CIPRÉS EN CANTIDADES PROGRESIVAS SOBRE LAS PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE DE LA CARRETERA PALCA – VILAVILA 2024	<b>METODO DE COMPACTACIÓN ASTM D1557-91</b>
<b>SOLICITADO :</b> BACHILLER MILAN LEONIDAS ITO PACORI	<b>MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm<sup>3</sup>.)</b> 1.966
<b>UBICACIÓN :</b> PALCA-VILA VILA	<b>HUMEDAD OPTIMA (%)</b> 9.46%
<b>MUESTRA :</b> MUESTRA CON 6% DE CENIZAS DE MALEZAS	<b>CBR AL 100 DE M.D.S. (%)</b> 10.88
<b>FECHA :</b> 16 DE JULIO DEL 2024	<b>CBR AL 95% DE M.D.S. (%)</b> 9.63
	<b>AASHTO :</b>
	<b>EMBEBIDO :</b>



CBR 7.91



CBR 10.53



CBR 11.44

UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
E.I.C.P. - C.A.P. INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIO M.S.C.A. JEFATURA  
- JULIACA -  
*Mtro. Arnaldo Yana Torres*  
CIP 103257



**UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"**  
**FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**  
**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS**



### ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

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

<b>TESIS</b>	: IMPACTO DE LA INCLUSIÓN DE CENIZA DE MALEZAS Y GENIZA DE LEÑA DE CIPRES EN CANTIDADES PROGRESIVAS SOBRE LAS PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE DE LA CARRETERA PALCA – VILAVILA 2024
<b>SOLICITANTE</b>	: BACHILLER MILAN LEONIDAS ITO PACORI
<b>UBICACIÓN</b>	: PALCA-VILA VILA
<b>MUESTRA</b>	: MUESTRA CON 12% DE CENIZA DE MALEZAS
<b>FECHA</b>	: 16 DE JULIO DEL 2024

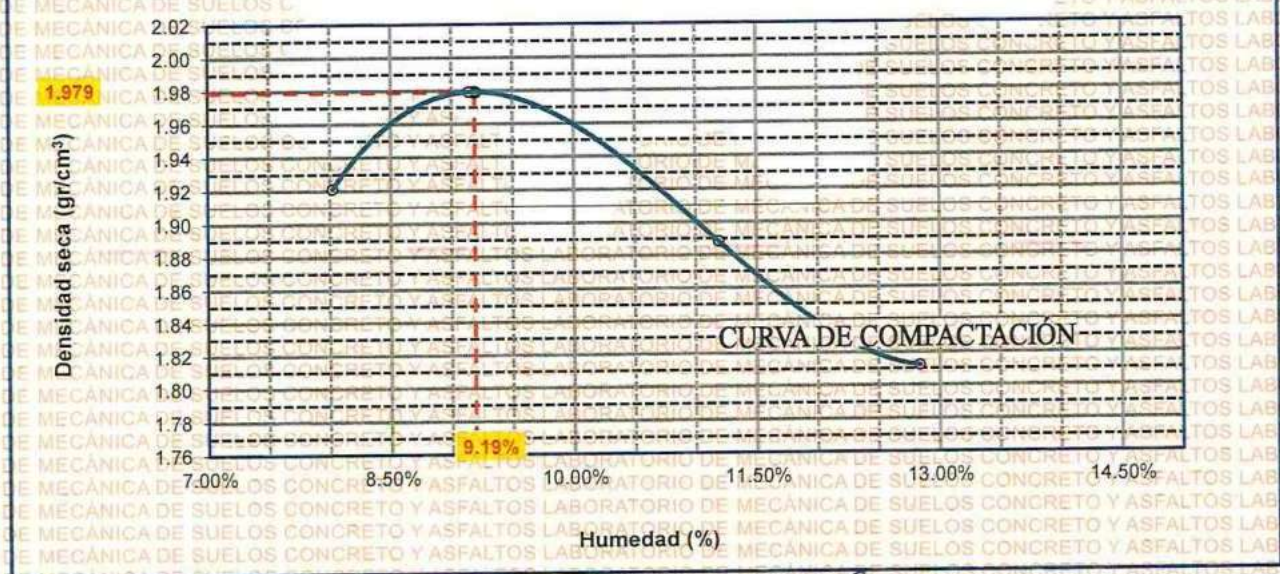
<b>MOLDE No</b>	: 1	<b>VOLUMEN DEL MOLDE</b>	: 2123 cm <sup>3</sup>
<b>No DE CAPAS</b>	: 5	<b>GOLPES POR CAPA</b>	: 56 golpes

<b>Peso Suelo Humedo + Molde</b>	gr.	10271	10451	10322	10206
<b>Peso del Molde</b>	gr.	5865	5865	5865	5865
<b>Peso del Suelo Húmedo</b>	gr/cm <sup>3</sup> .	4406	4586	4457	4341
<b>Densidad del Suelo Humedo</b>	gr/cm <sup>3</sup> .	2.075	2.160	2.099	2.045

Capsula No	No	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.
<b>Suelo Humedo + Capsula</b>	gr.	339.40	339.00	355.20	355.40	391.40	390.40	245.20	245.00
<b>Peso del Suelo Seco + Capsula</b>	gr.	319.50	318.10	330.90	330.90	358.10	358.10	224.20	224.90
<b>Peso del Agua</b>	gr.	19.90	20.90	24.30	24.50	33.30	32.30	21.00	20.10
<b>Peso de la Capsula</b>	gr.	64.00	65.00	64.00	64.00	65.00	65.00	64.00	65.00
<b>Peso del Suelo Seco</b>	gr.	255.50	253.10	266.90	266.90	293.10	293.10	160.20	159.90
<b>% de Humedad</b>	%	7.79%	8.26%	9.10%	9.18%	11.36%	11.02%	13.11%	12.57%
<b>Promedio de Humedad</b>	%	8.02%		9.14%		11.19%		12.84%	
<b>Densidad del Suelo Seco</b>	%	1.921		1.979		1.888		1.812	

<b>METODO:</b>	ASTM D - 1557	<b>MAXIMA DENSIDAD SECA</b>	: 1.979 gr/cm <sup>3</sup>
	MODIFICADO "C"	<b>HUMEDAD OPTIMA</b>	: 9.19%

### RELACIÓN HUMEDAD - DENSIDAD



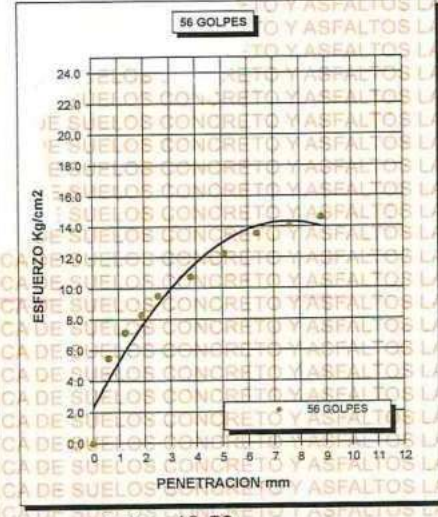
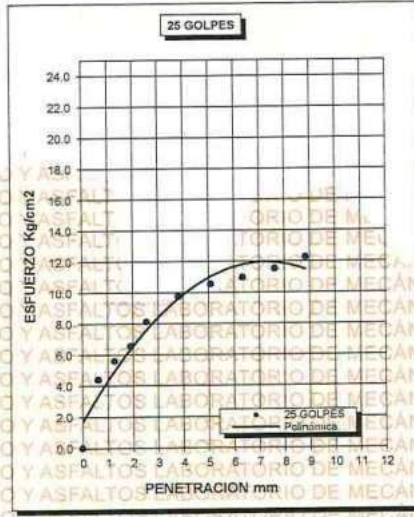
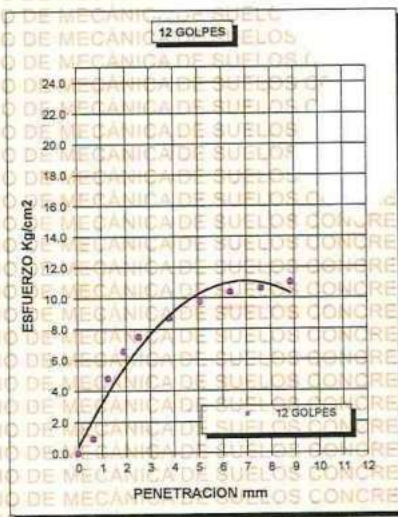
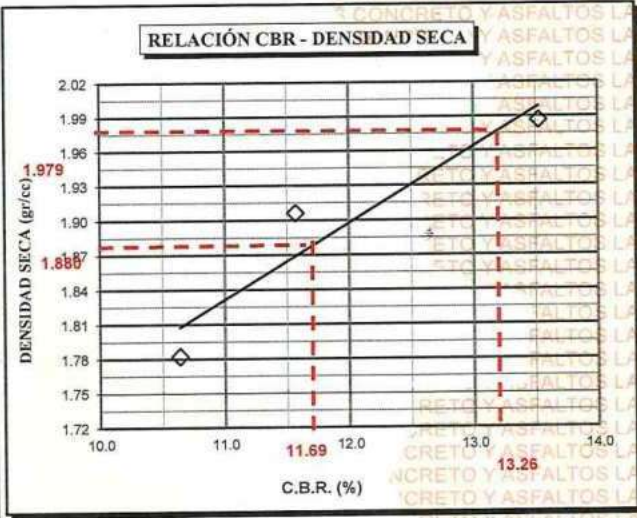
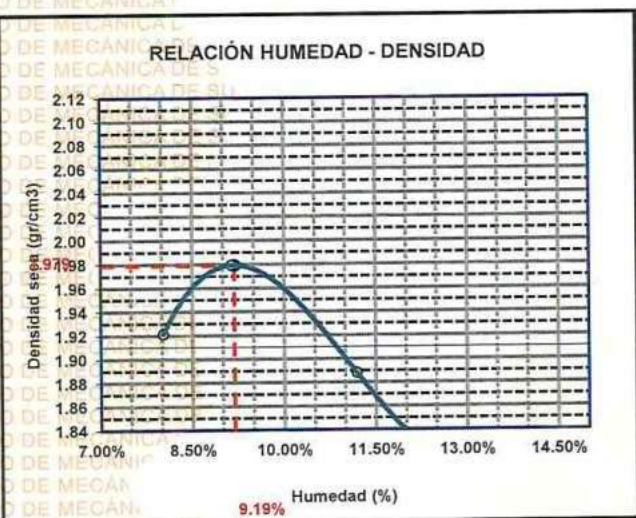
  
 M.S.C.A.  
 JEFATARIO  
 Ing. Arivaldo Yana



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS



<b>PROYECTO :</b>	IMPACTO DE LA INCLUSIÓN DE CENIZA DE MALEZAS Y CENIZA DE LEÑA DE CIPRÉS EN CANTIDADES PROGRESIVAS SOBRE LAS PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE DE LA CARRETERA PALCA - VILAVILA 2024	<b>METODO DE COMPACTACIÓN ASTM D1557-91</b>
<b>SOLICITADO :</b>	BACHILLER MILAN LEONIDAS ITO PACORI	<b>MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm<sup>3</sup>):</b> 1.979
<b>UBICACIÓN :</b>	PALCA-VILA VILA	<b>HUMEDAD OPTIMA (%):</b> 9.19%
<b>MUESTRA :</b>	MUESTRA CON 12% DE CENIZA DE MALEZAS	<b>CBR AL 100 DE M.D.S. (%):</b> 13.26
<b>FECHA :</b>	16 DE JULIO DEL 2024	<b>CBR AL 95% DE M.D.S. (%):</b> 11.69
		<b>AASHTO :</b>
		<b>EMBEBIDO :</b>



LABORATORIO M.S.C.A. JEFEATURA JULIACA

UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ" FAC. P. CAP. INGENIERÍA CIVIL

Mtro. Aníbal Lara Torres



### ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

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

TESIS	: IMPACTO DE LA INCLUSIÓN DE CENIZA DE MALEZAS Y CENIZA DE LEÑA DE CIPRÉS EN CANTIDADES PROGRESIVAS SOBRE LAS PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE DE LA CARRETERA PALCA – VILAVILA 2024
SOLICITANTE	: BACHILLER MILAN LEONIDAS ITO PACORI
UBICACIÓN	: PALCA-VILA VILA
MUESTRA	: MUESTRA CON 6% DE CENIZA DE LEÑA DE CIPRÉS
FECHA	: 16 DE JULIO DEL 2024

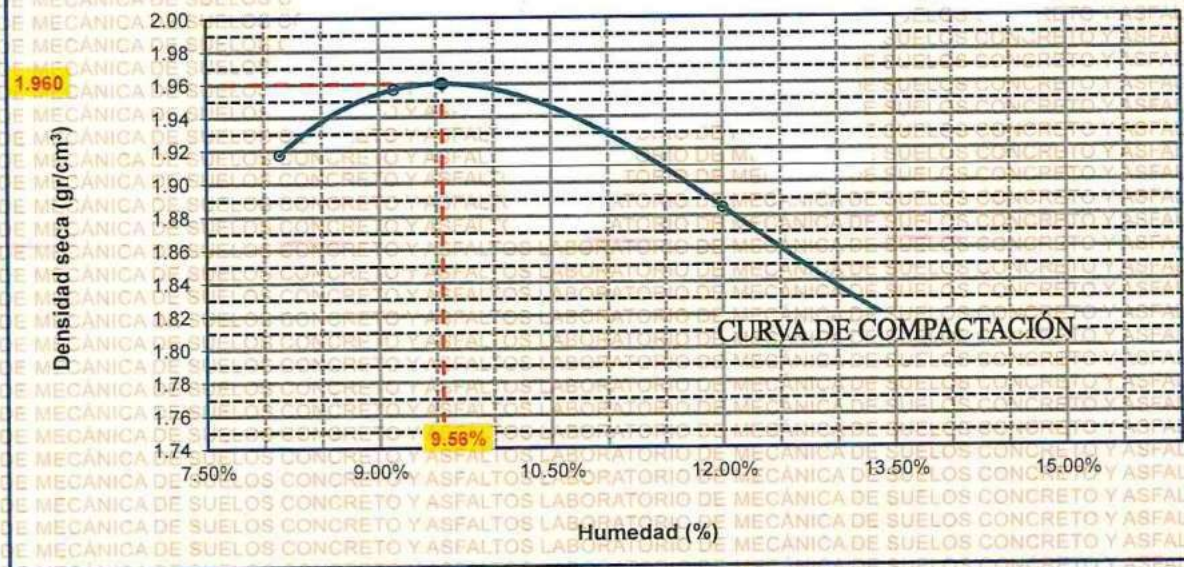
MOLDE No	: 1	VOLUMEN DEL MOLDE	: 2139 cm <sup>3</sup>
No DE CAPAS	: 5	GOLPES POR CAPA	: 56 golpes

Peso Suelo Humedo + Molde	gr.	10300	10433	10380	10270
Peso del Molde	gr.	5865	5865	5865	5865
Peso del Suelo Húmedo	gr/cm <sup>3</sup> .	4435	4568	4515	4405
Densidad del Suelo Humedo	gr/cm <sup>3</sup> .	2.073	2.136	2.111	2.059

Capsula No	No	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.
Suelo Humedo + Capsula	gr.	337.90	336.87	352.00	352.00	404.34	404.26	247.30	246.20
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	316.50	317.20	327.20	328.60	367.70	368.20	225.20	224.80
Peso del Agua	gr.	21.40	19.67	24.80	23.40	36.64	36.06	22.10	21.40
Peso de la Capsula	gr.	64.00	65.00	64.00	64.00	65.00	65.00	64.00	65.00
Peso del Suelo Seco	gr.	252.50	252.20	263.20	264.60	302.70	303.20	161.20	159.80
% de Humedad	%	8.48%	7.80%	9.42%	8.84%	12.10%	11.89%	13.71%	13.39%
Promedio de Humedad	%	8.14%		9.13%		12.00%		13.55%	
Densidad del Suelo Seco	%	1.917		1.957		1.885		1.814	

METODO:	ASTM D - 1557	MAXIMA DENSIDAD SECA	: 1.960 gr/cm <sup>3</sup>
	MODIFICADO "C"	HUMEDAD OPTIMA	: 9.56%

### RELACIÓN HUMEDAD - DENSIDAD



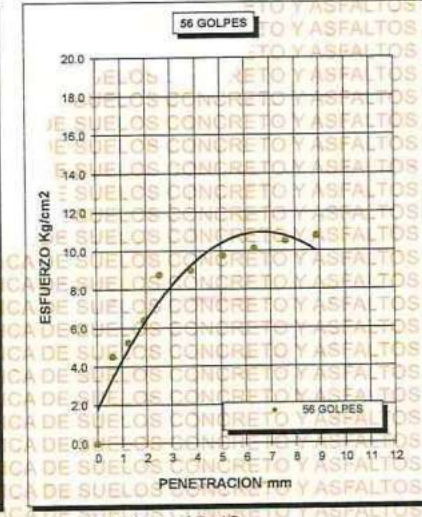
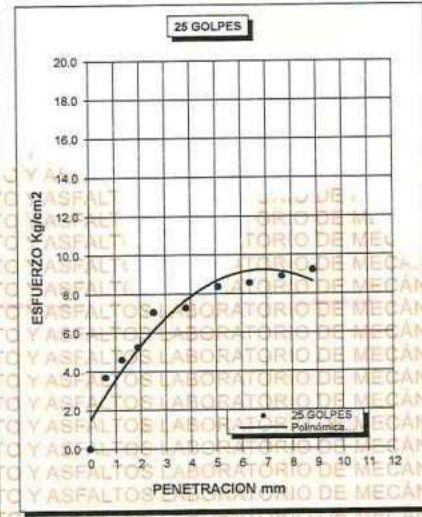
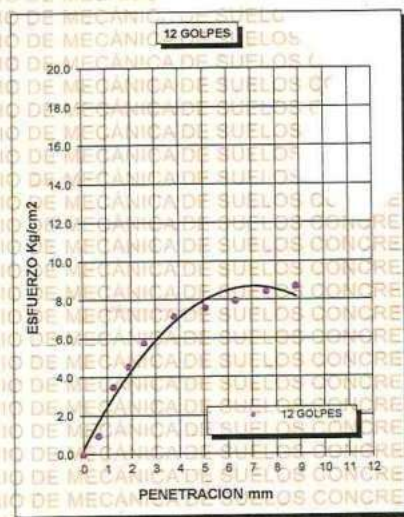
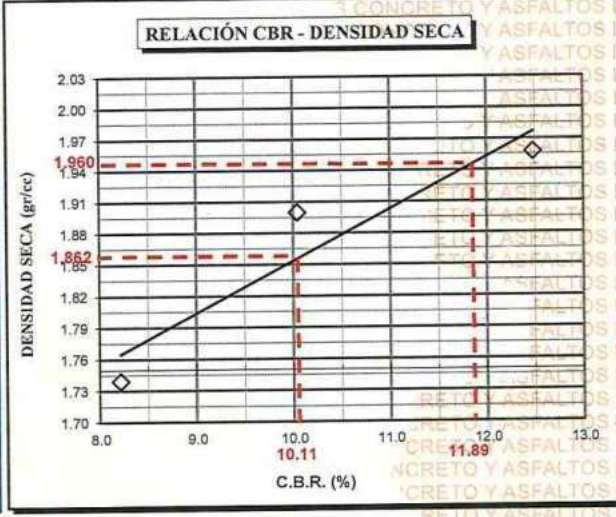
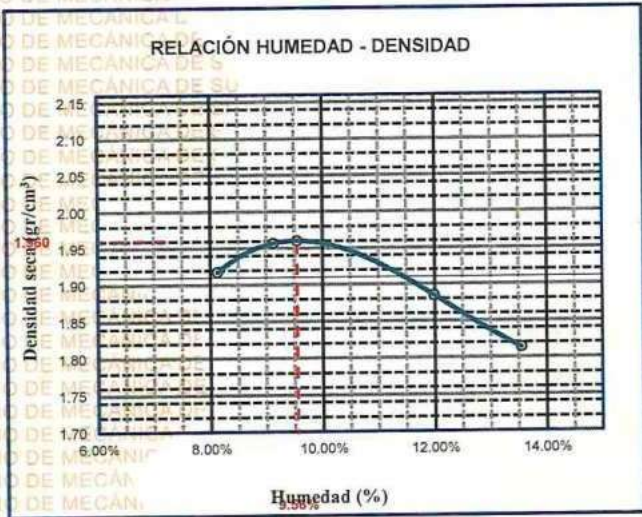
M.S.C.A.  
 Ing. Yanis Torres



**UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"**  
**FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**  
**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS**



<b>PROYECTO :</b>	IMPACTO DE LA INCLUSIÓN DE CENIZA DE MALEZAS Y CENIZA DE LEÑA DE CIPRÉS EN CANTIDADES PROGRESIVAS SOBRE LAS PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE DE LA CARRETERA PALCA – VILAVILA 2024	<b>METODO DE COMPACTACIÓN ASTM D1557-91</b>
<b>SOLICITADO :</b>	BACHILLER MILAN LEONIDAS ITO PACORI	<b>MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm<sup>3</sup>.)</b> 1.960
<b>UBICACIÓN :</b>	PALCA-VILA VILA	<b>HUMEDAD OPTIMA (%)</b> 9.56%
<b>MUESTRA :</b>	MUESTRA CON 6% DE CENIZA DE LEÑA DE CIPRÉS	<b>CBR AL 100 DE M.D.S. (%)</b> 11.89
<b>FECHA :</b>	16 DE JULIO DEL 2024	<b>CBR AL 95% DE M.D.S. (%)</b> 10.11
		<b>AASHTO :</b>
		<b>EMBEBIDO :</b>



CBR 8.21

CBR 10.05

CBR 12.49

*[Signature]*

LABORATORIO M.S.C.A. JULIACA

Ing. Milán Leonidas Ito Pacori



**UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"**  
**FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**  
**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS**

## ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

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

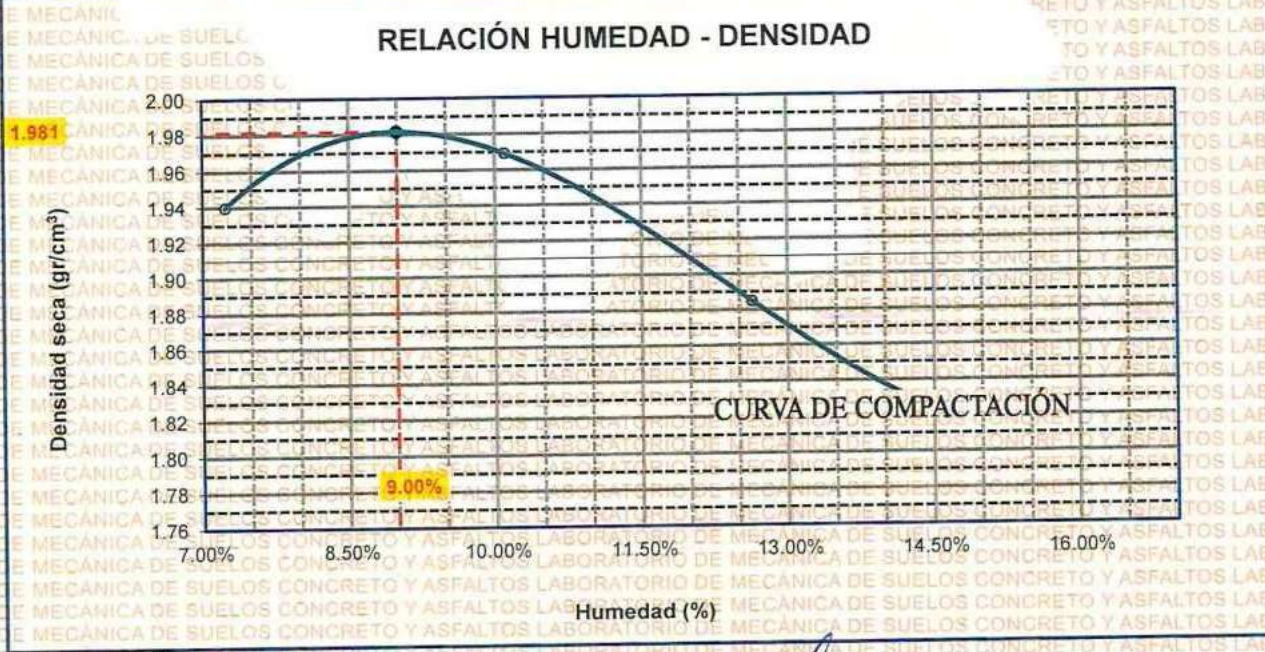
<b>TESIS</b>	: IMPACTO DE LA INCLUSIÓN DE CENIZA DE MALEZAS Y GENIZA DE LEÑA DE CIPRÉS EN CANTIDADES PROGRESIVAS SOBRE LAS PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE DE LA CARRETERA PALCA – VILAVILA 2024
<b>SOLICITANTE</b>	: BACHILLER MILAN LEONIDAS ITO PACORI
<b>UBICACIÓN</b>	: PALCA-VILA VILA
<b>MUESTRA</b>	: MUESTRA CON 12% DE CENIZA DE LEÑA DE CIPRÉS
<b>FECHA</b>	: 16 DE JULIO DEL 2024

<b>MOLDE No</b>	: 1	<b>VOLUMEN DEL MOLDE</b>	: 2136 cm <sup>3</sup>
<b>No DE CAPAS</b>	: 5	<b>GOLPES POR CAPA</b>	: 56 golpes

Peso Suelo Humedo + Molde	gr.	10308	10496	10400	10324
Peso del Molde	gr.	5865	5865	5865	5865
Peso del Suelo Húmedo	gr/cm <sup>3</sup> .	4443	4631	4535	4459
Densidad del Suelo Humedo	gr/cm <sup>3</sup> .	2.080	2.168	2.123	2.088

Capsula No	No	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.
Suelo Humedo + Capsula	gr.	336.00	337.20	358.30	358.20	395.10	396.40	248.20	249.10
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	318.60	317.90	331.60	330.90	358.10	359.20	225.50	224.80
Peso del Agua	gr.	17.40	19.30	26.70	27.30	37.00	37.20	22.70	24.30
Peso de la Capsula	gr.	64.00	65.00	64.00	64.00	65.00	65.00	64.00	65.00
Peso del Suelo Seco	gr.	254.60	252.90	267.60	266.90	293.10	294.20	161.50	159.80
% de Humedad	%	6.83%	7.63%	9.98%	10.23%	12.62%	12.64%	14.06%	15.21%
<b>Promedio de Humedad</b>	%	7.23%		10.10%		12.63%		14.63%	
<b>Densidad del Suelo Seco</b>	%	1.940		1.969		1.885		1.821	

<b>METODO:</b>	ASTM D - 1557	<b>MAXIMA DENSIDAD SECA</b>	: 1.981 gr/cm <sup>3</sup>
	MODIFICADO "C"	<b>HUMEDAD OPTIMA</b>	: 9.00%



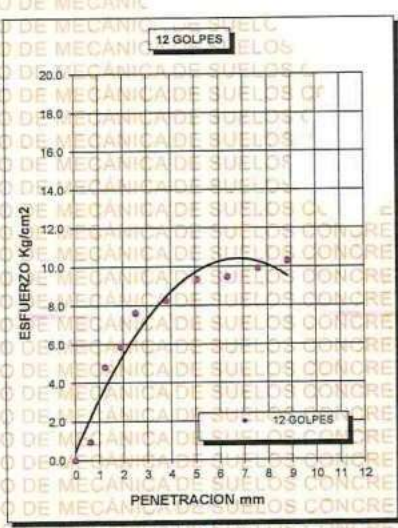
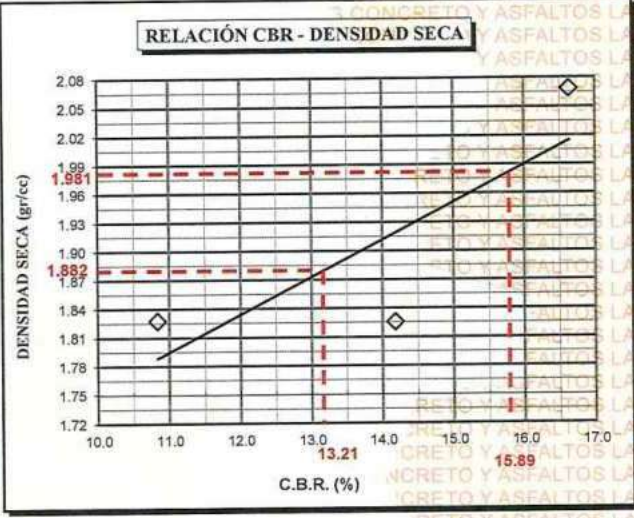
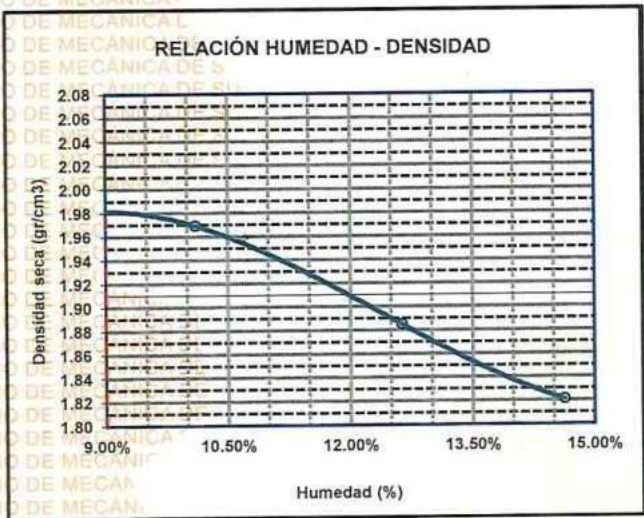
**LABORATORIO M.S.C.A.**
  
**JEFE LABORATORIO**
  
**M.Sc. Arnaldo Yana T.**



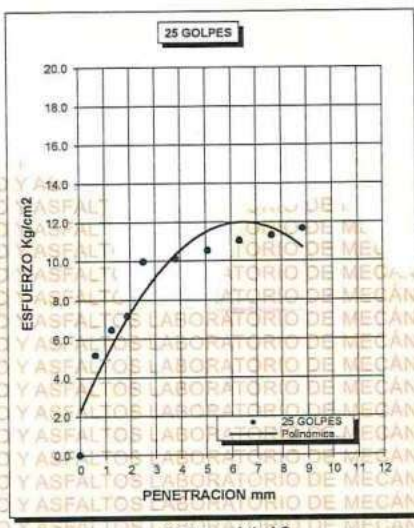
**UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"**  
**FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**  
**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS**



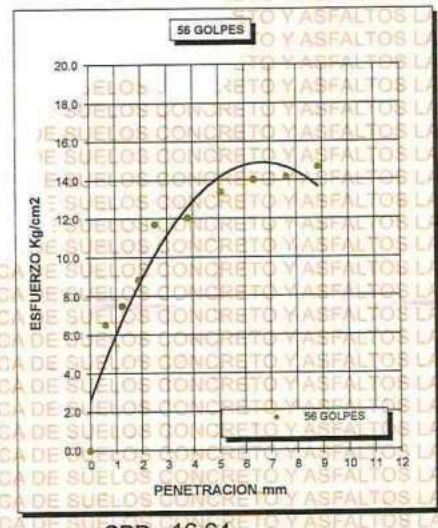
<b>PROYECTO :</b>	IMPACTO DE LA INCLUSIÓN DE CENIZA DE MALEZAS Y CENIZA DE LEÑA DE CIPRÉS EN CANTIDADES PROGRESIVAS SOBRE LAS PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE DE LA CARRETERA PALCA – VILAVILA 2024	<b>METODO DE COMPACTACIÓN ASTM D1557-91</b>
<b>SOLICITADO :</b>	BACHILLER MILAN LEONIDAS ITO PACORI	<b>MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm<sup>3</sup>.)</b> 1.981
<b>UBICACIÓN :</b>	PALCA-VILA VILA	<b>HUMEDAD OPTIMA (%)</b> 9.00%
<b>MUESTRA :</b>	MUESTRA CON 12% DE CENIZA DE LEÑA DE CIPRÉS	<b>CBR AL 100 DE M.D.S. (%)</b> 15.89
<b>FECHA :</b>	16 DE JULIO DEL 2024	<b>CBR AL 95% DE M.D.S. (%)</b> 13.21
		<b>AASHTO :</b>
		<b>EMBEBIDO :</b>



CBR 10.84



CBR 14.18



CBR 16.64

LABORATORIO M.S.C.A.  
  
 M.Sc. A. Yano



### ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

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

TESIS	: IMPACTO DE LA INCLUSIÓN DE CENIZA DE MALEZAS Y CENIZA DE LEÑA DE CIPRES EN CANTIDADES PROGRESIVAS SOBRE LAS PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE DE LA CARRETERA PALCA - VILAVILA 2024
SOLICITANTE	: BACHILLER MILAN LEONIDAS ITO PACORI
UBICACIÓN	: PALCA-VILA VILA
MUESTRA	: MUESTRA CON 20% DE CENIZA DE LEÑA DE CIPRÉS
FECHA	: 16 DE JULIO DEL 2024

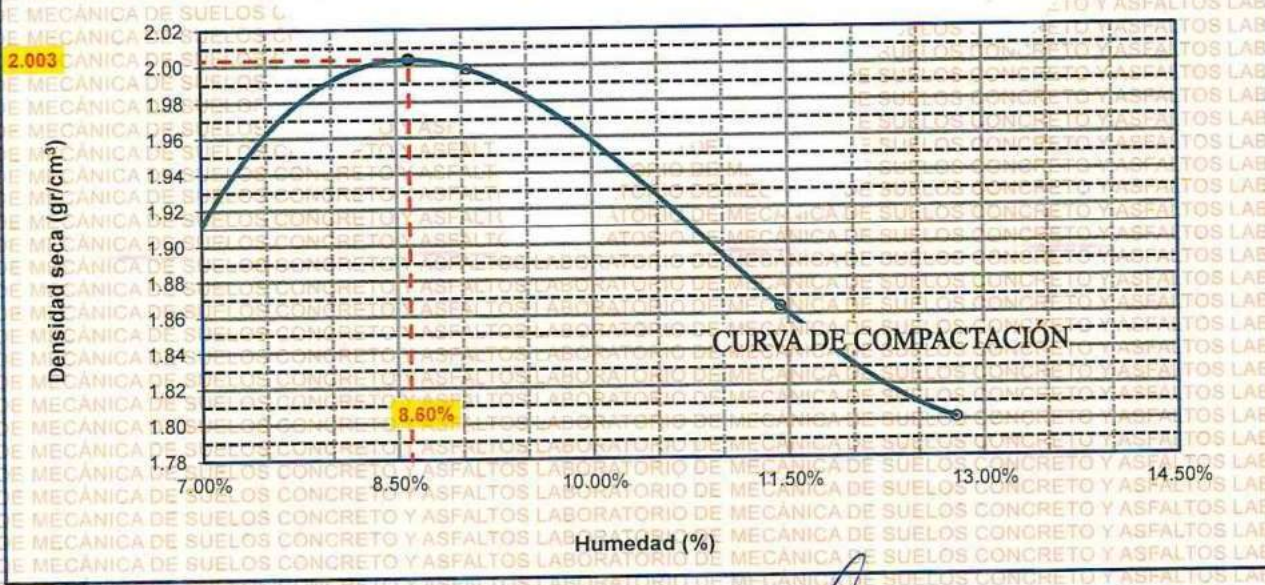
MOLDE No	: 1	VOLUMEN DEL MOLDE	: 2139 cm <sup>3</sup>
No DE CAPAS	: 5	GOLPES POR CAPA	: 56 golpes

Peso Suelo Humedo + Molde	gr.	10219	10525	10309	10211
Peso del Molde	gr.	5865	5865	5865	5865
Peso del Suelo Húmedo	gr/cm <sup>3</sup> .	4354	4660	4444	4346
Densidad del Suelo Humedo	gr/cm <sup>3</sup> .	2.036	2.179	2.078	2.032

Capsula No	No	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.
Suelo Humedo + Capsula	gr.	340.20	340.20	361.60	362.04	405.20	406.60	247.20	248.70
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	322.10	322.50	337.20	337.10	370.10	371.50	227.10	227.20
Peso del Agua	gr.	18.10	17.70	24.40	24.94	35.10	35.10	20.10	21.50
Peso de la Capsula	gr.	64.20	64.50	64.50	64.20	64.00	64.00	64.00	65.00
Peso del Suelo Seco	gr.	257.90	258.00	272.70	272.90	306.10	307.50	163.10	162.20
% de Humedad	%	7.02%	6.86%	8.95%	9.14%	11.47%	11.41%	12.32%	13.26%
Promedio de Humedad	%	6.94%		9.04%		11.44%		12.79%	
Densidad del Suelo Seco	%	1.903		1.998		1.864		1.801	

METODO:	ASTM D - 1557	MAXIMA DENSIDAD SECA	: 2.003 gr/cm <sup>3</sup>
	MODIFICADO "C"	HUMEDAD OPTIMA	: 8.60%

### RELACIÓN HUMEDAD - DENSIDAD



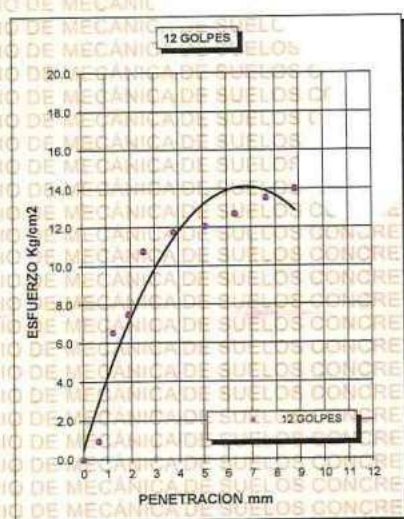
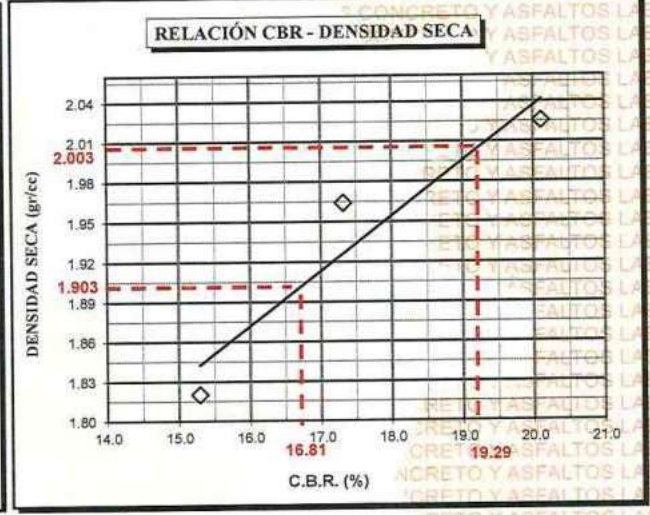
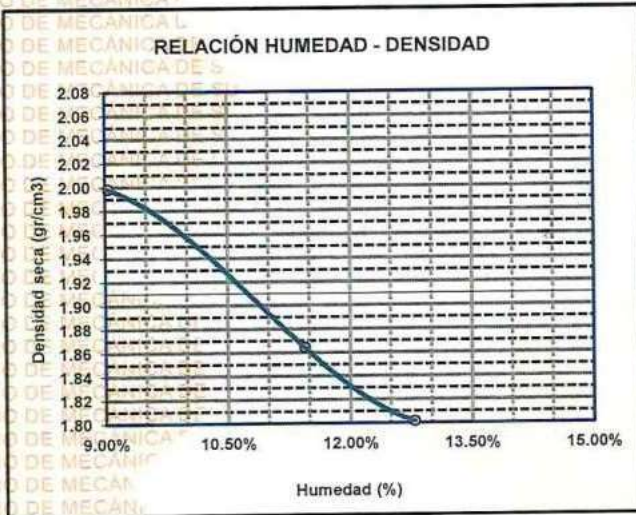
*[Signature]*  
 M.Sc.A. JEFATURA  
 LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS  
 UANCV - JULIACA



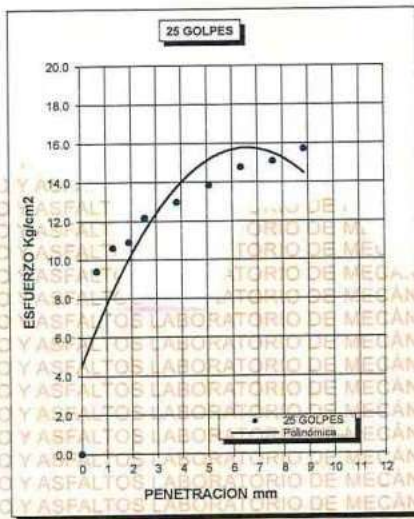
UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS



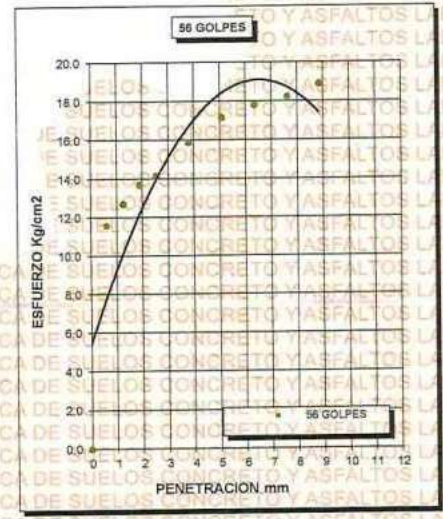
<b>PROYECTO :</b>	IMPACTO DE LA INCLUSIÓN DE CENIZA DE MALEZAS Y CENIZA DE LEÑA DE CIPRÉS EN CANTIDADES PROGRESIVAS SOBRE LAS PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE DE LA CARRETERA PALCA - VILAVILA 2024	<b>METODO DE COMPACTACIÓN ASTM D1557-91</b>	
<b>SOLICITADO :</b>	BACHILLER MILAN LEONIDAS ITO PACORI	<b>MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm<sup>3</sup>.)</b>	2.003
<b>UBICACIÓN :</b>	PALCA-VILA VILA	<b>HUMEDAD OPTIMA (%)</b>	8.60%
<b>MUESTRA :</b>	MUESTRA CON 20% DE CENIZA DE LEÑA DE CIPRÉS	<b>CBR AL 100 DE M.D.S. (%)</b>	19.29
<b>FECHA :</b>	16 DE JULIO DEL 2024	<b>CBR AL 95% DE M.D.S. (%)</b>	16.81
		<b>AASHTO :</b>	
		<b>EMBEBIDO :</b>	



CBR 15.30



CBR 17.32



CBR 20.12



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
FICP - C.P. INGENIERÍA CIVIL

Mgtr. Arnaldo Yana Torres



### ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

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

<b>TESIS</b>	: IMPACTO DE LA INCLUSIÓN DE CENIZA DE MALEZAS Y CENIZA DE LENA DE CIPRES EN CANTIDADES PROGRESIVAS SOBRE LAS PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE DE LA CARRETERA PALCA - VILAVILA 2024
<b>SOLICITANTE</b>	: BACHILLER MILAN LEONIDAS ITO PACORI
<b>UBICACIÓN</b>	: PALCA-VILA VILA
<b>MUESTRA</b>	: MUESTRA CON 12% DE CENIZA DE MALEZAS
<b>FECHA</b>	: 16 DE JULIO DEL 2024

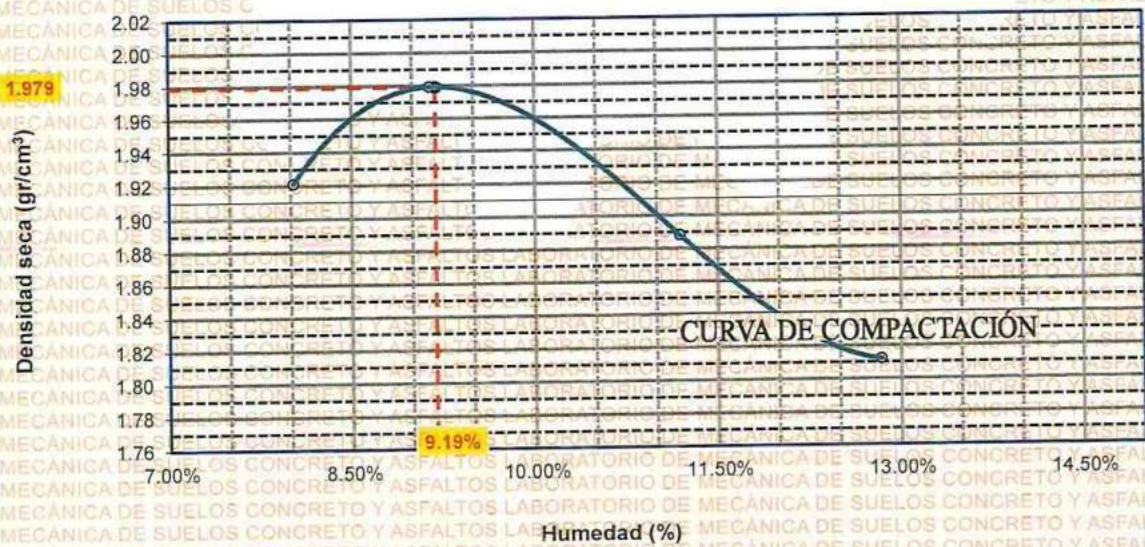
<b>MOLDE No</b>	: 1	<b>VOLUMEN DEL MOLDE</b>	: 2123 cm <sup>3</sup>
<b>No DE CAPAS</b>	: 5	<b>GOLPES POR CAPA</b>	: 56 golpes

Peso Suelo Humedo + Molde	gr.	10271	10451	10322	10206
Peso del Molde	gr.	5865	5865	5865	5865
Peso del Suelo Húmedo	gr/cm <sup>3</sup>	4406	4586	4457	4341
Densidad del Suelo Humedo	gr/cm <sup>3</sup>	2.075	2.160	2.099	2.045

Capsula No	No	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.
Suelo Humedo + Capsula	gr.	339.40	339.00	355.20	355.40	391.40	390.40	245.20	245.00
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	319.50	318.10	330.90	330.90	358.10	358.10	224.20	224.90
Peso del Agua	gr.	19.90	20.90	24.30	24.50	33.30	32.30	21.00	20.10
Peso de la Capsula	gr.	64.00	65.00	64.00	64.00	65.00	65.00	64.00	65.00
Peso del Suelo Seco	gr.	255.50	253.10	266.90	266.90	293.10	293.10	160.20	159.90
% de Humedad	%	7.79%	8.26%	9.10%	9.18%	11.36%	11.02%	13.11%	12.57%
<b>Promedio de Humedad</b>	%	8.02%		9.14%		11.19%		12.84%	
<b>Densidad del Suelo Seco</b>	%	1.921		1.979		1.888		1.812	

<b>METODO:</b>	ASTM D - 1557	<b>MAXIMA DENSIDAD SECA</b>	: 1.979 gr/cm <sup>3</sup>
	MODIFICADO "C"	<b>HUMEDAD OPTIMA</b>	: 9.19%

### RELACIÓN HUMEDAD - DENSIDAD



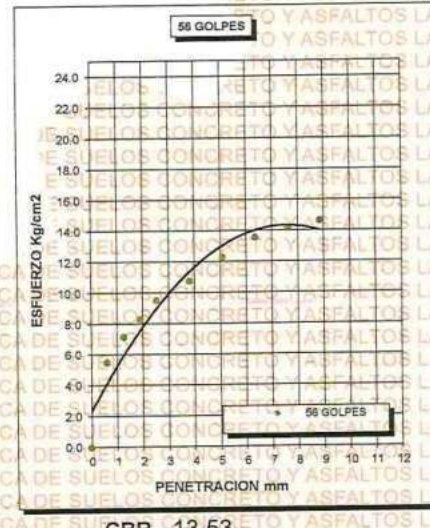
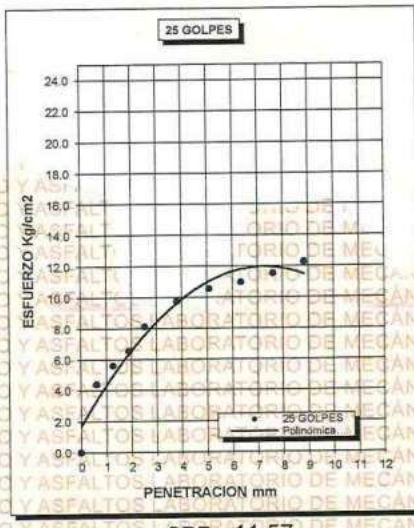
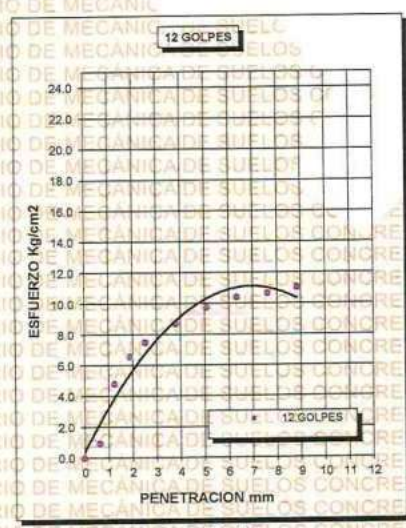
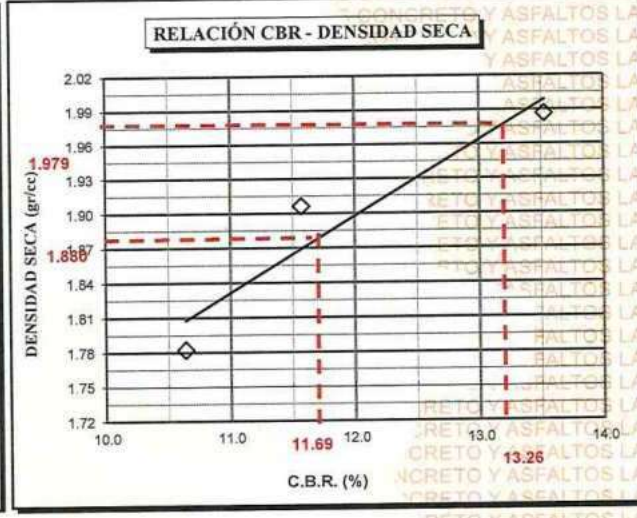
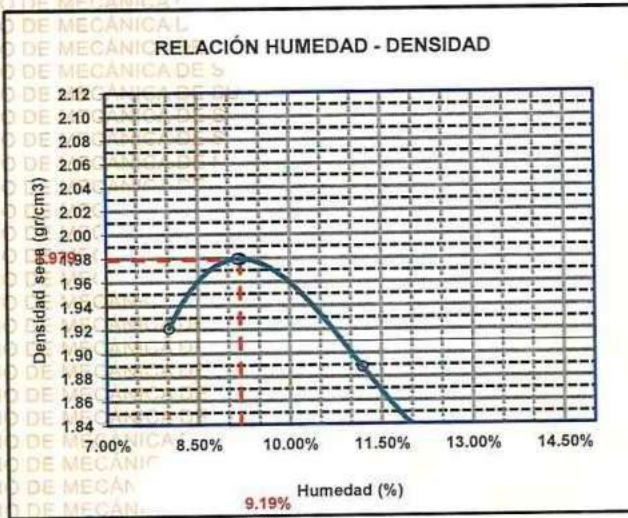
UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
 E.I.C.P. - CAP. INGENIERÍA CIVIL  
 LABORATORIO M.S.C.A. JEPATICA  
 Mtr. Arnaldo Yana Torres



**UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"**  
**FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**  
**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS**



<b>PROYECTO :</b>	IMPACTO DE LA INCLUSIÓN DE CENIZA DE MALEZAS Y CENIZA DE LEÑA DE CIPRÉS EN CANTIDADES PROGRESIVAS SOBRE LAS PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE DE LA CARRETERA PALCA – VILAVILA 2024	<b>METODO DE COMPACTACIÓN ASTM D1557-91</b>
<b>SOLICITADO :</b>	BACHILLER MILAN LEONIDAS ITO PACORI	<b>MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm<sup>3</sup>.)</b> 1.979
<b>UBICACIÓN :</b>	PALCA-VILA VILA	<b>HUMEDAD OPTIMA (%)</b> 9.19%
<b>MUESTRA :</b>	MUESTRA CON 12% DE CENIZA DE MALEZAS	<b>CBR AL 100 DE M.D.S. (%)</b> 13.26
<b>FECHA :</b>	16 DE JULIO DEL 2024	<b>CBR AL 95% DE M.D.S. (%)</b> 11.69
		<b>AASHTO :</b>
		<b>EMBEBIDO :</b>



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
FICP - CAP. INGENIERÍA CIVIL

M.S.C.A. IEFATURA

*Mgr. Arpalda Yana Torres*



### ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

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

<b>TESIS</b>	: IMPACTO DE LA INCLUSIÓN DE CENIZA DE MALEZAS Y CENIZA DE LENA DE CIPRÉS EN CANTIDADES PROGRESIVAS SOBRE LAS PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE DE LA CARRETERA PALCA - VILAVILA 2024
<b>SOLICITANTE</b>	: BACHILLER MILAN LEONIDAS ITO PACORDI
<b>UBICACIÓN</b>	: PALCA-VILA VILA
<b>MUESTRA</b>	: MUESTRA CON 20% DE CENIZA DE MALEZAS
<b>FECHA</b>	: 16 DE JULIO DEL 2024

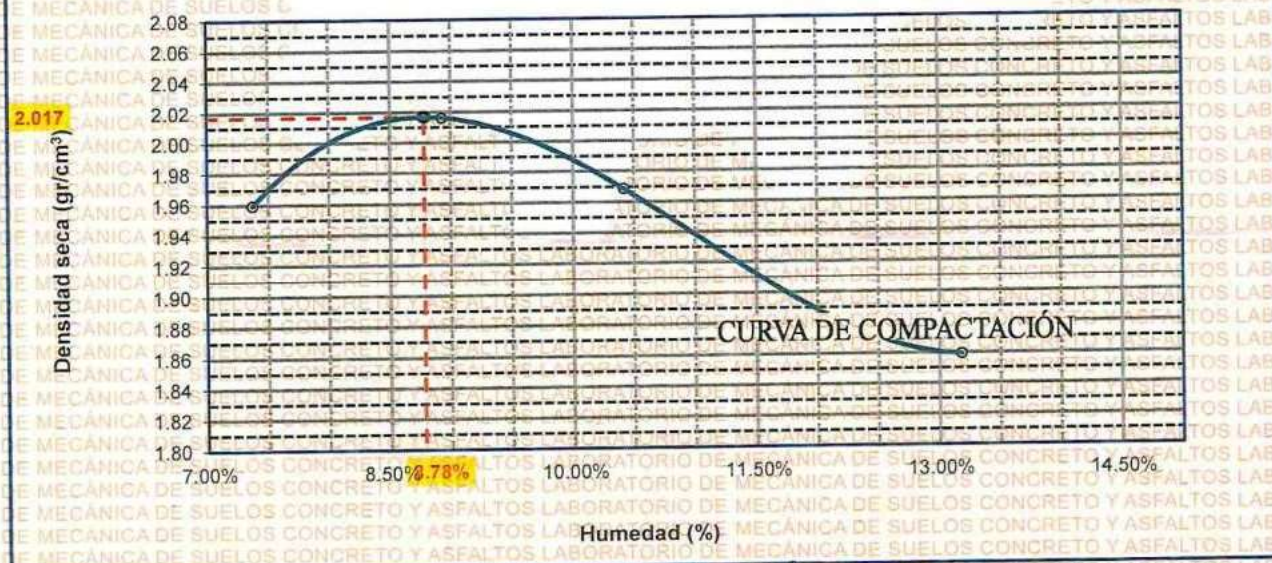
<b>MOLDE No</b>	: 1	<b>VOLUMEN DEL MOLDE</b>	: 2120 cm <sup>3</sup>
<b>No DE CAPAS</b>	: 5	<b>GOLPES POR CAPA</b>	: 56 golpes

Peso Suelo Humedo + Molde	gr.	10325	10521	10473	10326
Peso del Molde	gr.	5865	5865	5865	5865
Peso del Suelo Húmedo	gr/cm <sup>3</sup> .	4460	4656	4608	4461
Densidad del Suelo Humedo	gr/cm <sup>3</sup> .	2.104	2.196	2.174	2.104

Capsula No	No	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.
Suelo Humedo + Capsula	gr.	341.10	341.00	361.30	361.60	402.60	402.60	248.50	248.00
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	322.00	322.10	337.00	337.20	370.20	371.10	227.20	226.50
Peso del Agua	gr.	19.10	18.90	24.30	24.40	32.40	31.50	21.30	21.50
Peso de la Capsula	gr.	64.20	64.50	64.50	64.20	64.00	64.00	64.00	65.00
Peso del Suelo Seco	gr.	257.80	257.60	272.50	273.00	306.20	307.10	163.20	161.50
% de Humedad	%	7.41%	7.34%	8.92%	8.94%	10.58%	10.26%	13.05%	13.31%
<b>Promedio de Humedad</b>	%	7.37%		8.93%		10.42%		13.18%	
<b>Densidad del Suelo Seco</b>	%	1.959		2.016		1.968		1.859	

<b>METODO:</b>	ASTM D - 1557	<b>MAXIMA DENSIDAD SECA</b>	: 2.017 gr/cm <sup>3</sup>
	MODIFICADO "C"	<b>HUMEDAD OPTIMA</b>	: 8.78%

### RELACIÓN HUMEDAD - DENSIDAD



LABORATORIO M.S.C.A. JEFATURA

UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ" FICP - CAR INGENIERÍA CIVIL

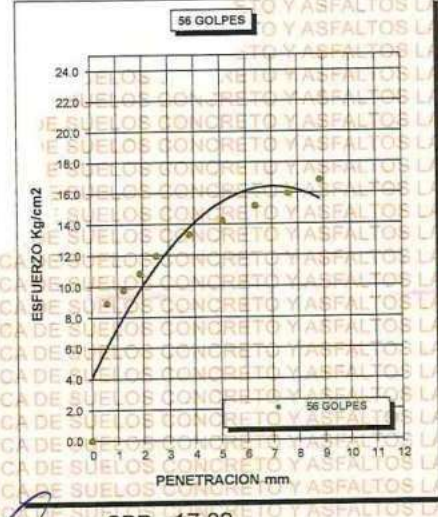
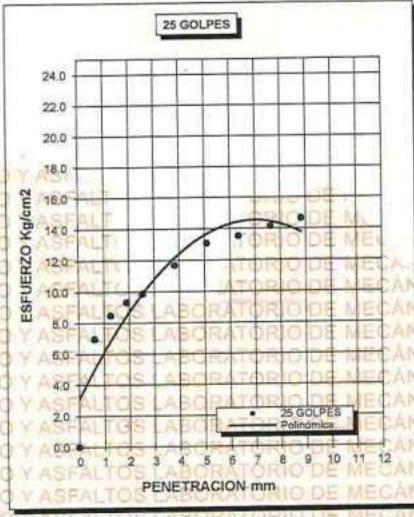
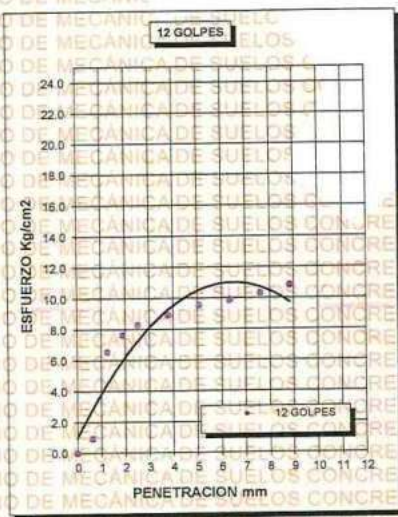
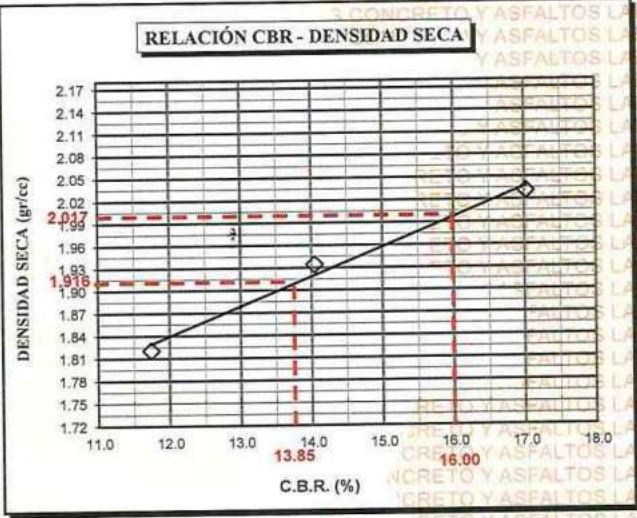
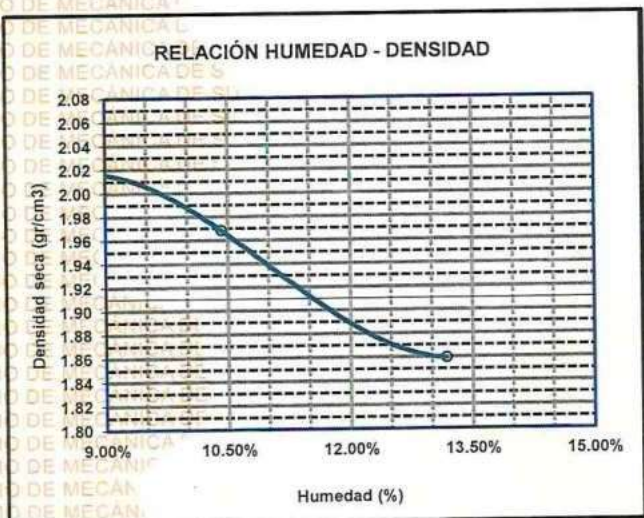
*[Signature]*



**UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"**  
**FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**  
**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS**



<b>PROYECTO :</b>	IMPACTO DE LA INCLUSIÓN DE CENIZA DE MALEZAS Y CENIZA DE LEÑA DE CIPRÉS EN CANTIDADES PROGRESIVAS SOBRE LAS PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE DE LA CARRETERA PALCA – VILAVILA 2024	<b>METODO DE COMPACTACIÓN ASTM D1557-91</b>
<b>SOLICITADO :</b>	BACHILLER MILAN LEONIDAS ITO PACORI	<b>MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm<sup>3</sup>.)</b> 2.017
<b>UBICACIÓN :</b>	PALCA-VILA VILA	<b>HUMEDAD OPTIMA (%)</b> 8.78%
<b>MUESTRA :</b>	MUESTRA CON 20% DE CENIZAS DE MALEZAS	<b>CBR AL 100 DE M.D.S. (%)</b> 16.00
<b>FECHA :</b>	16 DE JULIO DEL 2024	<b>CBR AL 95% DE M.D.S. (%)</b> 13.85
		<b>AASHTO :</b>
		<b>EMBEBIDO :</b>



CBR 11.74

CBR 14.05

CBR 17.02

UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
FICP - CAP INGENIERÍA CIVIL  
M.S.C.A.  
Mgtr. Arnaldo Yana Torres  
CIP 103257



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS



## ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

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

**TESIS** : IMPACTO DE LA INCLUSIÓN DE CENIZA DE MALEZAS Y CENIZA DE LEÑA DE CIPRES EN CANTIDADES PROGRESIVAS SOBRE LAS PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE DE LA CARRETERA PALCA – VILAVILA 2024

**SOLICITANTE** : BACHILLER MILAN LEONIDAS ITO-PACORI

**UBICACIÓN** : PALCA-VILA VILA

**MUESTRA** : MUESTRA CON 6% DE CENIZA DE LEÑA DE CIPRÉS

**FECHA** : 16 DE JULIO DEL 2024

**MOLDE No** : 1 **VOLUMEN DEL MOLDE** : 2139 cm<sup>3</sup>

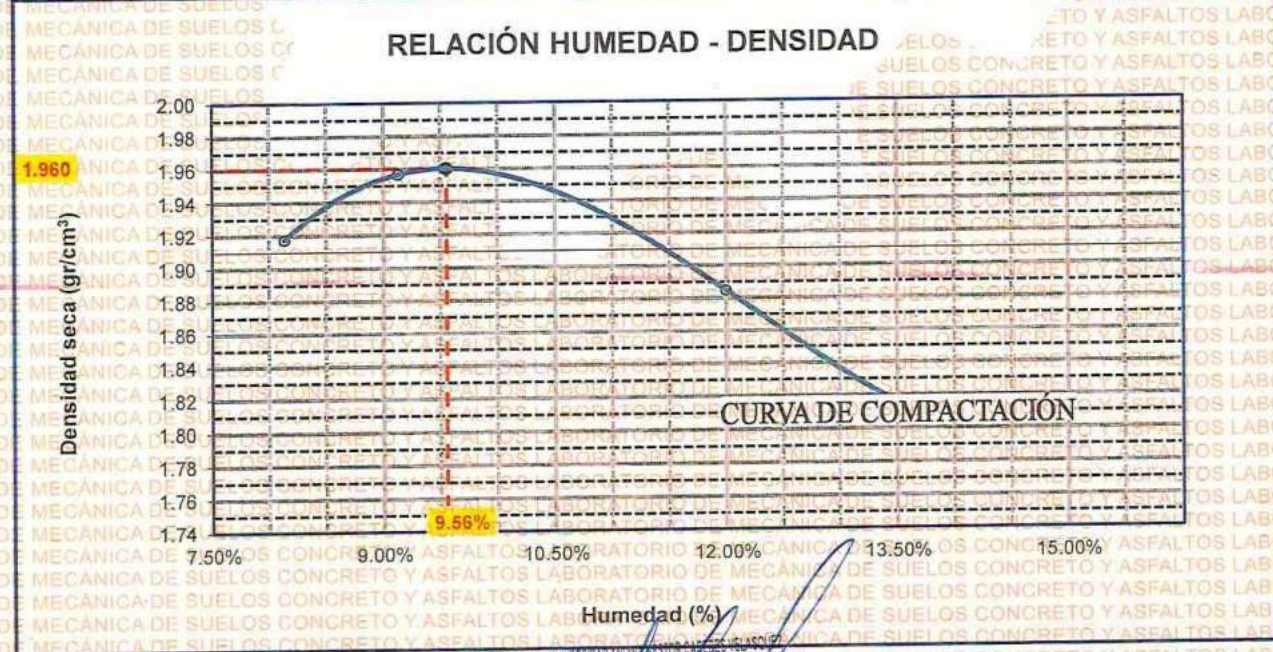
**No DE CAPAS** : 5 **GOLPES POR CAPA** : 56 golpes

Peso Suelo Humedo + Molde	gr.	10300	10433	10380	10270
Peso del Molde	gr.	5865	5865	5865	5865
Peso del Suelo Húmedo	gr/cm <sup>3</sup> .	4435	4568	4515	4405
Densidad del Suelo Humedo	gr/cm <sup>3</sup> .	2.073	2.136	2.111	2.059

Capsula No	No	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.
Suelo Humedo + Capsula	gr.	337.90	336.87	352.00	352.00	404.34	404.26	247.30	246.20
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	316.50	317.20	327.20	328.60	367.70	368.20	225.20	224.80
Peso del Agua	gr.	21.40	19.67	24.80	23.40	36.64	36.06	22.10	21.40
Peso de la Capsula	gr.	64.00	65.00	64.00	64.00	65.00	65.00	64.00	65.00
Peso del Suelo Seco	gr.	252.50	252.20	263.20	264.60	302.70	303.20	161.20	159.80
% de Humedad	%	8.48%	7.80%	9.42%	8.84%	12.10%	11.89%	13.71%	13.39%
<b>Promedio de Humedad</b>	%	8.14%		9.13%		12.00%		13.55%	
<b>Densidad del Suelo Seco</b>	%	1.917		1.957		1.885		1.814	

**METODO:** ASTM D - 1557 **MAXIMA DENSIDAD SECA** : 1.960 gr/cm<sup>3</sup>

**MODIFICADO "C"** **HUMEDAD OPTIMA** : 9.56%



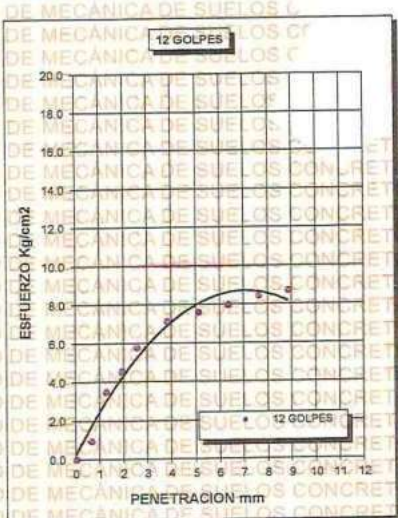
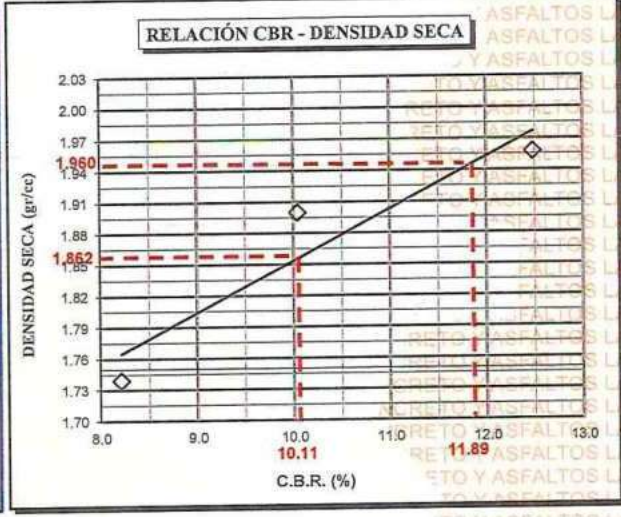
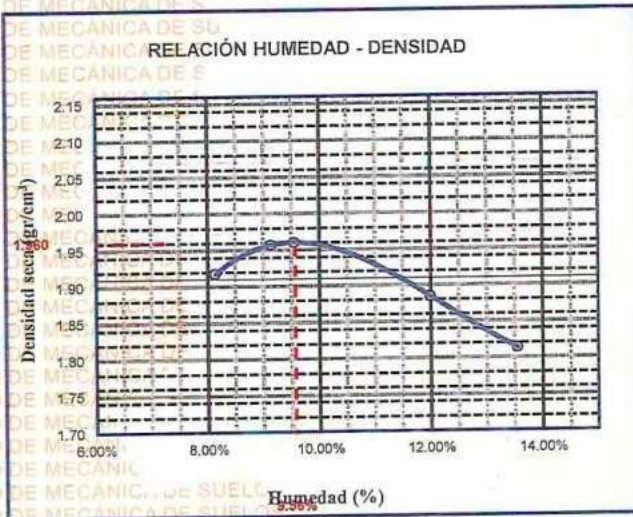
UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
LABORATORIO M.S.C.A.  
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN  
FCP - CAP INGENIERÍA CIVIL  
Mgtr. Arnaldo Yana Torres  
CIP. 103257



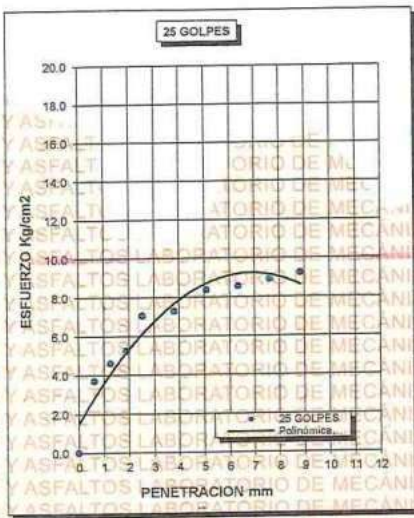
**UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"**  
**FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**  
**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS**



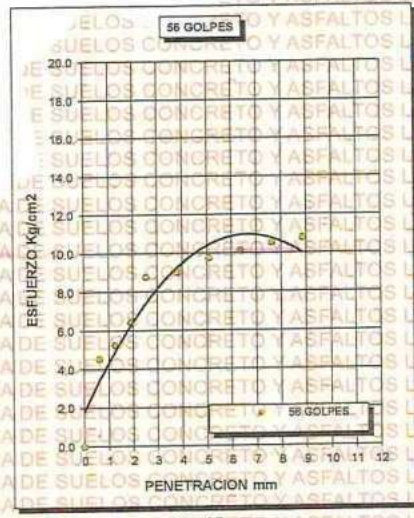
<b>PROYECTO :</b>	IMPACTO DE LA INCLUSIÓN DE CENIZA DE MALEZAS Y CENIZA DE LEÑA DE CIPRÉS EN CANTIDADES PROGRESIVAS SOBRE LAS PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE DE LA CARRETERA PALCA-VILAVILA 2024	<b>METODO DE COMPACTACIÓN ASTM D1557-91</b>	
<b>SOLICITADO :</b>	BACHILLER MILAN LEONIDAS ITO PACORI	<b>MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm3.)</b>	1.960
<b>UBICACIÓN :</b>	PALCA-VILA VILA	<b>HUMEDAD OPTIMA (%)</b>	9.56%
<b>MUESTRA :</b>	MUESTRA CON 6% DE CENIZA DE LEÑA DE CIPRÉS	<b>CBR AL 100 DE M.D.S. (%)</b>	11.89
<b>FECHA :</b>	16 DE JULIO DEL 2024	<b>CBR AL 95% DE M.D.S. (%)</b>	10.11
		<b>AASHTO :</b>	
		<b>EMBEBIDO :</b>	



**CBR 8.21**



**CBR 10.05**



**CBR 12.49**

UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ  
FICP - C.A.P. INGENIERÍA CIVIL

*Mgr. Arnaldo Yana Torres*  
C.P. 103257



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS



## ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

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

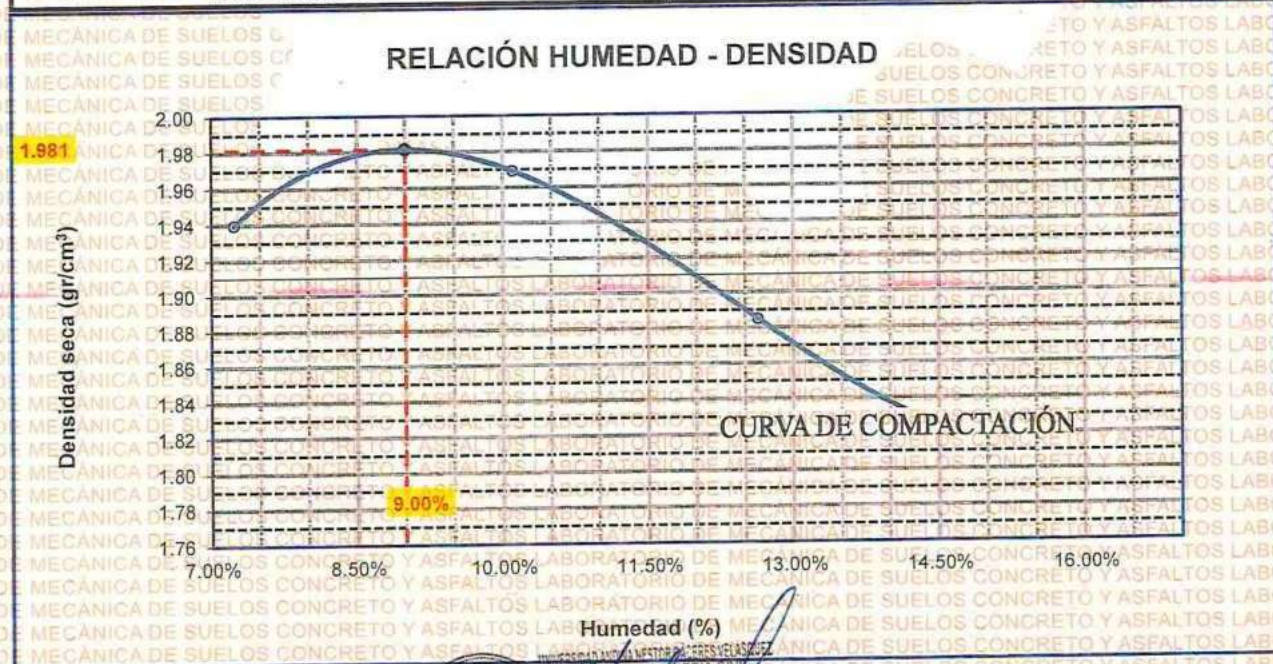
TESIS	: IMPACTO DE LA INCLUSIÓN DE CENIZA DE MALEZAS Y CENIZA DE LEÑA DE CIPRÉS EN CANTIDADES PROGRESIVAS SOBRE LAS PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE DE LA CARRETERA PALCA-VILAVILA 2024
SOLICITANTE	: BACHILLER MILAN LEONIDAS ITO PACORI
UBICACIÓN	: PALCA-VILA VILA
MUESTRA	: MUESTRA CON 12% DE CENIZA DE LEÑA DE CIPRÉS
FECHA	: 16 DE JULIO DEL 2024

MOLDE No	:	1	VOLUMEN DEL MOLDE	:	2136 cm <sup>3</sup>
No DE CAPAS	:	5	GOLPES POR CAPA	:	56 golpes

Peso Suelo Humedo + Molde	gr.	10308	10496	10400	10324
Peso del Molde	gr.	5865	5865	5865	5865
Peso del Suelo Húmedo	gr/cm <sup>3</sup> .	4443	4631	4535	4459
Densidad del Suelo Humedo	gr/cm <sup>3</sup> .	2.080	2.168	2.123	2.088

Capsula No	No	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.
Suelo Humedo + Capsula	gr.	336.00	337.20	358.30	358.20	395.10	396.40	248.20	249.10
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	318.60	317.90	331.60	330.90	358.10	359.20	225.50	224.80
Peso del Agua	gr.	17.40	19.30	26.70	27.30	37.00	37.20	22.70	24.30
Peso de la Capsula	gr.	64.00	65.00	64.00	64.00	65.00	65.00	64.00	65.00
Peso del Suelo Seco	gr.	254.60	252.90	267.60	266.90	293.10	294.20	161.50	159.80
% de Humedad	%	6.83%	7.63%	9.98%	10.23%	12.62%	12.64%	14.06%	15.21%
Promedio de Humedad	%	7.23%		10.10%		12.63%		14.63%	
Densidad del Suelo Seco	%	1.940		1.969		1.885		1.821	

METODO:	ASTM D - 1557 MODIFICADO "C"	MAXIMA DENSIDAD SECA	:	1.981 gr/cm <sup>3</sup>
		HUMEDAD OPTIMA	:	9.00%



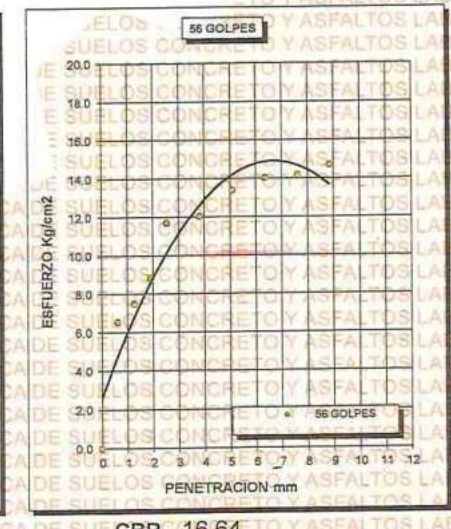
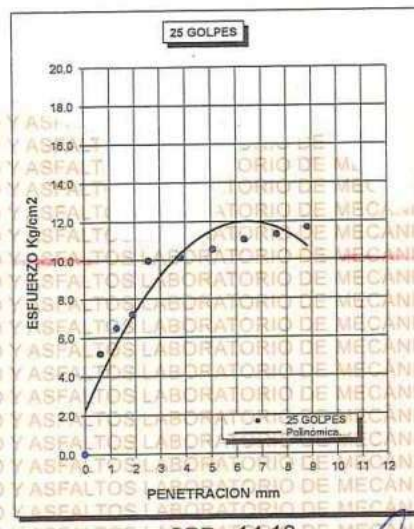
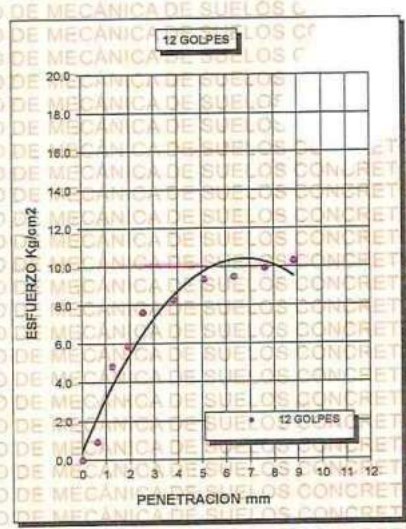
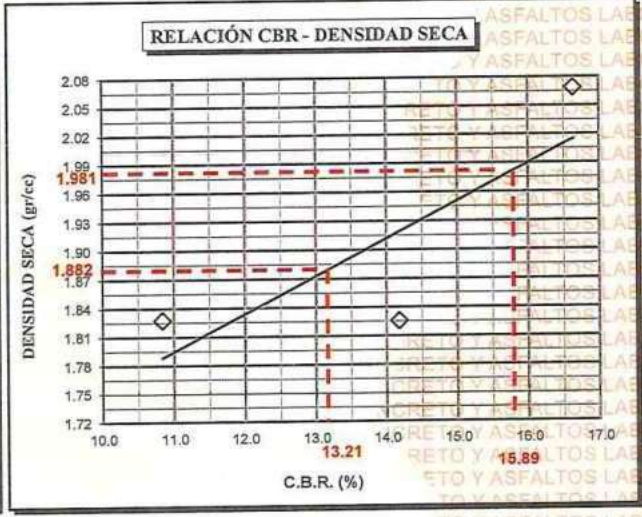
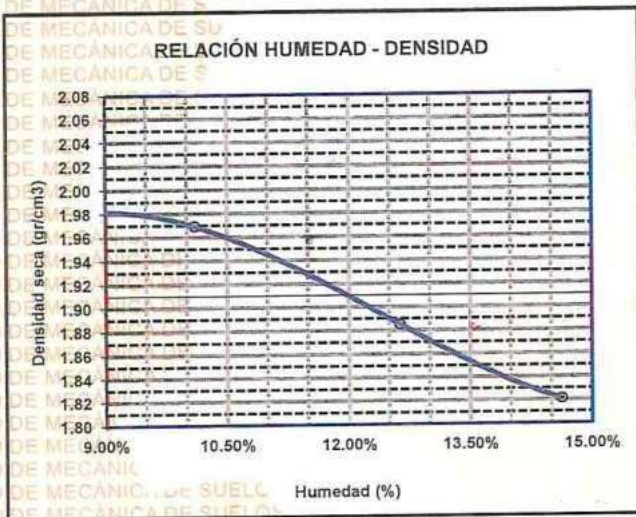
Mgr. Arnaldo Yana Torres  
 CIP: 103257



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS



<b>PROYECTO :</b> IMPACTO DE LA INCLUSIÓN DE CENIZA DE MALEZAS Y CENIZA DE LEÑA DE CIPRÉS EN CANTIDADES PROGRESIVAS SOBRE LAS PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE DE LA CARRETERA PALCA – VILAVILA 2024 <b>SOLICITADO :</b> BACHILLER MILAN LEONIDAS ITO PACORI <b>UBICACIÓN :</b> PALCA-VILA VILA <b>MUESTRA :</b> MUESTRA CON 12% DE CENIZA DE LEÑA DE CIPRÉS <b>FECHA :</b> 16 DE JULIO DEL 2024	<b>METODO DE COMPACTACIÓN ASTM D1557-91</b> <b>MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm<sup>3</sup>):</b> 1.981 <b>HUMEDAD OPTIMA (%):</b> 9.00% <b>CBR AL 100 DE M.D.S. (%):</b> 15.89 <b>CBR AL 95% DE M.D.S. (%):</b> 13.21 <b>AASHTO :</b> <b>EMBEBIDO :</b>
--	---



CBR 10.84

CBR 14.18

CBR 16.64

UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
FICP - CIP. INGENIERÍA CIVIL  
M. S. C. A.  
J. PACORI  
JULIACA - 2024  
Mgtr. Arnaldo Yana Torres  
CIP. 10727



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS



### ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

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

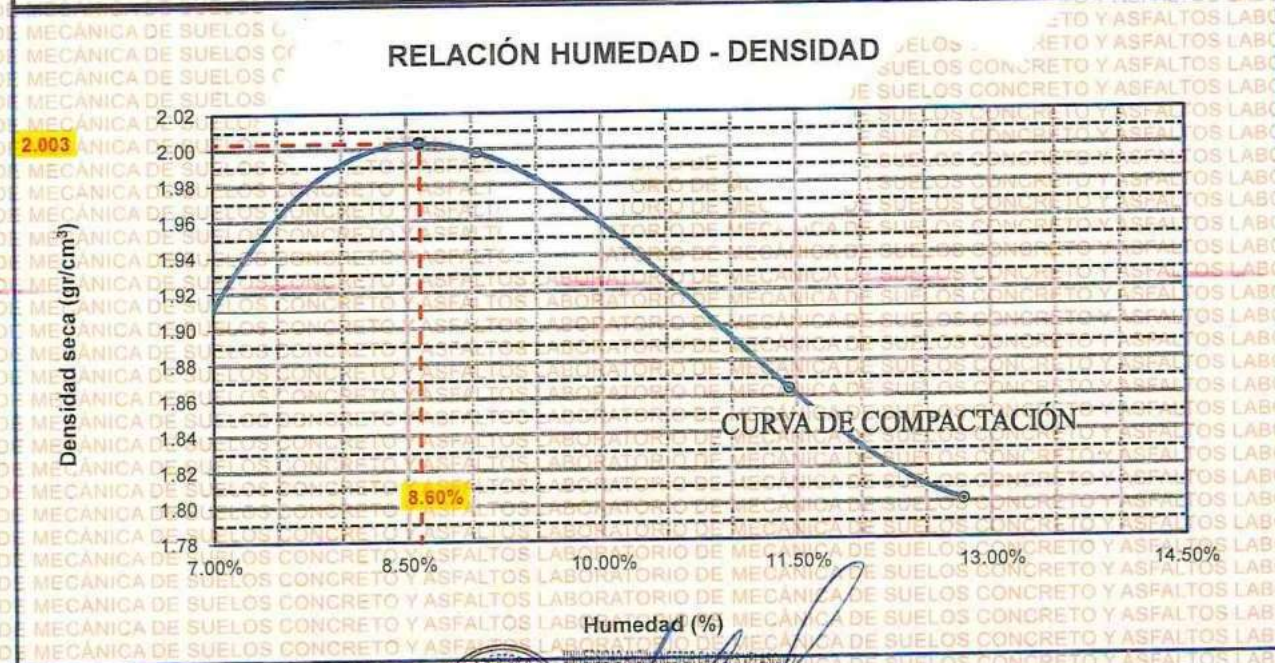
TESIS	IMPACTO DE LA INCLUSIÓN DE CENIZA DE MALEZAS Y CENIZA DE LEÑA DE CIPRES EN CANTIDADES PROGRESIVAS SOBRE LAS PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE DE LA CARRETERA PALCA - VILAVILA 2024		
SOLICITANTE	: BACHILLER MILAN LEONIDAS ITO PACORI		
UBICACIÓN	: PALCA-VILA VILA		
MUESTRA	: MUESTRA CON 20% DE CENIZA DE LEÑA DE CIPRÉS		
FECHA	: 16 DE JULIO DEL 2024		

MOLDE No	:	1	VOLUMEN DEL MOLDE	:	2139 cm <sup>3</sup>
No-DE CAPAS	:	5	GOLPES POR CAPA	:	56 golpes

Peso Suelo Humedo + Molde	gr.	10219	10525	10309	10211
Peso del Molde	gr.	5865	5865	5865	5865
Peso del Suelo Húmedo	gr/cm <sup>3</sup> .	4354	4660	4444	4346
Densidad del Suelo Humedo	gr/cm <sup>3</sup> .	2.036	2.179	2.078	2.032

Capsula No	No	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.
Suelo Humedo + Capsula	gr.	340.20	340.20	361.60	362.04	405.20	406.60	247.20	248.70
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	322.10	322.50	337.20	337.10	370.10	371.50	227.10	227.20
Peso del Agua	gr.	18.10	17.70	24.40	24.94	35.10	35.10	20.10	21.50
Peso de la Capsula	gr.	64.20	64.50	64.50	64.20	64.00	64.00	64.00	65.00
Peso del Suelo Seco	gr.	257.90	258.00	272.70	272.90	306.10	307.50	163.10	162.20
% de Humedad	%	7.02%	6.86%	6.95%	9.14%	11.47%	11.41%	12.32%	13.26%
Promedio de Humedad	%	6.94%		9.04%		11.44%		12.79%	
Densidad del Suelo Seco	%	1.903		1.998		1.864		1.801	

METODO:	ASTM D - 1557	MAXIMA DENSIDAD SECA	:	2.003 gr/cm <sup>3</sup>
	MODIFICADO "C"	HUMEDAD OPTIMA	:	8.60%



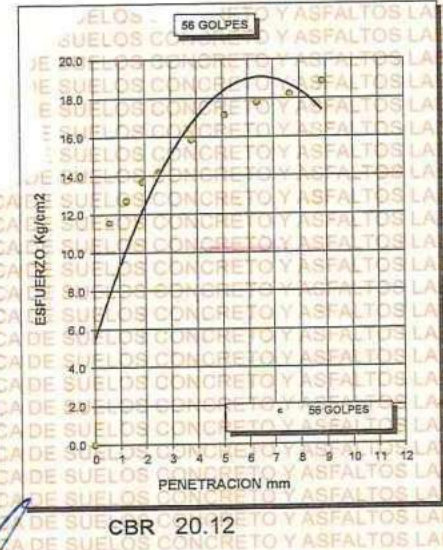
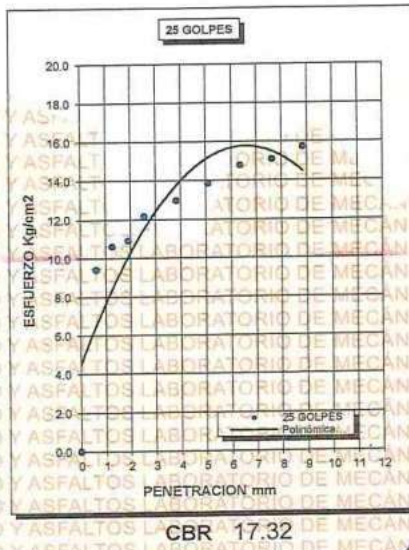
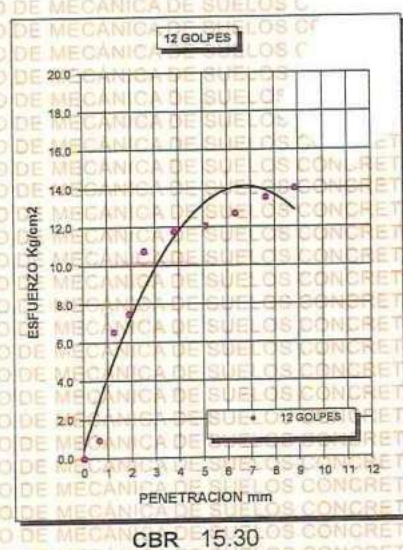
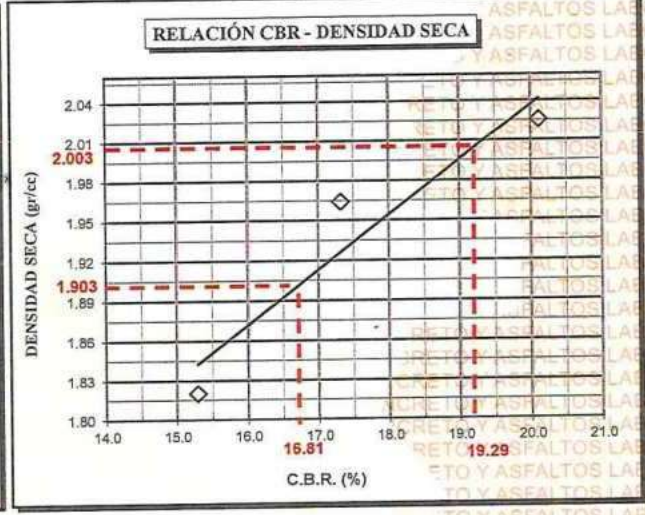
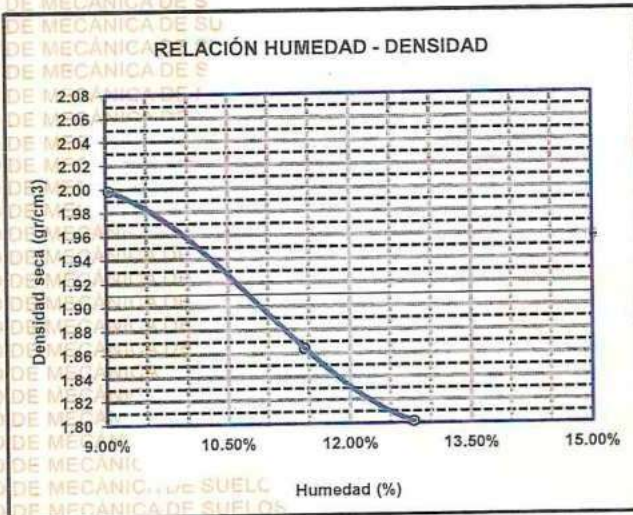
LABORATORIO M.S.C.A. JEFATURA  
Mgtr. Arnaldo Yana Torres



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS



<b>PROYECTO :</b>	IMPACTO DE LA INCLUSIÓN DE CENIZA DE MALEZAS Y CENIZA DE LEÑA DE CIPRÉS EN CANTIDADES PROGRESIVAS SOBRE LAS PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE DE LA CARRETERA PALCA - VILAVILA 2024	<b>METODO DE COMPACTACIÓN ASTM D1557-91</b>	
<b>SOLICITADO :</b>	BACHILLER MILAN LEONIDAS ITO PACORI	<b>MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm<sup>3</sup>.)</b>	2.003
<b>UBICACIÓN :</b>	PALCA-VILA VILA	<b>HUMEDAD OPTIMA (%)</b>	8.60%
<b>MUESTRA :</b>	MUESTRA CON 20% DE CENIZA DE LEÑA DE CIPRÉS	<b>CBR AL 100 DE M.D.S. (%)</b>	19.29
<b>FECHA :</b>	16 DE JULIO DEL 2024	<b>CBR AL 95% DE M.D.S. (%)</b>	16.81
		<b>AASHTO :</b>	
		<b>EMBEBIDO :</b>	



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
FICP - CAP. INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIO W.S.C.A. PATATELA JULIACA  
Mgt. Arnaldo Yana Torres  
CIF 403257



UNIVERSIDAD ANDINA "NESTOR CACERES VELASQUEZ"  
FACULTAD DE INGENIERIAS Y CIENCIAS PURAS  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS



**PROYECTO** : IMPACTO DE LA INCLUSIÓN DE CENIZA DE MALEZAS Y CENIZA DE LEÑA DE CIPRÉS EN CANTIDADES PROGRESIVAS SOBRE LAS PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE DE LA CARRETERA PALCA – VILAVILA 2024

**SOLICITANTE** : BACHILLER MILAN LEONIDAS ITO PACORI

**UBICACIÓN** : PALCA-VILA VILA

**LUGAR** : LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS

**MUESTRA** : C ALICATA 01

**FECHA** : 15 DE JULIO DEL 2024

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

SUELO HUMEDO + TARRO	gr	229.54
SUELO SECO + TARRO	gr	200.87
PESO DEL TARRO	gr	24.00
PESO DEL AGUA	gr	28.67
PESO DEL SUELO SECO	gr	176.87
HUMEDAD %	%	16.21

### LIMITE LIQUIDO - LIMITE PLASTICO E INDICE DE PLASTICIDAD ASTM - D424 D-4318 AASHTO - T90

TARRO N°		LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLASTICO	
		1	2	3	A	B
SUELO HUMEDO + TARRO	gr	43.54	44.32	43.21	14.79	14.71
SUELO SECO + TARRO	gr	39.44	40.12	39.57	13.68	13.59
PESO DEL TARRO	gr	28.25	28.62	29.14	8.00	8.00
PESO DEL AGUA	gr	4.10	4.20	3.64	1.11	1.12
PESO DEL SUELO SECO	gr	11.19	11.50	10.43	5.68	5.59
HUMEDAD %	%	36.64	36.52	34.90	19.54	20.04
N° DE GOLPES		30	25	15		
<b>LIMITE LIQUIDO</b>		<b>35.60</b>			<b>LIMITE PLASTICO : 19.79</b>	

**INDICE PLASTICO : 15.81**

$LL = Wn * (N/25)^{0.121}$   
Donde:  
LL = Limite Liquido  
Wn = Contenido de Humedad Promedio (%)  
N = Numero de Golpes

UNIVERSIDAD ANDINA "NESTOR CACERES VELASQUEZ"  
FICP - CAP. INGENIERIA CIVIL  
LABORATORIO M.S.C.A.  
Metr. Arnaldo Yana Torres



UNIVERSIDAD ANDINA "NESTOR CACERES VELASQUEZ"  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS  
CARRERA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS



### ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO (ASTM D422)

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

**PROYECTO** : IMPACTO DE LA INCLUSIÓN DE CENIZA DE MALEZAS Y CENIZA DE LEÑA DE CIPRÉS EN CANTIDADES PROGRESIVAS SOBRE LAS PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE DE LA CARRETERA PALCA - VILAVILA 2024

**SOLICITANTE** : BACHILLER MILAN LEONIDAS ITO PACORI

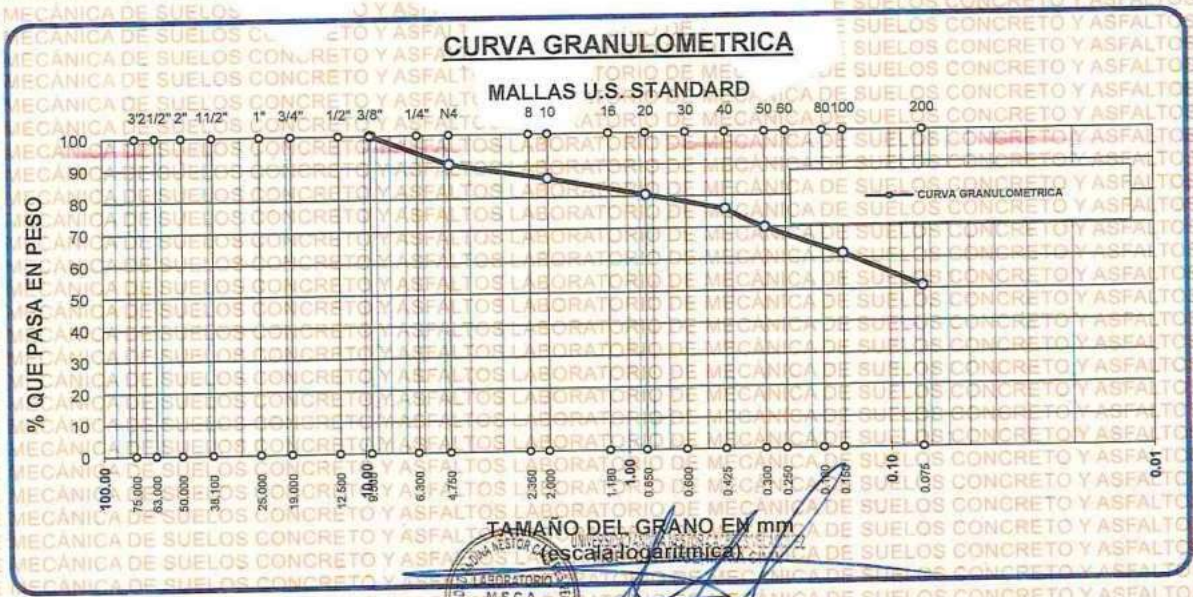
**UBICACIÓN** : PALCA-VILA VILA

**LUGAR** : LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS

**MUESTRA** : C ALICATA 01

**FECHA** : 15 DE JULIO DEL 2024

TAMICES ASTM	ABERTURA mm	PESO RETENIDO	%RETENIDO PARCIAL	%RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	ESPECIF.	TAMANO MAXIMO:
3"	75.000						DESCRIPCION DE LA MUESTRA
2 1/2"	63.000						P.I.= 300.00
2"	50.000						P.L.= 147.28
1 1/2"	38.100						P.P.= 152.72
1"	25.000						% W = 16.21
3/4"	19.000						LIMITES DE CONSISTENCIA:
1/2"	12.500						L.L.= 35.60
3/8"	9.500	0.00	0.00	0.00	100.00		L.P.= 19.79
1/4"	6.300						I.P.= 15.81
No4	4.750	27.56	9.19	9.19	90.81		CARACT. GRANULOMETRICAS:
No8	2.360						D10= --- Cu= ---
No10	2.000	14.23	4.74	13.93	86.07		D30= --- Cc= ---
No16	1.180						D60= 0.14
No20	0.850	16.54	5.51	19.44	80.56		CLASIFICACION:
No30	0.600						I.G. =
No40	0.425	14.23	4.74	24.19	75.81		SUSCS CL
No 50	0.300	17.84	5.95	30.13	69.87		ASSTHO
No60	0.250						OBSERVACIONES:
No80	0.180						
No100	0.150	25.64	8.55	38.68	61.32		
No200	0.075	31.24	10.41	49.09	50.91		
BASE		152.72	50.91	100.00	0.00		
TOTAL		300.00	100.00				
% PERDIDA							





UNIVERSIDAD ANDINA "NESTOR CERERES VELASQUEZ"  
FACULTAD DE INGENIERIAS Y CIENCIAS PURAS  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS



**PROYECTO** : IMPACTO DE LA INCLUSIÓN DE CENIZA DE MALEZAS Y CENIZA DE LEÑA DE CIPRÉS EN CANTIDADES PROGRESIVAS SOBRE LAS PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE DE LA CARRETERA PALCA – VILAVILA 2024

**SOLICITANTE** : BACHILLER MILAN LEONIDAS ITO PACORI

**UBICACIÓN** : PALCA-VILA VILA

**LUGAR** : LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS

**MUESTRA** : CALICATA 02

**FECHA** : 15 DE JULIO DEL 2024

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

SUELO HUMEDO + TARRO	gr	233.54
SUELO SECO + TARRO	gr	203.72
PESO DEL TARRO	gr	24.20
PESO DEL AGUA	gr	29.82
PESO DEL SUELO SECO	gr	179.52
HUMEDAD %	%	16.61

### LIMITE LIQUIDO - LIMITE PLASTICO E INDICE DE PLASTICIDAD ASTM - D424 D-4318 AASHTO - T90

TARRO N°		LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLASTICO	
		4	5	6	C	D
SUELO HUMEDO + TARRO	gr	44.21	44.21	44.53	15.12	15.34
SUELO SECO + TARRO	gr	39.99	40.07	40.49	13.92	14.10
PESO DEL TARRO	gr	28.36	28.72	29.64	8.00	8.00
PESO DEL AGUA	gr	4.22	4.14	4.04	1.20	1.24
PESO DEL SUELO SECO	gr	11.63	11.35	10.85	5.92	6.10
HUMEDAD %	%	36.29	36.48	37.24	20.27	20.33
N° DE GOLPES		30	25	15		

**LIMITE LIQUIDO** : 36.19      **LIMITE PLASTICO** : 20.30

**INDICE PLASTICO** : 15.89

$LL = W_n \cdot (N/25)^{0.121}$   
Donde:  
LL = Limite Liquido  
Wn = Contenido de Humedad Promedio (%)  
N = Numero de Golpes



UNIVERSIDAD ANDINA "NESTOR CERERES VELASQUEZ"  
FICP - CIVIL INGENIERIA CIVIL  
Mgtr. Arnaldo Iana Torres  
C.I. 403257



UNIVERSIDAD ANDINA "NESTOR CACERES VELASQUEZ"  
 FACULTAD DE INGENIERIAS Y CIENCIAS PURAS  
 CARRERA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL  
 LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS



### ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO (ASTM D422)

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

**PROYECTO** : IMPACTO DE LA INCLUSIÓN DE CENIZA DE MALEZAS Y CENIZA DE LEÑA DE CIPRÉS EN CANTIDADES PROGRESIVAS SOBRE LAS PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE DE LA CARRETERA PALCA - VILAVILA 2024

**SOLICITANTE** : BACHILLER MILAN LEONIDAS ITO PACORI

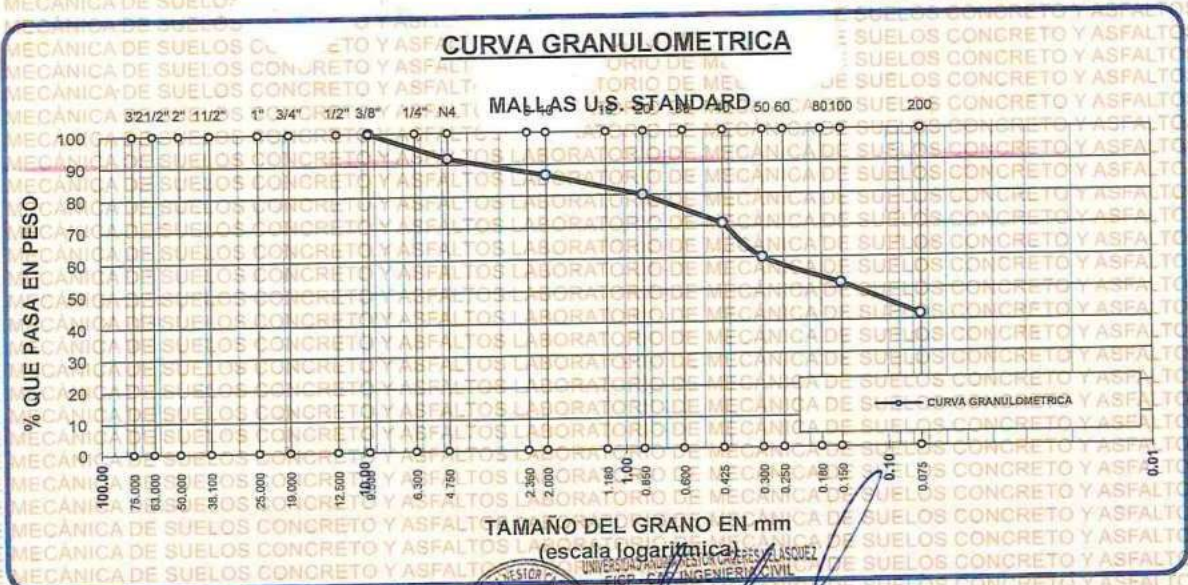
**UBICACIÓN** : PALCA-VILA VILA

**LUGAR** : LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS

**MUESTRA** : CALICATA 02

**FECHA** : 15 DE JULIO DEL 2024

TAMICES ASTM	ABERTURA mm	PESO RETENIDO	%RETENIDO PARCIAL	%RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	ESPECIF.	TAMAÑO MÁXIMO: DESCRIPCION DE LA MUESTRA
3"	75.000						P.L.= 300.00
2 1/2"	63.000						P.L.= 174.48
2"	50.000						P.P.= 125.52
1 1/2"	38.100						% W = 16.61
1"	25.000						LIMITES DE CONSISTENCIA:
3/4"	19.000						L.L.= 36.19
1/2"	12.500						L.P.= 20.30
3/8"	9.500	0.00	0.00	0.00	100.00		I.P.= 15.89
1/4"	6.300						CARACT. GRANULOMETRICAS:
No4	4.750	24.00	8.00	8.00	92.00		D10= --- Cu= ---
No8	2.360						D30= --- Cc= ---
No10	2.000	16.52	5.51	13.51	86.49		D60= 0.30
No16	1.180						CLASIFICACION:
No20	0.850	19.54	6.51	20.02	79.98		I.G. =
No30	0.600						SUSCS CL
No40	0.425	27.32	9.11	29.13	70.87		ASSTHO
No 50	0.300	32.44	10.81	39.94	60.06		OBSERVACIONES:
No60	0.250						
No80	0.180						
No100	0.150	24.88	8.29	48.23	51.77		
No200	0.075	29.78	9.93	58.16	41.84		
<b>BASE</b>		125.52	41.84	100.00	0.00		
<b>TOTAL</b>		300.00	100.00				
<b>% PERDIDA</b>							





UNIVERSIDAD ANDINA "NESTOR CACERES VELASQUEZ"  
FACULTAD DE INGENIERIAS Y CIENCIAS PURAS  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS



**PROYECTO** : IMPACTO DE LA INCLUSIÓN DE CENIZA DE MALEZAS Y CENIZA DE LEÑA DE CIPRÉS EN CANTIDADES PROGRESIVAS SOBRE LAS PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE DE LA CARRETERA PALCA – VILAVILA 2024.  
**SOLICITANTE** : BACHILLER MILAN LEONIDAS ITO PACORI  
**UBICACIÓN** : PALCA-VILA VILA  
**LUGAR** : LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS  
**MUESTRA** : CALICATA - 3  
**FECHA** : 15 DE JULIO DEL 2024

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

SUELO HUMEDO + TARRO	gr	231.67
SUELO SECO + TARRO	gr	202.33
PESO DEL TARRO	gr	23.64
PESO DEL AGUA	gr	29.34
PESO DEL SUELO SECO	gr	178.69
HUMEDAD %	%	16.42

### LIMITE LIQUIDO - LIMITE PLASTICO E INDICE DE PLASTICIDAD ASTM - D424 D-4318 AASHTO - T90

TARRO N°		LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLASTICO	
		7	8	9	E	F
SUELO HUMEDO + TARRO	gr	44.56	44.87	44.12	15.11	15.07
SUELO SECO + TARRO	gr	40.19	40.38	40.11	13.87	13.85
PESO DEL TARRO	gr	28.35	28.47	29.38	8.00	8.00
PESO DEL AGUA	gr	4.37	4.49	4.01	1.24	1.22
PESO DEL SUELO SECO	gr	11.84	11.91	10.73	5.87	5.85
HUMEDAD %	%	36.91	37.70	37.37	21.12	20.85
N° DE GOLPES		30	25	15		
<b>LIMITE LIQUIDO</b>		<b>36.85</b>	<b>LIMITE PLASTICO</b>		<b>20.99</b>	
<b>INDICE PLASTICO</b>		<b>15.86</b>				

$LL = W_n * (N/25)^{0.121}$   
Donde:  
LL = Limite Liquido  
Wn = Contenido de Humedad Promedio (%)  
N = Numero de Golpes

UNIVERSIDAD ANDINA "NESTOR CACERES VELASQUEZ"  
FICP - CAP INGENIERIA CIVIL  
M.S.C. JESATIRA  
Mgtr. Arnaldo Yana Torres  
DIP. 103257



UNIVERSIDAD ANDINA "NESTOR CACERES VELASQUEZ"  
FACULTAD DE INGENIERIAS Y CIENCIAS PURAS  
CARRERA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS



### ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO (ASTM D422)

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

**PROYECTO** : IMPACTO DE LA INCLUSIÓN DE CENIZA DE MALEZAS Y CENIZA DE LEÑA DE CIPRÉS EN CANTIDADES PROGRESIVAS SOBRE LAS PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE DE LA CARRETERA PALCA – VILAVILA 2024

**SOLICITANTE** : BACHILLER MILAN LEONIDAS ITO PACORI

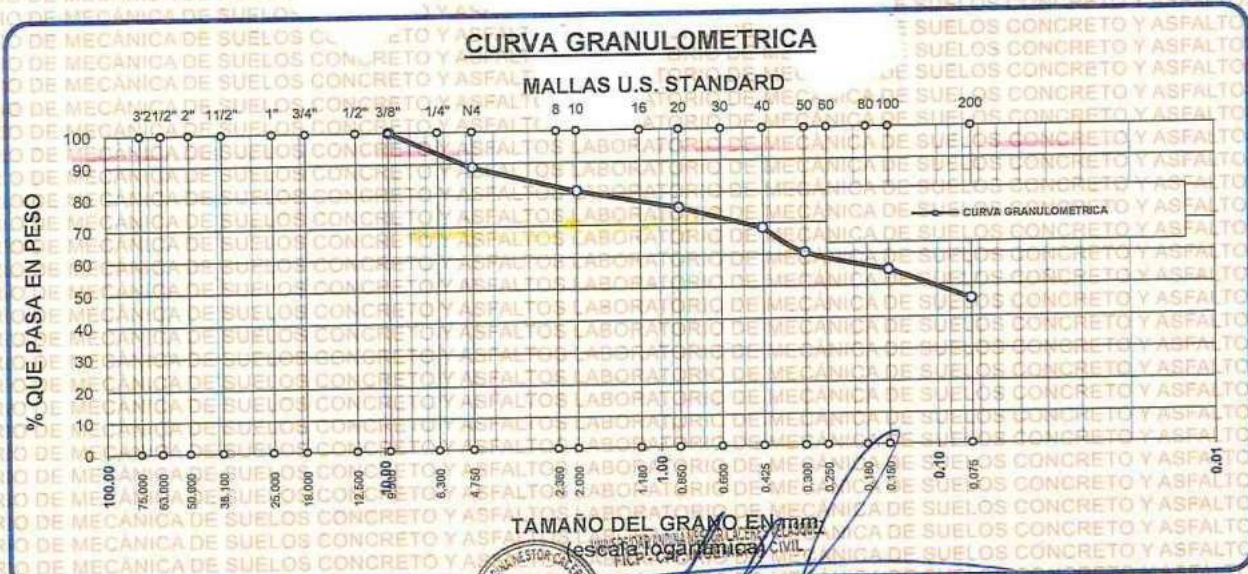
**UBICACIÓN** : PALCA-VILA VILA

**LUGAR** : LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS

**MUESTRA** : CALICATA 3

**FECHA** : 15 DE JULIO DEL 2024

TAMICES ASTM	ABERTURA mm	PESO RETENIDO	%RETENIDO PARCIAL	%RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	ESPECIF.	TAMANO MAXIMO:	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
3"	75.000							P.I.= 200.00
2 1/2"	63.000							P.L.= 108.98
2"	50.000							P.P.= 91.02
1 1/2"	38.100							% w = 16.42
1"	25.000							LIMITES DE CONSISTENCIA:
3/4"	19.000							L.L.=
1/2"	12.500							L.P.=
3/8"	9.500	0,00	0.00	0.00	100.00			I.P.= 15.86
1/4"	6.300							CARACT. GRANULOMETRICAS:
No4	4.750	22.56	11.28	11.28	88.72			D10= --- Cu= ---
No8	2.360							D30= --- Cc= ---
No10	2.000	15.63	7.82	19.10	80.91			D60= 0.29
No16	1.180							CLASIFICACION:
No20	0.850	11.40	5.70	24.80	75.21			I.G. =
No30	0.600							SUSCS CL
No40	0.425	13.64	6.82	31.62	68.39			ASSTHO
No50	0.300	15.88	7.94	39.56	60.45			OBSERVACIONES:
No60	0.250							
No80	0.180							
No100	0.150	11.24	5.62	45.18	54.83			
No200	0.075	18.63	9.32	54.49	45.51			
BASE		91.02	45.51	100.00	0.00			
TOTAL		200.00	100.00					
% PERDIDA								



M.S.C.A. YATA TORRES



UNIVERSIDAD ANDINA "NESTOR CERERES VELASQUEZ"  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS



**PROYECTO** : IMPACTO DE LA INCLUSIÓN DE CENIZA DE MALEZAS Y CENIZA DE LEÑA DE CIPRÉS EN CANTIDADES PROGRESIVAS SOBRE LAS PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE DE LA CARRETERA PALCA - VILAVILA 2024

**SOLICITANTE** : BACHILLER MILAN LEONIDAS ITO PACORI

**UBICACIÓN** : PALCA-VILA VILA

**LUGAR** : LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS

**MUESTRA** : MUESTRA CON 6% DE CENIZAS DE MALEZAS

**FECHA** : 15 DE JULIO DEL 2024

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

SUELO HUMEDO + TARRO	gr	232.24
SUELO SECO + TARRO	gr	202.31
PESO DEL TARRO	gr	24.00
PESO DEL AGUA	gr	29.93
PESO DEL SUELO SECO	gr	178.31
HUMEDAD %	%	16.79

### LIMITE LIQUIDO - LIMITE PLASTICO E INDICE DE PLASTICIDAD ASTM - D424 D-4318 AASHTO - T90

TARRO N°		LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLASTICO	
		1	2	3	A	B
SUELO HUMEDO + TARRO	gr	43.67	44.12	44.02	14.87	14.93
SUELO SECO + TARRO	gr	39.68	40.13	40.13	13.68	13.78
PESO DEL TARRO	gr	28.25	28.62	29.14	8.00	8.00
PESO DEL AGUA	gr	3.99	3.99	3.89	1.19	1.15
PESO DEL SUELO SECO	gr	11.43	11.51	10.99	5.68	5.78
HUMEDAD %	%	34.91	34.67	35.40	20.95	19.90
N° DE GOLPES		30	25	15		

**LIMITE LIQUIDO** : 34.54      **LIMITE PLASTICO** : 20.42

**INDICE PLASTICO** : 14.12

$LL = W_n * (N/25)^{0.121}$   
Donde:  
LL = Limite Liquido  
Wn = Contenido de Humedad Promedio (%)  
N = Numero de Golpes

UNIVERSIDAD ANDINA "NESTOR CERERES VELASQUEZ"  
FICP - CAP INGENIERIA CIVIL  
LABORATORIO M.S.C.A. JEFATURA  
Metr. Alfredo Yana Torres  
C.I. 100257



UNIVERSIDAD ANDINA "NESTOR CACERES VELASQUEZ"  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS



**PROYECTO** : IMPACTO DE LA INCLUSIÓN DE CENIZA DE MALEZAS Y CENIZA DE LEÑA DE CIPRÉS EN CANTIDADES PROGRESIVAS SOBRE LAS PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE DE LA CARRETERA PALCA - VILAVILA 2024

**SOLICITANTE** : BACHILLER MILAN-LEONIDAS ITO PACORI

**UBICACIÓN** : PALCA-VILA VILA

**LUGAR** : LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS

**MUESTRA** : MUESTRA CON 12% DE CENIZAS DE MALEZAS

**FECHA** : 15 DE JULIO DEL 2024

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

SUELO HUMEDO + TARRO	gr	237.87
SUELO SECO + TARRO	gr	205.93
PESO DEL TARRO	gr	24.20
PESO DEL AGUA	gr	31.94
PESO DEL SUELO SECO	gr	181.73
HUMEDAD %	%	17.58

### LIMITE LIQUIDO - LIMITE PLASTICO E INDICE DE PLASTICIDAD ASTM - D424 D-4318 AASHTO - T90

TARRO N°		LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLASTICO	
		4	5	6	C	D
SUELO HUMEDO + TARRO	gr	44.15	44.04	44.57	15.24	15.53
SUELO SECO + TARRO	gr	40.15	40.10	40.82	14.00	14.26
PESO DEL TARRO	gr	28.36	28.72	29.64	8.00	8.00
PESO DEL AGUA	gr	4.00	3.94	3.75	1.24	1.27
PESO DEL SUELO SECO	gr	11.79	11.38	11.18	6.00	6.26
HUMEDAD %	%	33.93	34.62	33.54	20.67	20.29
N° DE GOLPES		30	25	15		
<b>LIMITE LIQUIDO</b>		<b>33.61</b>			<b>LIMITE PLASTICO : 20.48</b>	

**INDICE PLASTICO** : 13.14

LL =  $W_n * (N/25)^{0.121}$   
Donde:  
LL = Limite Liquido  
Wn = Contenido de Humedad Promedio (%)  
N = Numero de Golpes

Mgfr. Arnaldo Yano Torre  
CIP 103257





UNIVERSIDAD ANDINA "NESTOR CACERES VELASQUEZ"  
FACULTAD DE INGENIERIAS Y CIENCIAS PURAS  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS



**PROYECTO** : IMPACTO DE LA INCLUSIÓN DE CENIZA DE MALEZAS Y CENIZA DE LEÑA DE CIPRÉS EN CANTIDADES PROGRESIVAS SOBRE LAS PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE DE LA CARRETERA PALCA – VILAVILA 2024  
**SOLICITANTE** : BACHILLER MILAN LEONIDAS ITO PACORI  
**UBICACIÓN** : PALCA-VILA VILA  
**LUGAR** : LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS  
**MUESTRA** : MUESTRA CON 20% DE CENIZAS DE MALEZAS  
**FECHA** : 15 DE JULIO DEL 2024

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

SUELO HUMEDO + TARRO	gr	229.65
SUELO SECO + TARRO	gr	198.36
PESO DEL TARRO	gr	23.64
PESO DEL AGUA	gr	31.29
PESO DEL SUELO SECO	gr	174.72
HUMEDAD %	%	17.91

### LIMITE LIQUIDO - LIMITE PLASTICO E INDICE DE PLASTICIDAD ASTM - D424 D-4318 AASHTO - T90

TARRO N°		LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLASTICO	
		7	8	9	E	F
SUELO HUMEDO + TARRO	gr	43.99	43.99	44.63	15.11	15.07
SUELO SECO + TARRO	gr	40.16	40.06	40.85	13.93	13.85
PESO DEL TARRO	gr	28.35	28.47	29.38	8.00	8.00
PESO DEL AGUA	gr	3.83	3.93	3.78	1.18	1.22
PESO DEL SUELO SECO	gr	11.81	11.59	11.47	5.93	5.85
HUMEDAD %	%	32.43	33.91	32.96	19.90	20.85
N° DE GOLPES		30	25	15		

**LIMITE LIQUIDO** : 32.68      **LIMITE PLASTICO** : 20.38

**INDICE PLASTICO** : 12.30

$LL = Wn * (N/25)^{0.121}$   
Donde:  
LL = Limite Liquido  
Wn = Contenido de Humedad Promedio (%)  
N = Numero de Golpes

UNIVERSIDAD ANDINA "NESTOR CACERES VELASQUEZ"  
FICP - CAP INGENIERIA CIVIL  
LABORATORIO M.S.C.A. JEFATURA  
Mgtr. Arnaldo Yana Torres  
CIP 103257



UNIVERSIDAD ANDINA "NESTOR CACERES VELASQUEZ"  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS



**PROYECTO** : IMPACTO DE LA INCLUSIÓN DE CENIZA DE MALEZAS Y CENIZA DE LEÑA DE CIPRÉS EN CANTIDADES PROGRESIVAS SOBRE LAS PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE DE LA CARRETERA PALCA – VILAVILA 2024  
**SOLICITANTE** : BACHILLER MILAN LEONIDAS ITO PACORI  
**UBICACIÓN** : PALCA-VILA VILA  
**LUGAR** : LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS  
**MUESTRA** : MUESTRA CON 6% DE CENIZAS DE LEÑA DE CIPRÉS  
**FECHA** : 15 DE JULIO DEL 2024

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

SUELO HUMEDO + TARRO	gr	230.98
SUELO SECO + TARRO	gr	202.98
PESO DEL TARRO	gr	24.00
PESO DEL AGUA	gr	28.00
PESO DEL SUELO SECO	gr	178.98
HUMEDAD %	%	15.64

### LIMITE LIQUIDO - LIMITE PLASTICO E INDICE DE PLASTICIDAD ASTM - D424 D-4318 AASHTO - T90

TARRO N°		LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLASTICO	
		1	2	3	A	B
SUELO HUMEDO + TARRO	gr	42.56	43.58	43.87	14.87	14.93
SUELO SECO + TARRO	gr	38.98	39.89	39.96	13.68	13.78
PESO DEL TARRO	gr	28.25	28.62	29.14	8.00	8.00
PESO DEL AGUA	gr	3.58	3.69	3.91	1.19	1.15
PESO DEL SUELO SECO	gr	10.73	11.27	10.82	5.68	5.78
HUMEDAD %	%	33.36	32.74	36.14	20.95	19.90
N° DE GOLPES		30	25	15		

**LIMITE LIQUIDO** : 33.61      **LIMITE PLASTICO** : 20.42

**INDICE PLASTICO** : 13.18

$LL = W_n * (N/25)^{0.121}$   
Donde:  
LL = Limite Liquido  
Wn = Contenido de Humedad Promedio (%)  
N = Numero de Golpes



UNIVERSIDAD ANDINA "NESTOR CACERES VELASQUEZ"  
FICP - CAP INGENIERIA CIVIL  
*Metr. Arnaldo Yano Torres*  
CIP: 103257



UNIVERSIDAD ANDINA "NESTOR CACERES VELASQUEZ" DE SUELOS  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS



**PROYECTO** : IMPACTO DE LA INCLUSIÓN DE CENIZA DE MALEZAS Y CENIZA DE LEÑA DE CIPRÉS EN CANTIDADES PROGRESIVAS SOBRE LAS PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE DE LA CARRETERA PALCA – VILAVILA 2024

**SOLICITANTE** : BACHILLER MILAN LEONIDAS ITO PACORI

**UBICACIÓN** : PALCA-VILA VILA

**LUGAR** : LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS

**MUESTRA** : MUESTRA CON 12% DE CENIZAS DE LEÑA DE CIPRÉS

**FECHA** : 15 DE JULIO DEL 2024

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

SUELO HUMEDO + TARRO	gr	228.67
SUELO SECO + TARRO	gr	202.87
PESO DEL TARRO	gr	24.20
PESO DEL AGUA	gr	25.80
PESO DEL SUELO SECO	gr	178.67
HUMEDAD %	%	14.44

### LIMITE LIQUIDO - LIMITE PLASTICO E INDICE DE PLASTICIDAD ASTM - D424 D-4318 AASHTO - T90

TARRO N°		LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLASTICO	
		4	5	6	C	D
SUELO HUMEDO + TARRO	gr	43.25	43.15	42.62	15.24	15.53
SUELO SECO + TARRO	gr	39.51	39.48	39.27	13.92	14.26
PESO DEL TARRO	gr	28.36	28.72	29.64	8.00	8.00
PESO DEL AGUA	gr	3.74	3.67	3.35	1.32	1.27
PESO DEL SUELO SECO	gr	11.15	10.76	9.63	5.92	6.26
HUMEDAD %	%	33.54	34.11	34.79	22.30	20.29
N° DE GOLPES		30	25	15		

**LIMITE LIQUIDO** : 33.70      **LIMITE PLASTICO** : 21.29

**INDICE PLASTICO** : 12.41

$LL = Wn * (N/25)^{0.121}$   
Donde:  
LL = Limite Liquido  
Wn = Contenido de Humedad Promedio (%)  
N = Numero de Golpes



UNIVERSIDAD ANDINA "NESTOR CACERES VELASQUEZ"  
FICP - CAP. INGENIERIA CIVIL  
Mgtr. Arnaldo Yana Torres  
CIP 103257



UNIVERSIDAD ANDINA "NESTOR CACERES VELASQUEZ"  
FACULTAD DE INGENIERIAS Y CIENCIAS PURAS  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS



**PROYECTO** : IMPACTO DE LA INCLUSIÓN DE CENIZA DE MALEZAS Y CENIZA DE LEÑA DE CIPRÉS EN CANTIDADES PROGRESIVAS SOBRE LAS PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE DE LA CARRETERA PALCA – VILAVILA 2024  
**SOLICITANTE** : BACHILLER MILAN LEONIDAS ITO PACORI  
**UBICACIÓN** : PALCA-VILA VILA  
**LUGAR** : LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS  
**MUESTRA** : MUESTRA CON 20% DE CENIZAS DE LEÑA DE CIPRÉS  
**FECHA** : 15 DE JULIO DEL 2024

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

SUELO HUMEDO + TARRO	gr	228.64
SUELO SECO + TARRO	gr	203.55
PESO DEL TARRO	gr	23.64
PESO DEL AGUA	gr	25.09
PESO DEL SUELO SECO	gr	179.91
HUMEDAD %	%	13.95

### LIMITE LIQUIDO - LIMITE PLASTICO E INDICE DE PLASTICIDAD ASTM - D424 D-4318 AASHTO - T90

TARRO.Nº		LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLASTICO	
		7	8	9	E	F
SUELO HUMEDO + TARRO	gr	42.89	43.56	43.14	15.22	15.15
SUELO SECO + TARRO	gr	39.29	39.86	39.74	13.93	13.89
PESO DEL TARRO	gr	28.35	28.47	29.38	8.00	8.00
PESO DEL AGUA	gr	3.60	3.70	3.40	1.29	1.26
PESO DEL SUELO SECO	gr	10.94	11.39	10.36	5.93	5.89
HUMEDAD %	%	32.91	32.48	32.82	21.75	21.39
Nº DE GOLPES		30	25	15		

**LIMITE LIQUIDO** : 32.33      **LIMITE PLASTICO** : 21.57

**INDICE PLASTICO** : 10.75

$LL = W_n * (N/25)^{0.121}$   
Donde:  
LL = Limite Liquido  
Wn = Contenido de Humedad Promedio (%)  
N = Numero de Golpes



UNIVERSIDAD ANDINA "NESTOR CACERES VELASQUEZ"  
FICP - CARR. INGENIERIA CIVIL

Mgtr. Arnaldo Yana Torres  
CIF. 103257



ANEXO 1  
FORMULARIO DE AUTORIZACIÓN

AUTORIZACIÓN PARA LA INCORPORACIÓN DE LOS  
TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN  
EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL UANCV

Formato digital

Fecha de entrega: 30-10-2024

1. Datos del autor (es):

Nombres y Apellidos: MILAN LEONIDAS ITO PACORI

Dirección: COMUNIDAD CAMPESINA CAMINACOYA

DNI/Carné de Extranjería/Pasaporte N°: 74761586

Teléfono: 964 324 844 email: milamitopacori@gmail.com

Nombres y Apellidos:

Dirección:

DNI/Carné de Extranjería/Pasaporte N°:

Teléfono: email:

Facultad y/o Escuela de Posgrado: INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

Escuela Profesional o Mención: INGENIERÍA CIVIL

Título o Grado Académico a optar: TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

Asesor: Mgtr. FRANZ JOSEPH BARAHONA PERALES

Esta obra se encuentra dentro de las siguientes denominaciones:

Trabajo de Investigación  Tesis  Trabajo de Suficiencia Profesional  Trabajo Académico

Título: IMPACTO DE LA INCLUSIÓN DE CENIZA DE MALEZA Y CENIZA DE LEÑA DE

CIPRÉS EN CANTIDADES PROGRESIVAS SOBRE LAS PROPIEDADES DE

LA SUBRASANTE DE LA CARRETERA PALCA - VILAVILA 2024

Palabras claves, (3 a 5 términos): CENIZA DE MALEZAS, CENIZA DE LEÑA DE CIPRÉS, SUBRASANTE, ÍNDICE DE PLASTICIDAD, GRADO DE COMPACTACIÓN Y CAPACIDAD DE SOPORTE CBR.

¿Esta obra se desarrolló en la UANCV <sup>1, 2?</sup>

1

<sup>1</sup> 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.

<sup>2</sup> 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     Titulo     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

30-10-2024

Fecha