



**UNIVERSIDAD ANDINA**

**NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ**

**FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DE LA CENIZA DE MADERA EN EL  
COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE SUELOS ARCILLOSOS EN LAS  
VÍAS DE LA URBANIZACIÓN VILLA MEDICA DE LA CIUDAD DE  
JULIACA PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LA SUBRASANTE**

**TESIS PRESENTADA POR:**

**Bach. DENIES RUSSELI HUANACUNI LLANQUE**

**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**

**INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DE LA CENIZA DE MADERA EN EL  
COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE SUELOS ARCILLOSOS EN LAS  
VÍAS DE LA URBANIZACIÓN VILLA MEDICA DE LA CIUDAD DE  
JULIACA PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LA SUBRASANTE**

TESIS PRESENTADA POR:

**Bach. DENIES RUSSELI HUANACUNI LLANQUE**

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

APROBADA POR EL JURADO REVISOR:

**PRESIDENTE**

: \_\_\_\_\_  
Dr. MILTHON QUISPE HUANCA

**PRIMER MIEMBRO**

: \_\_\_\_\_  
Dr. EFRAIN PARILLO SOSA

**SEGUNDO MIEMBRO**

: \_\_\_\_\_  
Mgtr. FRANZ JOSEPH BARAHONA PERALES

**ASESOR DE TESIS**

: \_\_\_\_\_  
Dr. ARNALDO YANA TORRES

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN**

: TECNOLOGÍA DE MATERIALES – P17

**RESOLUCIÓN DECANAL N° 1764-2024-D-UI-FICP-UANCV**

Juliaca, 13 de diciembre del 2024

**VISTO:** El expediente N° 2024- 18538 presentado por el (la) Bachiller: **DENIES RUSSELI HUANACUNI LLANQUE** 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. **DENIES RUSSELI HUANACUNI LLANQUE**, quien solicita **NOMINACIÓN DE JURADOS Y PROGRAMACIÓN DE FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN** de la Tesis Titulado: **INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DE LA CENIZA DE MADERA EN EL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE SUELOS ARCILLOSOS EN LAS VÍAS DE LA URBANIZACIÓN VILLA MEDICA DE LA CIUDAD DE JULIACA PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LA SUBRASANTE**, la misma que pertenece a la línea de investigación **TECNOLOGÍA DE MATERIALES** 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** : Mgtr. FRANZ JOSEPH BARAHONA PERALES

**ARTICULO SEGUNDO. - RECONOCER** como asesor de la propuesta de investigación (tesis) de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras al (a la) docente, **Dr. ARNALDO YANA TORRES**.

**ARTICULO TERCERO. - APROBAR**, la **FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS** de el (la) bachiller: **DENIES RUSSELI HUANACUNI LLANQUE**; del informe final de la investigación (tesis) titulado: **INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DE LA CENIZA DE MADERA EN EL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE SUELOS ARCILLOSOS EN LAS VÍAS DE LA URBANIZACIÓN VILLA MEDICA DE LA CIUDAD DE JULIACA PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LA SUBRASANTE** para optar el Título Profesional de **Ingeniero Civil**. de acuerdo al siguiente detalle:

- \* **FECHA** : Jueves 19 de diciembre del 2024
- \* **HORA** : 09:00 horas
- \* **LUGAR** : Aula 406 - FICP

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

Regístrese, Comuníquese, Archívese.



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y C. PURAS  
.....  
Dr. MILTHON QUISPE HUANCA  
DECANO  
CIP. 47790



.....  
Dr. Efrain Parillo Sosa  
DIRECTOR  
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

cc.  
Archivo  
interesado (a)



**RESOLUCIÓN DECANAL N° 1476-2024-D-UI-FICP-UANCV**

Juliaca, 08 de noviembre del 2024

**VISTO:** El expediente N° 2024-CU - 15603 por el señor (a): **DENIES RUSSELI HUANACUNI LLANQUE** quien solicita **REVISIÓN DEL INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (borrador de tesis)**, el PROVEIDO - N° 1286 - 2024-UI-FICP-UANCV/J, y la **FICHA DE OPINIÓN DEL INFORME FINAL DE LA INVESTIGACION (BORRADOR DE TESIS)** formato N° 247 - 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): **DENIES RUSSELI HUANACUNI LLANQUE**, ha presentado su informe final de la investigación (borrador de tesis) Titulado: **INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DE LA CENIZA DE MADERA EN EL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE SUELOS ARCILLOSOS EN LAS VÍAS DE LA URBANIZACIÓN VILLA MEDICA DE LA CIUDAD DE JULIACA PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LA SUBRASANTE**, para optar el Título Profesional de **Ingeniero Civil**.

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales; el integrante del comité de investigación **Dr. Arnaldo Yana Torres** de la Escuela Profesional de **Ingeniería Civil** de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, emitió la ficha de opinión del informe final de la investigación (borrador de tesis) formato N° 247 - 2024 **aprobando** el informe final de la investigación (borrador de tesis) titulado: **INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DE LA CENIZA DE MADERA EN EL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE SUELOS ARCILLOSOS EN LAS VÍAS DE LA URBANIZACIÓN VILLA MEDICA DE LA CIUDAD DE JULIACA PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LA SUBRASANTE**, Correspondiente a la línea de investigación **TECNOLOGÍA DE MATERIALES**.

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): **DENIES RUSSELI HUANACUNI LLANQUE**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil, con el Tema Titulado: **INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DE LA CENIZA DE MADERA EN EL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE SUELOS ARCILLOSOS EN LAS VÍAS DE LA URBANIZACIÓN VILLA MEDICA DE LA CIUDAD DE JULIACA PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LA SUBRASANTE** correspondiente a la línea de investigación **TECNOLOGÍA DE MATERIALES**, en virtud a los considerandos expuestos.

**ARTÍCULO SEGUNDO.- RATIFICAR** como **ASESOR DE INVESTIGACIÓN** al (a) la), **Dr. ARNALDO YANA TORRES**.

**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 CIENCIAS PURAS

Dr. Efraim Parillo Sosa  
DIRECTOR  
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

cc.  
Archivo  
interesado (a)



**RESOLUCIÓN DECANAL N° 599-2024-D-UI-FICP-UANCV**

Juliaca, 09 de julio del 2024

**VISTO:** El expediente N° 2024-CU- 7601, presentado el señor (a) **DENIES RUSSELI HUANACUNI LLANQUE** solicitando **APROBACIÓN DE LA PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN** el PROVEIDO – N° 585 -2024-UI-FICP-UANCV/J, y la **FICHA DE OPINIÓN DE LA PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN** formato N° 184-2024 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): **DENIES RUSSELI HUANACUNI LLANQUE** ha presentado su propuesta de investigación Titulado: **INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DE LA CENIZA DE MADERA EN EL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE SUELOS ARCILLOSOS EN LAS VÍAS DE LA URBANIZACIÓN VILLA MEDICA DE LA CIUDAD DE JULIACA PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LA SUBRASANTE**, 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° 184-2024- aprobando la propuesta de investigación titulado: **INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DE LA CENIZA DE MADERA EN EL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE SUELOS ARCILLOSOS EN LAS VÍAS DE LA URBANIZACIÓN VILLA MEDICA DE LA CIUDAD DE JULIACA PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LA SUBRASANTE**.

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 señor (a): **DENIES RUSSELI HUANACUNI LLANQUE**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil, con el Tema Titulado: **INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DE LA CENIZA DE MADERA EN EL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE SUELOS ARCILLOSOS EN LAS VÍAS DE LA URBANIZACIÓN VILLA MEDICA DE LA CIUDAD DE JULIACA PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LA SUBRASANTE** correspondiente a la línea de investigación **TECNOLOGÍA DE MATERIALES**.

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. ARNALDO YANA TORRES**.

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

Regístrese, Comuníquese, Archívese.



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

Dr. MILTHON QUISEP HUANCA  
DECANO  
CIP. 47790



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

Dr. Eirain Parillo Sosa  
DIRECTOR  
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

cc.  
Archivo 2024  
Interesado (a)



## INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DE LA CENIZA DE MADERA EN EL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE SUELOS ARCILLOSOS EN LAS VÍAS DE LA URBANIZACIÓN VILLA MEDICA DE LA CIUDAD DE JULIACA PARA LA ESTABILIZACIÓN DE L

### INFORME DE ORIGINALIDAD

18%

INDICE DE SIMILITUD

17%

FUENTES DE INTERNET

2%

PUBLICACIONES

7%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

### FUENTES PRIMARIAS

1	<a href="http://repositorio.upla.edu.pe">repositorio.upla.edu.pe</a> Fuente de Internet	5%
2	<a href="http://hdl.handle.net">hdl.handle.net</a> Fuente de Internet	5%
3	Submitted to Universidad Andina Nestor Caceres Velasquez Trabajo del estudiante	3%
4	<a href="http://repositorio.continental.edu.pe">repositorio.continental.edu.pe</a> Fuente de Internet	1%
5	<a href="http://repositorio.ucv.edu.pe">repositorio.ucv.edu.pe</a> Fuente de Internet	1%
6	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante	<1%
7	<a href="http://core.ac.uk">core.ac.uk</a> Fuente de Internet	<1%




## Metadatos Complementarios UANCV



<b>Título de la tesis</b>	
INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DE LA CENIZA DE MADERA EN EL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE SUELOS ARCILLOSOS EN LAS VÍAS DE LA URBANIZACIÓN VILLA MEDICA DE LA CIUDAD DE JULIACA PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LA SUBRASANTE	
<b>Datos de autor</b>	
Nombres y apellidos	DENIES RUSSELI HUANACUNI LLANQUE
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	48441101
URL de ORCID	<a href="https://orcid.org/0009-0002-2337-2969">https://orcid.org/0009-0002-2337-2969</a>
<b>Datos de asesor</b>	
Nombres y apellidos	ARNALDO YANA TORRES
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	41414676
URL de ORCID	<a href="https://orcid.org/0000-0002-6740-5024">https://orcid.org/0000-0002-6740-5024</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	FRANZ JOSEPH BARAHONA PERALES
Tipo de documento	DNI



Número de documento de identidad	02442876
<b>Datos de investigación</b>	
Línea de investigación	Tecnología de Materiales - P17
Grupo de investigación	No aplica.
Agencia de financiamiento	Recursos propios
Ubicación geográfica de la investigación	<p>País: Perú Departamento: Puno Provincia: San Román Distrito: Juliaca</p> <ul style="list-style-type: none"><li>- Latitud: S 15° 29' 27''</li><li>- Longitud: O 70° 07' 37''</li></ul>  <p><a href="https://www.google.com/maps/d/edit?mid=1W5GqobzVw7QQMMW-3ny6fsCl41wJU&amp;usp=sharing">https://www.google.com/maps/d/edit?mid=1W5GqobzVw7QQMMW-3ny6fsCl41wJU&amp;usp=sharing</a></p>
Año o rango de años en que se realizó la investigación	Julio 2024 – Noviembre 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	Ingeniería de la construcción <a href="https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.03">https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.03</a>  Ingeniería civil <a href="https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.01">https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.01</a>

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CUSCO  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS  
DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN  
DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN  
Dr. Efraín Parillo Sosa  
DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN  
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN



### DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD Y RESPONSABILIDAD

Yo DENIES RUSSELI HUANACUNI LLANQUE, identificado con DNI Nro. 48441101, en mi condición de egresado de:

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

INGENIERIA CIVIL

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

INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DE LA CENIZA DE MADERA EN EL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE SUELOS ARCILLOSOS EN LAS VÍAS DE LA URBANIZACIÓN VILLA MEDICA DE LA CIUDAD DE JULIACA PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LA SUBRASANTE

Asesorado por: Dr. ARNALDO YANA TORRES

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 31 de DICIEMBRE del 2024

Firma del Asesor  
(obligatoria)

Firma del Estudiante  
(obligatoria)



Huella



## DEDICATORIA

*En primer lugar, a mis padres.*



## AGRADECIMIENTO

*A Dios.*



## ÍNDICE GENERAL

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

### CAPITULO I

#### EL PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN

1.1 Exposición de la situación problemática.....	1
1.2 Planteamiento del problema.....	3
1.2.1 Pregunta general.....	3
1.2.2 Preguntas específicas.....	3
1.3 Justificación de la investigación.....	4
1.3.1 Justificación practica.....	4
1.3.2 Justificación técnica.....	4
1.3.3 Justificación social.....	4
1.3.4 Justificación metodológica.....	5
1.4 Objetivos.....	5
1.4.1 Objetivo general.....	5



1.4.2	Objetivos específicos .....	5
1.5	Hipótesis.....	6
1.5.1	Hipótesis general.....	6
1.5.2	Hipótesis específicas.....	6
1.6	Variables e indicadores .....	6
1.7	Operacionalización de variables.....	7

## CAPITULO II

### MARCO TEORICO REFERENCIAL

2.1	Antecedentes de la investigación .....	8
2.1.1	Antecedentes internacionales.....	8
2.1.2	Antecedentes nacionales .....	10
2.1.3	Antecedentes locales.....	12
2.2	Marco teórico .....	13
2.2.1	Cenizas.....	13
2.2.2	Estabilización de suelos .....	17
2.2.3	Ensayos de laboratorio.....	25
2.3	Marco conceptual .....	28

## CAPITULO III

### METODOLÓGIA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1	Diseño de la investigación .....	30
3.1.1	Nivel de investigación .....	30
3.1.2	Diseño de la investigación .....	30



3.1.3	Tipo de investigación	30
3.1.4	Método de investigación	31
3.2	Población y muestra .....	31
3.2.1	Población .....	31
3.2.2	Muestra .....	31
3.3	Técnicas de procesamiento.....	31
3.3.1	Ensayos de laboratorio	31

## CAPITULO IV

### RESULTADOS Y ANALISIS

4.1	Presentación de resultados de la investigación.....	36
4.1.1	Adición de ceniza de madera en el suelo arcilloso (Suelo 100%) .....	36
4.1.2	Adición de ceniza de madera en la humedad natural del suelo arcilloso .....	38
4.1.3	Adición de ceniza de madera en el índice de plasticidad .....	39
4.1.4	Adición de ceniza de madera en las MDS del suelo arcilloso .....	40
4.1.5	Adición de cenizas de maderas en el CBR del suelo arcilloso .....	42
4.2	Discusión.....	44
	CONCLUSIONES.....	48
	RECOMENDACIONES .....	50
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	52
	ANEXOS .....	55



## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Operacionalización de variables .....	7
<b>Tabla 2</b> muestras tomadas .....	31
<b>Tabla 3</b> análisis granulométrico suelo natural .....	36
<b>Tabla 4</b> granulometría -ceniza de madera.....	37
<b>Tabla 5</b> resumen de contenido de humedad.....	38
<b>Tabla 6.</b> resumen de índice de plasticidad .....	39
<b>Tabla 7</b> optimo contenido de humedad.....	40
<b>Tabla 8</b> máxima densidad seca .....	41
<b>Tabla 9</b> Capacidad portante al 95% .....	42
<b>Tabla 10.</b> Capacidad portante al 100% .....	43



## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> residuos de ceniza .....	13
<b>Figura 2</b> clasificación de cenizas volantes.....	14
<b>Figura 3</b> muestra de un suelo acrisolo .....	18
<b>Figura 4</b> Minerales de arcilla.....	19
<b>Figura 5</b> estabilización de suelos .....	22
<b>Figura 6</b> Tipos de estabilización de suelos .....	24
<b>Figura 7.</b> Clasificación de Suelos según SUCS .....	33
<b>Figura 8</b> Categorización según AASTHO .....	33
<b>Figura 9</b> granulometría del suelo natural.....	37
<b>Figura 10</b> curva de la ceniza de madera .....	38
<b>Figura 11.</b> contenido de humedad.....	38
<b>Figura 12</b> límites de consistencia.....	39
<b>Figura 13</b> Contenido de humedad optimo .....	40
<b>Figura 14.</b> máxima densidad seca.....	41
<b>Figura 15</b> CBR al 95% de MDS .....	42
<b>Figura 16</b> CBR al 100% de MDS .....	43



## RESUMEN

La innovación técnica y la investigación innovadora en nuevos métodos de estabilización de suelos son las fuerzas impulsoras detrás de la investigación experimental que examina el impacto de la ceniza de madera en la estabilización del suelo para el pavimento en el desarrollo Villa Medica en Juliaca. Este estudio cumple con el objetivo que se estableció. Los objetivos del estudio se lograron mediante el uso de un diseño de investigación que se basó en el método científico aplicado. Para realizar actividades de exploración y muestreo, el plan requirió la excavación de tres pozos de prueba. Con el fin de determinar el impacto que tiene la ceniza de madera en las propiedades mecánicas del suelo, se llevaron a cabo investigaciones de mecánica de suelos en muestras de pavimento. En los estudios, se emplearon cantidades reguladas de ceniza de madera al 8%, 12% y 18% respectivamente. Para recolectar los datos, se realizó un escaneo electromagnético en la muestra de suelo mientras estaba en su estado natural. El propósito de este estudio fue investigar las características físicas y mecánicas del suelo y hacer determinaciones sobre ellas. Los tonos beige a rojizos del suelo se observaron durante la evaluación del nivel de humedad, que también se realizó. A continuación, se realizó el mismo examen en la muestra a la que se había añadido el aditivo regulado. En el caso en que el nivel de incorporación es del 12% y el contenido de cenizas de madera es del 95%, las dosis indicadas de cenizas de madera dan como resultado un valor CBR del 29,10%. Se logró un progreso significativo en la consecución del aumento del CBR.

**Palabras Clave:** Ceniza de madera, estabilización de suelos, suelos arcillosos, subrasante.



## ABSTRACT

Research on the impact of wood ashes on the soil stabilization process for paving at Juliaca's Villa Medica housing complex might be undertaken experimentally. This may be accomplished by exploring new ways to stabilize soil using technology and creativity. The goal of this research has evolved. To meet the research aims, it was needed to suggest an applied scientific investigation. In order to collect data for this analysis, three exploratory trenches will be dug. The samples were tested in soil mechanics studies meant for paving to find out how different concentrations of wood ash (8, 12, and 18 percent) affected the soil's mechanical properties. In its unprocessed form, the soil sample was run through an EMS to ascertain the physical and mechanical characteristics of the soil. This was one step in the process that yielded the results. A range of soil colors, from beige to reddish, and their moisture content were collected. Afterwards, the sample that had the required addition underwent the same assessment. Using the recommended amounts of wood ash for this process, the CBR value was 29.10% at 95%, with 12% wood ash included. A substantial increase in CBR was therefore attained.

**Key words:** Wood ash, soil stabilization, clay soils, subgrade.



## INTRODUCCIÓN

La infraestructura vial de una nación es el principal determinante de su nivel de desarrollo, ya que facilita la comunicación rápida entre poblaciones y lugares distantes, promoviendo así el comercio, el turismo y el surgimiento de nuevos mercados. En consecuencia, es esencial que las carreteras se construyan teniendo como prioridades la durabilidad y la calidad. La resiliencia insuficiente de algunos suelos importantes, atribuida a los niveles elevados de arcilla y/o limo, es una barrera importante para el establecimiento de carreteras de calidad adecuada en ciertas localidades. En consecuencia, se utilizan muchas tácticas o tecnologías, incluidas la cal, el cemento y los aditivos, para mejorar la resistencia. Las características individuales del suelo se toman en consideración al adaptar estas estrategias y tecnologías. La mayoría de los caminos rurales en Perú están en malas condiciones o totalmente sin pavimentar, según lo indicado por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC). Además, el 89,9% de los caminos departamentales en este estado también están en condiciones similares. Esto se debe principalmente a los suelos muy inestables que se encuentran en estas regiones. La razón de esto es que las carreteras en estas áreas están situadas en áreas más rurales. Según Soriano, C. (2012), alrededor de 2.000 hornos de ladrillos en el Perú son operados por artesanos. La quema de madera produce cenizas de fondo como producto de desecho. La ceniza volante, caracterizada por su textura más fina y mayor disponibilidad atmosférica, y la ceniza de fondo, que es más densa y gruesa, son las dos clasificaciones de esta sustancia.

Perú genera alrededor de 53,500 toneladas de ceniza de fondo anualmente. Esta sustancia ahora se considera un residuo; sin embargo, los estudios sobre cenizas volantes de plantas de energía indican que sus características cementantes la hacen muy beneficiosa. Investigaciones posteriores llevaron al desarrollo de aplicaciones cada vez más sofisticadas para las cenizas volantes.



Este estudio tiene 4 capítulos.

El primer capítulo articula el enunciado del problema enmarcándolo como una pregunta. También se presenta un esquema de los objetivos que se requieren para abordar el problema, y estos objetivos muestran la importancia del problema dentro de los contextos sociales, teóricos y metodológicos.

En el segundo capítulo, se discuten los fundamentos teóricos que sustentan el estudio. Este marco incorpora investigaciones anteriores que se llevaron a cabo a escala nacional y mundial. Además de esto, se proporciona una descripción general de los fundamentos teóricos y la terminología central que se requieren para comprender el estudio. Mientras esto sucede, se formula la hipótesis como una posible solución al problema y también se discuten los factores conceptuales. El enfoque de investigación, que abarca la metodología, el alcance y el diseño del estudio, se discute en el Capítulo III de este libro. En esta parte, discutiremos la demografía de la investigación, así como la muestra que se utilizó, así como el equipo y las técnicas que se utilizaron para recopilar datos y los procedimientos que se utilizaron para lograr los hallazgos. Los hallazgos de todos los subobjetivos que contribuyeron al objetivo general del estudio se detallan en el Capítulo IV.



## CAPITULO I

### EL PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN

#### 1.1 Exposición de la situación problemática

Los suelos son los materiales de construcción más utilizados y más extendidos en la ingeniería civil, y sirven como base para la mayoría de las estructuras; por lo tanto, es esencial examinar los suelos desde muchos puntos de vista y requisitos. El desarrollo de infraestructuras de comunicación avanzadas, que incluye la construcción de carreteras, canales, defensas contra inundaciones y taludes de manera adecuada.

En el caso de la limpieza de caminos, los taludes y terraplenes deben ser estables, y los suelos arcillosos no siempre cumplen con este requisito debido a su alto índice de plasticidad, deformaciones considerables y poca resistencia. Para evitar la necesidad de una sustitución total del suelo, que requeriría una inversión financiera considerable y un uso excesivo de los recursos naturales, es imperativo que se adopten primero enfoques de mejora. Así lo afirman Gil y Núñez (2018), en las páginas 14 y 15.

Las recientes restricciones ambientales y la legislación en Europa han tenido un impacto en las prácticas que incluyen el uso de cenizas de carbón. En virtud de la Directiva Marco de Residuos 2008/98/CE, los Estados miembros se vieron obligados a aplicar



normas sobre el uso del carbón en el año 2011. Según esta directiva, los Estados miembros están obligados a describir los subproductos de la combustión del carbón que se consideran subproductos, así como las condiciones en las que un material deja de considerarse residuo. Según el Reglamento sobre evaluación, autorización y restricción de sustancias químicas, las empresas que quieran vender productos de combustión deben registrar sus productos (Morales, 2015).

Este concepto no pretende ser una norma, sino más bien una ayuda para la planificación y construcción de capas estructurales de pavimentos estabilizados químicamente (Bogotá, 2005). Esta propuesta excluye la activación alcalina y las cenizas de carbón. Como consecuencia del uso de una amplia gama de residuos industriales en el proceso de estabilización de suelos, se han logrado resultados ecológicamente sostenibles, junto con cualidades físicas, químicas y mecánicas adecuadas. Como consecuencia de ello, ahora existen alternativas realistas a los materiales convencionales utilizados en la construcción de carreteras (Morales, 2015).

Como se indica en el documento titulado "Clasificación de carreteras del Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú", la mayor parte de los daños se producirán en las redes conectadas a los departamentos y municipios, además de las intersecciones. Estas carreteras constituyen aproximadamente el 14% y 15% del impacto global, respectivamente. El paso de la ruta por la cordillera la hace vulnerable a deslizamientos, caídas y derrumbes causados por las fuertes pendientes, terreno accidentado y altos desniveles. Además, se encuentran en zonas susceptibles a inundaciones como resultado de su litología, composición de suelos y planicies o terrazas con drenaje inadecuado (Ministerio del Ambiente, 2011). Estas localidades se caracterizan por su volatilidad.



La producción de ladrillos artesanales en la región de Jauja da lugar a la creación de cenizas de fondo, que son un subproducto del proceso. Este subproducto ayuda a la resiliencia de los ladrillos, así como a su calidad general. La estabilización de suelos con este químico reducirá la probabilidad de que estos materiales se filtren a los ríos y se propaguen a otras regiones, donde podrían causar enfermedades. La clasificación S.U.C.S. indica que Juliaca, ubicada en el departamento de Puno, se caracteriza principalmente por suelos arcillosos. Aunado a ello, la provincia de San Román no cuenta con avenidas pavimentadas, lo que trae como consecuencia enormes problemas para los habitantes de la zona, sobre todo en época de lluvias, cuando es imposible movilizarse. Como resultado de la existencia de suelos pobres y condiciones climáticas extremas, así como la falta de técnicas adecuadas de prevención y mantenimiento, las carreteras de la zona se convierten en lugares vulnerables a posibles peligros. Esta investigación se lleva a cabo con la intención de determinar cómo la incorporación de cenizas de fondo en suelos arcillosos afecta la capacidad del suelo para mantener su estabilidad.

## **1.2 Planteamiento del problema**

### **1.2.1 *Pregunta general***

¿Qué sucede con las propiedades mecánicas de la estabilización de la subrasante de los suelos arcillosos de las carreteras en el uso de cenizas de madera en la urbanización de Villa Medica de la localidad de Juliaca?

### **1.2.2 *Preguntas específicas***

- ¿Qué tipo de efectos tiene el uso de cenizas de madera en la subrasante de Juliaca?
- ¿Cómo afecta la aplicación de cenizas de madera a la subrasante de Juliaca a la densidad seca máxima del material en consideración?



- ¿Existe una correlación entre la aplicación de cenizas de madera y la relación de soporte de la subrasante en el área de Juliaca?

### **1.3 Justificación de la investigación**

#### **1.3.1 Justificación practica**

Los suelos arcillosos pueden estabilizarse con la ayuda de la ceniza de fondo, aumentando su capacidad y resistencia; esto da como resultado un CBR apropiado para las subrasantes de California. Esto se logra mejorando las características del suelo.

#### **1.3.2 Justificación técnica**

Como consecuencia de la Norma Técnica Peruana (NTP) y el Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE), el uso de cenizas volantes con fines de estabilización de suelos ha cobrado mayor importancia. Estas directrices proporcionan un punto de referencia para la incorporación de materiales complementarios o especializados para estabilizar los suelos.

El objetivo de esta iniciativa es establecer una base de investigación para mejorar los suelos utilizando principalmente recursos locales. Dado que brinda oportunidades para mejorar las propiedades físicas y mecánicas del suelo, esto será de gran ayuda para importantes proyectos de construcción de carreteras que se están llevando a cabo en la región.

#### **1.3.3 Justificación social**

El uso de ceniza de madera de fondo dará lugar a la estabilidad de los suelos arcillosos, lo que se traducirá en un aumento de la accesibilidad de los vehículos en la ruta principal y fomentará la actividad comercial. Por lo tanto, se traducirá en una mejora en el estatus económico de las personas que hoy habitan en la selva central. Además de esto, proporciona a los involucrados en la construcción de ladrillos la posibilidad de lograr autonomía económica a través de la producción de ceniza de madera de fondo.



### **1.3.4 Justificación metodológica**

Para estabilizar los suelos arcillosos, un método consiste en mezclar en las muestras de suelo un ocho, un doce y un dieciocho por ciento de ceniza de madera, según su peso. Este es uno de los métodos que se utilizarán. El objetivo de utilizar este método es encontrar la fracción óptima de ceniza de madera para la estabilidad.

## **1.4 Objetivos**

### **1.4.1 Objetivo general**

El propósito de esta investigación es explorar el impacto que tiene la incorporación de ceniza de madera en las cualidades mecánicas de los suelos arcillosos que se encuentran en las vías de acceso del desarrollo Villa Medica en Juliaca. Este estudio se realiza con la intención de analizar el impacto que tiene la ceniza de madera en la posibilidad de estabilizar las subrasantes.

### **1.4.2 Objetivos específicos**

- Es necesario realizar una evaluación del suelo de la subrasante de Juliaca para identificar los efectos del tratamiento con ceniza de madera.
- En lo que se refiere a la densidad seca máxima de la subrasante que se utiliza en Juliaca, se debe realizar una investigación para identificar el impacto que tiene el tratamiento con cenizas de madera.
- Los resultados del estudio del impacto que tuvo el tratamiento con cenizas de madera en la relación de soporte de la subrasante en Juliaca deberían publicarse lo antes posible debido a su importancia.



## 1.5 Hipótesis

### 1.5.1 Hipótesis general

Cuando se realiza la operación de estabilización de subrasante en las vías de circulación del desarrollo Villa Medica en Juliaca, el uso de ceniza de madera tiene un impacto considerable en las cualidades mecánicas de los suelos arcillosos.

### 1.5.2 Hipótesis específicas

- Debido al uso de cenizas de madera, la subrasante en Juliaca ha sufrido una transformación significativa en términos de las propiedades típicas del suelo.
- Debido al uso de cenizas de madera, la densidad seca máxima de la subrasante en Juliaca se ve afectada significativamente. Esto es una consecuencia de la utilización de cenizas de madera. Como resultado del impacto significativo que tiene, esta es la situación.
- El uso de cenizas de madera tiene un impacto significativo en la relación de soporte de la subrasante en Juliaca. Este impacto es significativo en un grado sustancial.

## 1.6 Variables e indicadores

### ✓ Variable independiente

Aplicación de la ceniza de madera

#### a. Indicadores

- Porcentajes

### ✓ Variable dependiente

Estabilización de la subrasante

#### b. Indicadores

- Granulometría



- C. de humedad
- L. liquido, L. plástico
- CBR
- Proctor modificado

## 1.7 Operacionalización de variables

**Tabla 1.** Operacionalización de variables

VARIABLES	DEFINICIÓN	DIMENSIÓN	INDICADOR
<b>Variable independiente:</b> <b>Aplicación de la ceniza de madera</b>	El carbón, que a menudo se conoce como ceniza de madera, se produce cuando las plantas de energía térmica queman carbón pulverizado. El carbón se produce cuando se quema carbón. La combustión puede crear tres tipos distintos de cenizas: cenizas de fondo, cenizas volantes (según la definición de la Sociedad Americana de Pruebas y Materiales) y cenizas mixtas. Las cenizas de fondo son el último resultado del proceso de combustión.	%	Porcentaje
<b>Variable dependiente:</b> <b>Estabilización de la subrasante</b>	La estabilidad del suelo, entonces, es el proceso de lograr las características requeridas mediante la mejora de las propiedades físico-mecánicas del suelo mediante tratamientos químicos o físicos.	Propiedades físicas mecánicas	Granulometría C. de humedad LL, LP CBR Proctor modificado



## CAPITULO II

### MARCO TEORICO REFERENCIAL

#### 2.1 Antecedentes de la investigación

##### 2.1.1 Antecedentes internacionales

El título de la tesis: "Estabilización mecánica de suelos cohesivos utilizando cal y cenizas volantes" fue escrito por Gonzáles (2014) para cumplir con los criterios para la credencial de Ingeniero Civil. Nuestro objetivo al llevar a cabo esta investigación es determinar si la cal y las cenizas volantes pueden mantener eficazmente los suelos cohesivos. Para lograr el objetivo, utilizó una muestra de suelo limoso que comprendía 17 por ciento de ceniza y 3 por ciento de cal, junto con otra muestra que contenía 15 por ciento de ceniza y 5 por ciento de cal. Después de eso, se llevaron al "Laboratorio de la Sección de Mecánica de Suelos" para someterse a una batería de pruebas, como la distribución del tamaño de partícula, gravedades específicas, límite de Atterberg, Proctor, relación de carga de California (CBR), corte directo, triaxial y estudios de permeabilidad. En base a las pruebas de laboratorio, el suelo tenía tres composiciones de plasticidad diferentes: 100% suelo, una composición de suelo de alta plasticidad con 3% de cal y 17% de ceniza, y una composición de suelo de baja plasticidad con 5% de cal y 15% de ceniza, todas en comparación con los límites de Atterberg. Durante la prueba del índice de carga de



California (CBR), la muestra n.º 1, que consistía completamente de suelo, tuvo valores de capacidad de carga de 3,4 %, 18,39 % y 20,05 % para 10, 30 y 65 golpes, respectivamente. Estos valores se determinaron al realizar la prueba. La muestra n.º 2, que consistía en suelo que se había mezclado con 3 % de cal y 17 % de ceniza, tuvo valores de capacidad de carga de 22,70 %, 51,40 % y 75,70 %, respectivamente, cuando se sometió a recuentos de golpes repetidos que fueron iguales. En el caso de la muestra N° 3, compuesta por un suelo con un 5% de cal y un 15% de cenizas, los valores de capacidad portante fueron los siguientes: 47,02%, 74,33% y 81,66% para 10, 30 y 65 golpes, respectivamente. Llegó a la conclusión de que la segunda combinación de suelos cohesivos, que se caracteriza por su naturaleza limosa y contiene un 5% de cal y un 15% de cenizas, tenía un valor de capacidad portante de suelo normal mayor. Además, descubrió que la combinación de cenizas volantes y cal da como resultado un cambio en el valor de capacidad portante inicial que es cuatro veces mayor que antes.

En 2017, Cañar terminó de escribir su tesis para su licenciatura en Ingeniería Civil. El título de la tesis era una investigación que comparaba la estabilidad y la resistencia al corte de suelos arenosos y arcillosos finos mezclados con cenizas de carbón. Las cenizas de carbón son un ejemplo de adición que podría utilizarse para estabilizar dos tipos distintos de suelo. También se realizarán pruebas de laboratorio para determinar la capacidad de carga y la resistencia al corte de los suelos. Antes de realizar el experimento de laboratorio, se llevó a cabo un examen visual de las ubicaciones de las muestras de suelo para clasificar el suelo según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (USCS). A continuación, se realizó el ensayo de límites de Atterberg tras aplicar la distribución del tamaño de las partículas. En el pasado, se utilizaba el ensayo Proctor para evaluar la capacidad de carga (CBR). En la prueba se encontraron dos criterios importantes para evaluar el coeficiente CBR: la humedad ideal del suelo y la densidad seca máxima. En concreto, se utilizó el 25 % de toda la ceniza de carbón, con porcentajes posteriores del 20 %, 23 % y 20 %. Para



determinar la resistencia al esfuerzo cortante de los suelos de cangahua y arcilla plástica, realizamos una «prueba de compresión no confinada». Según los resultados del CBR, la adición de cenizas de carbón a suelos arenosos limosos en cantidades del 20 %, 23 % y 25 % dio como resultado valores de carga del 18,6 %, 19,1 % y 19,6 %, respectivamente. Tanto su rendimiento como su estabilidad van en aumento. En cambio, la arcilla de alta plasticidad mostró valores de capacidad de carga del 9,8 %, 10 % y 11,20 % para los mismos volúmenes de ceniza de carbón. Con su diseño de masa compactada, esta investigación tiene como objetivo mejorar el grado de compactación, el índice de capacidad de carga de California (CBR) y la capacidad de resistencia al cizallamiento. Según los resultados, los suelos expansivos como la arcilla y los suelos arenosos finos mejoran al añadir ceniza de carbón al suelo en una proporción de peso por peso.

### **2.1.2 Antecedentes nacionales**

El propósito de la tesis de López (2021), titulada "Estabilización de suelos con ceniza de arroz para mejorar la calidad del suelo en la zona de Moyobamba, departamento de San Martín", fue explorar las características de la arcilla en su forma más básica. Utilizando la prueba del límite de Atterberg, determinamos el índice de flexibilidad de los suelos arcillosos antes y después de agregar 5, 10 y 15% adicional de cascarilla de arroz. Las mociones han sido adoptadas. Los resultados que siguen demuestran que el índice plástico es mucho más efectivo cuando se combina con cáscara de arroz y ceniza. En ausencia de aditivos, una extracción del 5% produce un rendimiento del 26,5%, una extracción del 10% produce un rendimiento del 26,73% y la adición de ceniza de cáscara de arroz da como resultado un rendimiento del 26,75%, mientras que el potencial zeta natural del suelo es del 23,8%. El efecto es causado por un aumento del contenido de humedad alrededor del umbral de densidad. Los resultados indican que a medida que aumenta la cantidad de ceniza de arroz, el contenido máximo de humedad aumenta mientras que la velocidad máxima de secado disminuye, según se evalúa mediante la característica



de presión. Los resultados de la prueba CBR, realizada a una temperatura de secado de 95 grados Celsius, indicaron que una combinación que contenía 15% de ceniza de cáscara tuvo la mayor eficacia, logrando un CBR del 10,5% a 10 grados Celsius, 6,90% a 5 grados Celsius y 3,96% en el suelo natural.

La investigación de 2018 de Terrones, titulada “Estabilización de suelos mediante la incorporación de ceniza de bagazo de caña de azúcar para mejorar las condiciones del suelo en el sector de Barrasa, Trujillo”, buscó evaluar los efectos de cinco, diez y quince litros de ceniza de bagazo seco en la estabilidad del suelo en la región de Barrasa. Trumpel, 2018. El grupo SUCS reconoció la arcilla de baja plasticidad (CL) y el limo de baja plasticidad (ML) como categorías de suelo dentro de la sección AASHTO. Las clasificaciones de suelo A, A6 y A76 se establecieron, junto con el límite plástico y el índice plástico, mediante pruebas de resistencia a la fluencia. Este es un método para construir el índice compuesto. Por ello, la adaptabilidad de la región seguramente será limitada. De 15,8 a 33,67, con un promedio de 25,7, los niveles de humedad se determinaron mediante el análisis de cinco mediciones. Según una medición de presión elemental no controlada, el modelo de referencia tiene una resistencia a la compresión máxima de alrededor de 13,96 kPa. La resistencia a la compresión alcanzó 33,62 kPa con la adición de cinco CBCA, lo que resultó en un total acumulado de 33,8 kPa. Aumentar el CBCA en 10 grados mejora la resistencia a la compresión máxima de 77,91 kPa a 80,11 kPa.

Un requisito importante para el título de Ingeniería Civil era el uso de cenizas de fondo, un producto de desecho de los hornos de ladrillos artesanales de la zona de Ayacucho, para estabilizar los suelos arcillosos; Mamani y Yataco (2017) abordaron este tema en su tesis. El objetivo principal de este estudio es examinar cómo los suelos arcillosos de la región de Ayacucho se ven afectados por las cenizas de fondo, un producto de desecho de los hornos de ladrillos artesanales. Se diseñó un conjunto de pruebas de laboratorio para evaluar las características físicas y mecánicas de los suelos arcillosos que se han

estabilizado con cenizas de fondo. El objetivo de este experimento era hacer eso. Entre las pruebas físicas realizadas se encontraban la sedimentación, el análisis del tamaño de las partículas del tamiz ASTM D 422, los límites de consistencia ASTM D 4.3.1.8, la clasificación del suelo SUCS y la gravedad específica de los sólidos NTP 3.3.9.1.3.1. Entre las pruebas mecánicas que se utilizaron se encuentran una prueba de cizallamiento directo (ASTM D 3.0.8.0), una prueba de consolidación unidimensional (NTP 339.154) y una prueba Proctor modificada (NTP 3.3.9.1.4.1). Se observó una mejora en las propiedades mecánicas de la combinación de arcilla y ceniza en comparación con el suelo de arcilla pura. Variables como el tiempo de curado, el intervalo de compactación, la cantidad de agua y otras que afectan a las características fueron el foco principal del análisis de las propiedades de la mezcla terminada. Tras una prueba de consolidación unidimensional y siete días de curado, la investigación descubrió que la mezcla de arcilla y ceniza mejoraba las características mecánicas del suelo al reducir la deformación y aumentar la presión de preconsolidación. Además, los parámetros de resistencia al cizallamiento, como la tensión de cizallamiento, el ángulo de fricción interna y la cohesión, mejoraron tras siete y catorce días de curado en el ensayo mecánico de cizallamiento directo y compuesto de arcilla y ceniza realizado de acuerdo con la norma ASTM D3.0.8.0. Así, se demostró el uso eficiente de estos subproductos.

### **2.1.3 Antecedentes locales**

En 2022, Adco La estabilización de suelos arcillosos con cenizas de madera procedentes de hornos de ladrillos artesanales es el tema central de este proyecto de investigación. La metodología cuasi-experimental y el carácter explicativo del enfoque aplicado de este estudio lo distinguen. Los siguientes resultados se obtuvieron al 15 %, 20 % y 25 % en función de las condiciones iniciales del estudio de laboratorio sobre suelos arcillosos: El suelo CH tenía un índice de plasticidad (IP) natural del 43 %, pero tras añadir ceniza de madera, los valores del IP cayeron al 28 %, 21 % y 18 %, respectivamente. Tras

añadir ceniza de madera, el índice de flexibilidad del suelo CL cayó del 27 % al 21 %, 16 % y 13 %, respectivamente. En comparación, el suelo CL se encuentra en un estado diferente. Para el suelo CH, el método de densificación produjo una densidad seca máxima (DSM) de 1718 g/cm<sup>3</sup>. Por otro lado, se alcanzaron densidades de 1722, 1729 y 1719 g/cm<sup>3</sup> con la adición de ceniza de madera, respectivamente. En su estado inicial, la muestra de suelo CL tenía una DMS de 1,911 g/cm<sup>3</sup>. La DMS se elevó a 1,929, 1,937 y 1,912 g/cm<sup>3</sup>, respectivamente, cuando se añadió ceniza de madera al suelo. La capacidad de carga del suelo CH aumentó del 2,5 % al 14,5 % y la del suelo CL del 2,5 % al 11,5 %, una mejora sustancial del 20 %. La estabilidad del subsuelo es un área en la que la ceniza de madera mejora las características del suelo.

## 2.2 Marco teórico

### 2.2.1 Cenizas

La quema de carbón pulverizado da como resultado la generación de ceniza fina, que es un subproducto que a menudo se asocia con las plantas generadoras de energía. Es un polvo finamente molido que consiste en sílice, alúmina y varios óxidos y álcalis. Tiene propiedades puzolánicas que pueden generar productos químicos cementantes (Braja, Estabilización con cenizas muy finas, 2012).

#### Figura 1

*Residuos de ceniza*



### 2.2.1.1 Clasificación de tipos de ceniza

#### A. Ceniza volante seca

Los gases de combustión son la fuente del material que se acumula debajo del calentador de aire. Este material se forma a partir de la acumulación de material en polvo de la caldera. Teniendo en cuenta que estas cenizas suelen almacenarse en tolvas, es necesario retirarlas periódicamente para amontonarlas o venderlas para su uso en aplicaciones industriales.

#### B. Ceniza de fondo seca

Las cenizas se recogen primero al pie de las calderas, luego se evacuan por gravedad y luego se transportan a los silos. (Gonzáles, 2014) Los tonos que representan con mayor precisión esta sustancia son el marrón, el negro y el blanco.

#### C. Ceniza compuesta seca

Gonzáles (2014) afirma que este material consiste en una combinación de cenizas volantes secas y cenizas de fondo secas generadas durante el almacenamiento en silos.

#### D. Ceniza compuesta hidratada

Para evitar que las cenizas se dispersen mientras se transportan, este material primero debe sufrir una hidratación de las cenizas compuestas antes de poder transportarse a un lugar de almacenamiento dentro de la instalación (Gonzáles, 2014).

### Figura 2

*Clasificación de cenizas volantes*



Cenizas volantes con alto contenido de calcio

Cenizas volantes bajas en calcio



### 2.2.1.2 Propiedades de la ceniza

La siguiente enumeración delinea los principales atributos proporcionados por la puzolana:

#### a) Propiedad puzolánica

Un ejemplo del tipo y el ritmo de la reacción puede observarse en la interacción entre la sílice de las cenizas volantes y el hidróxido de calcio que se forma cuando se hidrata el cemento Portland. En comparación con otras puzolanas naturales, las cenizas volantes son menos reactivas, según González (2014).

#### b) Pérdida por ignición

Como resultado de las partículas de carbono que suben a la superficie, se produce la coloración superficial final. Este fenómeno está relacionado con los altos valores de pérdida por ignición que están presentes en las cenizas volantes, lo que indica que las cenizas volantes están compuestas de carbón quemado. Según González (2014), la reducción de óxidos importantes en las cenizas volantes, como sílice, aluminio u óxido de hierro, conduce a una disminución en la eficiencia de las cenizas volantes como puzolana. Esto, a su vez, da como resultado períodos de secado más largos.

#### c) Granulometría

La distribución del tamaño de las partículas es el aspecto más importante a tener en cuenta en el tratamiento de las cenizas volantes. La eficiencia del horno, el suministro de carbón y el funcionamiento del horno están significativamente relacionados con la cantidad de cenizas liberadas en la corriente de gas a su salida del horno. En este sentido, no realizaremos ningún ajuste.

Una cantidad significativa de ceniza volante puede atribuirse a los procesos de precipitación que se utilizan. Estos procedimientos pueden constar de tres a cinco etapas, y cada paso elimina un porcentaje más fino de ceniza que el anterior. Fue González (2014).

#### **d) Fineza**

Se ha desarrollado una prueba que utiliza partículas mantenidas en una malla de 45 micrones para controlar la finura de las cenizas. Gonzales (2014) afirma que un mayor volumen de cenizas volantes que pasan a través de esta malla coincide con un mayor efecto sobre la resistencia.

#### **e) Forma de la partícula**

Las partículas de cenizas volantes, en su mayoría de forma esférica, son las principales responsables de explicar las cualidades distintivas que poseen. Existe un polvo granular que está compuesto de partículas de cenizas volantes. La mayoría de las partículas son de color oscuro y porosas, y el porcentaje de partículas más gruesas varía entre 300 y 45 micrones. Según González (2014), la existencia de carbono parcialmente quemado puede demostrarse por el hecho de que la cantidad de este material grueso y arenoso que se pierde durante la ignición es de tres a diez veces mayor que la cantidad que puede pasar a través de la malla de 45 micrones.

#### **f) Densidad**

Según Gonzales (2014), la densidad de las cenizas volantes presenta una fluctuación significativa, que es directamente proporcional a la distribución del tamaño de las partículas y a la cantidad de masa que se pierde después de la combustión.

#### **2.2.1.3 Usos de la ceniza**

Según una investigación realizada por Santaella en 2001, las cenizas volantes son un subproducto que se produce en la producción de hormigón, cerámica y vidrio. Existen tres propósitos que pueden cumplir, a saber:

- ✓ Los componentes activos que se incorporan directamente al mezclador
- ✓ En las fracciones finas de los áridos, los aditivos inertes actúan como componentes que son sustitutos o complementarios, corrigiendo así las deficiencias de los áridos.

- ✓ Para preparar el clínker se muele combinado con cementos tipo II, tipo II – C, tipo IV y tipo V.

#### **2.2.1.4 Cenizas de madera de fondo**

El término "ceniza de fondo" se refiere a la porción gruesa de la ceniza que se genera tanto en la cámara de combustión principal como en el lecho de la cámara inferior después del proceso de combustión. Es una práctica común agregar limo y otros contaminantes minerales a la mezcla de combustible. Los desechos sólidos que dejan los subproductos de la combustión del horno. El material se separa mecánicamente de los demás componentes cuando llega al fondo del horno. Mamani y Yataco (2017) afirman que cuando se queman carbón y madera juntos, el 60% de las cenizas que se generan son cenizas de fondo.

### **2.2.2 Estabilización de suelos**

#### **2.2.2.1 Suelos arcillosos**

En lugares con una cantidad sustancial de lluvia, pero con un drenaje limitado, se encuentran a menudo suelos arcillosos; se distinguen por niveles elevados de humedad y permeabilidad limitada. El suelo arcilloso sufre cambios volumétricos cuando se somete a variaciones de humedad (Kraemer, et al., 2004).

En el suelo arcilloso, el mineral montmorillonita constituye la mayor parte de la composición, mientras que las cloritas y las vermiculitas están presentes en niveles traza o en pequeñas proporciones. La caolinita y la illita son ejemplos de minerales inactivos que, cuando están presentes en grandes cantidades, pueden mejorar las cualidades expansivas de los suelos. Las características físicas también afectan el cambio volumétrico e influyen tanto en las condiciones de campo como de laboratorio (Fonseca y Montejo, 2006).

La gravedad específica del suelo arcilloso, que varía de 2,60 a 2,75 g/cm<sup>3</sup>, se ve afectada por la presión y la elevación locales. Según Ruano (2012), una sustancia más densa dará lugar a suelos más compactos, lo que a su vez dará lugar a una mayor resistencia a la erosión.

Debido a que los suelos arcillosos contienen mayor cantidad de agua, sus partículas pueden perder rápidamente su cohesión y crear partículas fluidas, lo que facilita la transición del estado sólido al líquido. Ruano (2012) afirma que cuando los niveles de saturación aumentan, se producen cambios en la porosidad y la humedad. Esto se debe a que los suelos ricos en arcilla tienen una mayor capacidad para sufrir transiciones de fase. Ruano (2012) afirma que los suelos arcillosos suelen tener poca cohesión y temperaturas entre 0,25 y 1,5 kg/cm<sup>2</sup>, y en ocasiones mucho más altas.

### Figura 3

*muestra de un suelo acrisolo*



En la siguiente tabla, se muestra el índice de plasticidad del suelo que se ha especificado.

#### 2.2.2.1.1 *Clasificación de las arcillas*

La estructura cristalina es el factor principal que determina cómo se categorizan las arcillas.

##### **a. Caolinitas**

Debido a la estructura expansiva de esta arcilla, es de una estabilidad superior. Las superposiciones indeterminadas de capas aluminosas y silíceas son responsables de su formación. Estas capas se mantienen unidas por fuertes enlaces de partículas, lo que garantiza que las moléculas de agua no puedan penetrar entre ellas. Según Castro (2017), como consecuencia, no presentan expansiones ni hinchazones cuando se empapan.

### b. Illitas

Esta arcilla presenta fricción interna debido al apilamiento incierto de capas aluminosas y silíceas. En su composición se crean agregados de material, lo que minimiza la superficie expuesta al agua y, como resultado, restringe las capacidades de expansión del material. El hinchamiento en las caolinitas es mucho más severo que en las montmorillonitas, como afirma Castro (2017).

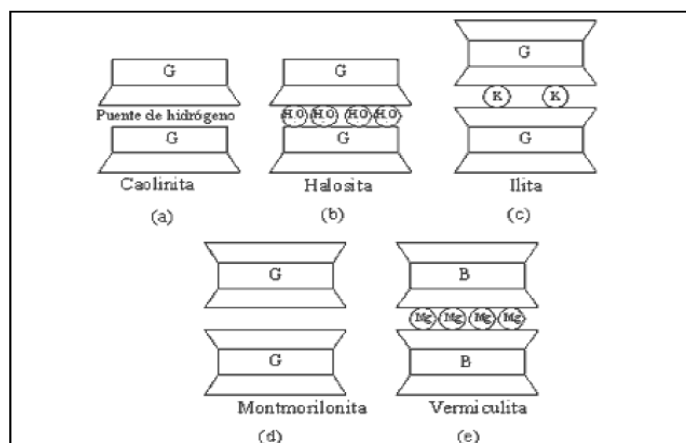
### c. Montmorillonitas

Esta arcilla es similar en estructura a las illitas, pero es inestable en entornos que contienen agua porque sus capas no están compactadas. Castro (2017) afirma que las montmorillonitas se distinguen por la rápida infiltración de agua en su estructura arcillosa. Debido a esto, el volumen de los cristales comienza a aumentar, lo que finalmente conduce a la expansión de la Tierra.

La arcilla está compuesta por una amplia variedad de minerales, que se muestran en el cuadro que sigue.

**Figura 4**

*Minerales de arcilla*



Fuente: (Ingeniería Civil - Proyectos y apuntes teórico prácticos, 2010)

#### 2.2.2.1.2 Características físicas y químicas

Las arcillas se caracterizan por sus cualidades fisicoquímicas, que a su vez determinan sus atributos. Entre estas características se encuentran las siguientes:



- ✓ Tamaño de partículas
- ✓ Morfologías laminares
- ✓ Las sustituciones isomorfas, como se indica en el artículo, hacen que las cargas crezcan en el interior de las láminas y que los cationes ligados estén presentes en la zona interlaminar.

Las líneas que siguen brindan una descripción general de varias de las propiedades principales de las arcillas:

- ✓ **Plasticidad:** Debido a esta propiedad, los suelos arcillosos se caracterizan por la producción de una película de agua sobre las partículas, lo que resulta en una acción lubricante que puede causar deslizamiento cuando hay tensiones inducidas por carga. Aquí se especifica el atributo principal de los suelos arcillosos. Al determinar el tamaño de partícula y la morfología laminar, podemos utilizar los límites de Atterberg para analizar esta característica (Castro, 2017).
- ✓ **Hidratación e hinchamiento:** Como es característico de las montmorillonitas, el espacio laminar en las arcillas sufre tanto hidratación como deshidratación. Tanto la carga laminar como el catión laminar contribuyen al nivel de hidratación. Las láminas se desprenden como consecuencia de la infiltración de agua, lo que conduce a un aumento de las fuerzas de repulsión electrostática. Esto, a su vez, empeora el hinchamiento y, en última instancia, hace que las láminas se separen aún más entre sí (Castro, 2017).
- ✓ **Superficies específicas:** Las arcillas experimentan un aumento de su superficie específica como consecuencia de esta característica, que se define como la agregación de las superficies externa e interna de una partícula multiplicada por la masa de la partícula (Castro, 2017).



- ✓ **Tixotropías:** Un fenómeno marcado por una pérdida temporal de fuerza durante el amasado, que resurge gradualmente después de un período de tiempo. Las arcillas tixotrópicas vuelven a su forma cohesiva después de un período de tiempo cuando se manipulan en estado líquido. Cuando la cantidad de agua presente en el suelo arcilloso es superior al límite líquido, se produce este fenómeno. Por otro lado, los fenómenos tixotrópicos no pueden producirse cuando el suelo arcilloso se acerca al límite plástico (Castro, 2017).
- ✓ **Capacidades de absorciones:** La superficie particular, la porosidad y la capacidad de absorber moléculas presentes en los intervalos entre las capas de arcillas son ejemplos de las propiedades texturales que le dan a las arcillas su apariencia distintiva. La interacción química que tiene lugar entre los adsorbentes (arcillas) y los adsorbatos (líquidos) se conoce como adsorción (Castro, 2017). La adsorción es un prerrequisito para la absorción, que es el proceso físico de retención capilar. La adsorción no puede tener lugar sin adsorción.
- ✓ **Capacidades de intercambios catiónicos:** Es posible intercambiar iones que están unidos a la superficie exterior de los cristales dentro de las áreas interlaminares u otras áreas internas de las arcillas, lo cual es un fenómeno reversible. Esta capacidad se define por el hecho de que el fenómeno puede revertirse. Esta característica altera las propiedades mecánicas del suelo, en particular su fluidez y resistencia. Esto se logra modificando la cantidad de cationes unidos, lo que produce fluctuaciones en el espesor de la capa superficial. Un pH reducido se correlaciona con una mayor actividad de intercambio catiónico, lo que eleva la concentración de la solución del suelo

y el ritmo de mejora (Castro, 2017). Esto demuestra que la acidez del suelo tiene una correlación directa con la capacidad de intercambio catiónico.

### 2.2.2.2 Estabilización de suelos

#### a) Estabilización

Para lograr la estabilización del suelo, es necesario primero mejorar la resistencia mecánica del suelo y luego asegurarse de que estas características permanezcan inalteradas a lo largo del tiempo. Existen varios métodos, incluido el uso de enmiendas del suelo y el uso de agentes estabilizadores. Independientemente de la técnica de estabilización utilizada, la compactación es crucial. 2014 las conclusiones del MTC están disponibles para uso público.

Según el Manual de Carreteras y Caminos, los suelos se considerarán apropiados para las capas de subrasante si tienen un Índice de Carga de California (CBR) que no supere el 6%.

#### Figura 5

*Estabilización de suelos*



#### b) Tipos de estabilizaciones

Según Braja (2012), el uso de aditivos potentes como cal y cal mezclada con ceniza ultrafina tiene el potencial de cambiar el suelo, acelerar el proceso de mejora para la



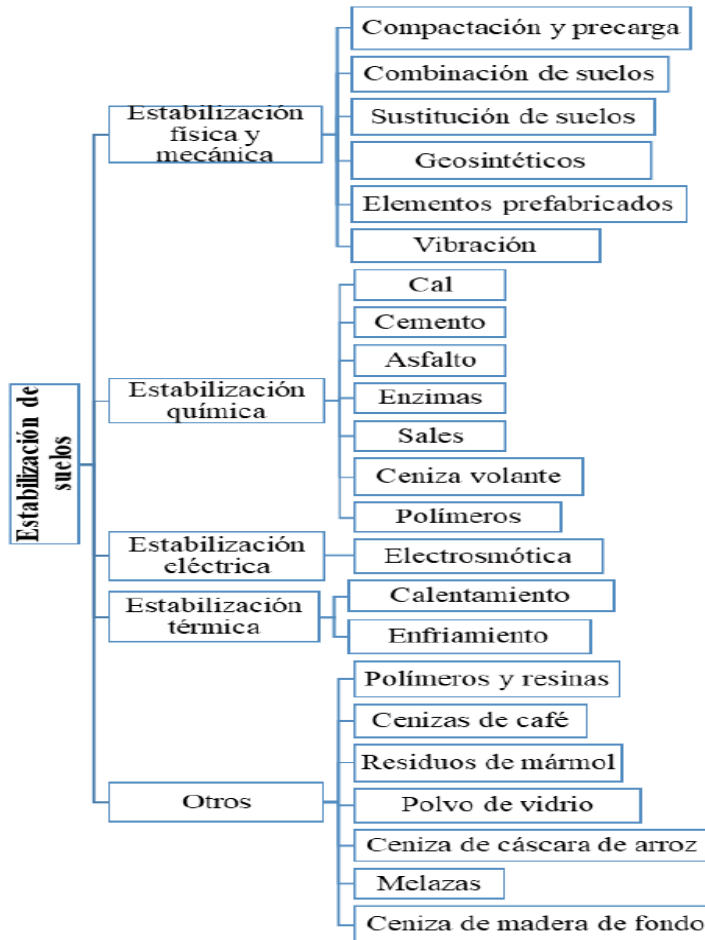
estabilización del terreno de fundación. Los suelos que contienen partículas finas se pueden fortificar utilizando estos aditivos.

- ✓ **Estabilización con cemento:** Este método de estabilización regula la circulación del agua dentro de la estructura y mejora su resistencia general al iniciar la cementación y rellenar los huecos en el suelo o la roca. Se ha demostrado que el uso de inyección de cemento en suelos residuales es bastante ventajoso. Los suelos residuales característicos encontrados en la selva media del Perú fueron objeto de una investigación (Suárez, 1998).
- ✓ **Estabilización con cal:** Debido a que se necesita un período de ochenta días para que el suelo se considere estabilizado con este producto químico, la estabilización con cal de suelos granulares es ineficiente (Suárez, 1998).
- ✓ **Estabilizaciones con cenizas:** Se pueden hacer compuestos cementicios mezclando ceniza puzolánica con cal hidratada. En consecuencia, "las combinaciones de suelo, cal y ceniza se comprimen en condiciones controladas y niveles de humedad suficientes para lograr capas de suelo estabilizadas" (Braja, el año anterior) describe el proceso. Esto se debe a que se pueden formar mezclas óptimas empleando ceniza fina en una concentración de 10 a 35% y cal en una concentración de 1,9 a 10,1%.

Una forma de la representación para la ilustración de los numerosos tipos de enfoques de estabilización de suelos se puede apreciar en la siguiente representación gráfica que a continuación se muestra.

**Figura 6**

*Tipos de estabilización de suelos*



Nota. (Castro, 2017)

### 2.2.2.3 Estabilización de suelos arcillosos

Para estabilizar los suelos arcillosos y que puedan realizar las actividades para las que fueron diseñados, es fundamental corregir algunas de las características indeseables del suelo. Las deficiencias más notables de una arcilla plástica son un índice plástico excepcionalmente alto, que indica un valor de expansión (o su inverso, la contracción) significativo, y una capacidad insuficiente para soportar el peso estructural. Ambos defectos son causados por la capacidad inadecuada de la arcilla para soportar el peso, porque absorbe agua o deja de absorberla. Según Mamani y Yataco (2017), en la página 39, esto puede provocar hinchazones en los cimientos, así como fisuras particulares, que a menudo se notan desde la fachada desde la perspectiva de las fracturas horizontales.

También existe la posibilidad de que el suelo arcilloso pueda causar hinchazones en la superficie de la obra.

### 2.2.3 *Ensayos de laboratorio*

#### a) **Análisis granulométrico**

Según Crespo y Granulometría (2008), las composiciones granulométricas de los suelos gruesos se utilizan para permitir la identificación de los efectos que el suelo puede tener sobre las densidades de los materiales que han sido compactados.

El análisis granulométrico divide los materiales en varias categorías según el tamaño de sus partículas y luego intenta determinar la proporción de cada categoría. En la literatura sobre este tema se presenta la clasificación de los suelos.

#### b) **Contenido de humedad**

Uno de los aspectos que juega un papel importante es el contenido de humedad inherente del suelo. La relación entre el contenido de humedad de los suelos de subrasante y su densidad está estrechamente relacionada con la resistencia de estos suelos, especialmente aquellos con una consistencia más fina.

De manera similar, si el nivel de humedad natural del suelo es igual o inferior al nivel de humedad óptimo, el diseñador supuestamente está obligado a recomendar una compactación estándar del suelo y el suministro de agua suficiente. Además, si el contenido de humedad real es mayor que el nivel proyectado, es esencial considerar aumentar la cantidad de energía utilizada para la compactación, airear el suelo o reemplazar los componentes que están saturados. Informe de 2014 del MTC.

#### c) **Límites de Atterhberg**

Esta serie de pruebas se está realizando con la intención de determinar el rango ideal de valores para los tres diferentes estados concebibles del suelo, que son líquido, plástico y sólido. Los límites de Atterberg se utilizan para medir la fluidez del suelo analizando el contenido de humedad en el que el suelo comienza a comportarse de manera similar a la



del líquido. Para determinar si la plasticidad es adecuada o inestable, se utilizará la comparación de los estados líquido y plástico, junto con el uso del índice de plasticidad (Zans, 1975).

- ✓ **Límites líquidos:** Se expresa como un porcentaje en relación con el peso seco de la muestra. Según Atterberg, los suelos plásticos tienen un valor mínimo de 24 g/cm<sup>2</sup>, que es la resistencia más baja al esfuerzo cortante que se experimenta en el límite líquido. Este número indica que los suelos plásticos presentan este valor mínimo. La cohesión del suelo es casi inexistente cerca del límite líquido (Crespo, Plasticity of Soils, 2008).
- ✓ **Límite plástico:** En los suelos cohesivos, la transición de un estado semisólido a uno plástico se produce a un determinado contenido de humedad. El nivel de humedad se expresa como una proporción del peso seco de la muestra después de haber sido secada en horno. (Referencia: Crespo, 2008, Granulometría).

Una variable característica derivada, el índice de plasticidad (IP), se define como la disparidad entre el límite plástico (LP) y el límite líquido (LL), según lo establecido por el MTC (2014). El término para esta distinción es la separación de los dos límites.

- ✓ **El índice de plasticidad** Resume el rango de niveles de humedad que indican si el suelo puede clasificarse o no como plástico. Un índice de plasticidad bajo indica que el suelo no tiene una composición predominantemente arcillosa; por otro lado, un índice de plasticidad alto muestra que el suelo es mayoritariamente arcilloso.

A las referencias de la literatura, se presenta la ilustración de la categorización de los suelos según el sistema de clasificación del índice de plasticidad para los diferentes tipos de suelos en todo tipo de condiciones.

#### **d) Proctor modificado**

Con el uso de la prueba Proctor modificada (Zans, 1975), es posible determinar el contenido óptimo de humedad del suelo para una compactación máxima, siempre que se aplique una cierta cantidad de energía.

La prueba Proctor utiliza el peso del molde para encontrar el nivel ideal de humedad para la máxima compactación del suelo. Se llevan a cabo varios efectos en cinco capas, que están relacionados con el equipo utilizado para evaluar las densidades; Esto se conoce como densidad aparente relativa a un cierto contenido de humedad. (Carrasco, 2017).

#### **e) CBR (en laboratorio)**

La Clasificación de Carga de California, a menudo conocida como CBR, es un método que se utiliza para evaluar la capacidad de carga del suelo, más especialmente su capacidad para soportar el peso del tráfico de vehículos en una ruta en particular (Valero, 1978).

El Manual de Carreteras proporciona una definición del método que se utiliza para estimar la clasificación de carga del suelo (CBR) con una penetración de carga de 2,54 milímetros. Utilizando los sistemas A.A.S.H.T.O. y S.U.C.S., el proceso comienza con la clasificación del suelo, a la que luego le sigue el desarrollo de un perfil estratigráfico para cada segmento homogéneo (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2014).

Para llegar al valor de Índice de Carga de California (CBR) del diseño de la subrasante se tienen en cuenta las siguientes consideraciones:

- ✓ Cuando un sector tiene seis o más valores CBR, el MTC especifica que el valor CBR para el diseño de la subrasante se establece promediando los valores acumulados adquiridos de sectores que ofrecen características similares. Esto se hace con el fin de determinar el valor CBR para el respectivo diseño de la subrasante.

- ✓ Si hay menos de 6 valores CBR, se deben evaluar las condiciones adicionales:
  - Si las lecturas son comparables, intente usar valores promedio.
  - Si obtiene resultados dispares, asegúrese de que los subsectores superen los 100 m de longitud y examine el valor crucial (CBR mínimo), o divida la sección para incluir subsectores con valores CBR análogos. Posteriormente, calcule la media.

Las categorías de la subrasante se muestran en la referencia bibliográfica sobre los valores de las categorías, que está organizada según CBR.

### 2.3 Marco conceptual

1. **Ceniza:** Las sales alcalinas, sales de tierras, sílice y óxidos metálicos se encuentran a menudo en el polvo que se produce después de que se ha extinguido un incendio, según la Real Academia Española (2005). Este polvo se describe como de color gris claro.
2. **Compactación:** Proceso y resultado de la compactación, que define una entidad compacta, caracterizada por una textura densa y marginalmente permeable (RAE - Real Academia Española, 2005).
3. **CBR:** De acuerdo con el Índice de Carga de California, un suelo de subrasante se considera regular si su valor porcentual es igual o mayor a 6, y este valor debe ser el mismo en toda la longitud de la carretera (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014). Este número también debe ser constante a lo largo de toda la longitud de la carretera.
4. **Estabilización:** Según la RAE - Real Academia Española (2005), un componente común de la estabilización es la incorporación de un agente químico que inhibe la degradación. "Métodos para manipular e incorporar



sustancias químicas, ya sean naturales o sintéticas, para mejorar las propiedades físicas del suelo". Las mejoras en la resistencia mecánica y la durabilidad del suelo se pueden lograr mediante el proceso de estabilización del suelo. Además, algunos métodos incluyen la inserción de un tipo particular de suelo, mientras que otros implican el uso de productos químicos estabilizadores. Según el MTC, el uso de compactación antes de la implementación de cualquier tecnología de estabilización de subrasante sea efectiva.

5. **Granulometría:** En el campo de la petrografía, el examen cuantitativo de los componentes del suelo, como granos, rocas y partículas, fue el énfasis principal de una rama en particular. Mediante este proceso se determina el tamaño de los áridos o polvos que los componen (piedras, granos, arena, etc.) (RAE - Real Academia Española, 2005).
6. **Suelo:** Los granos minerales y los materiales orgánicos que están en proceso de descomposición son ejemplos de los componentes sólidos que forman el agregado no cementado. Por otro lado, las partículas líquidas y gaseosas llenan los espacios intersticiales. El uso de este material como material de construcción en una variedad de proyectos de ingeniería civil es algo que Braja (2012) resalta.
7. **Subrasante:** Para la construcción del pavimento, la cimentación directa se construye sobre suelos que han sido cuidadosamente elegidos y se caracterizan por las cualidades adecuadas. Según el MTC, el proceso de compactación de suelos se realiza en fases para construir una estructura resistente que sea capaz de soportar adecuadamente la carga de diseño del tráfico.



## CAPITULO III

### METODOLÓGIA DE LA INVESTIGACIÓN

#### 3.1 Diseño de la investigación

##### 3.1.1 Nivel de investigación

Como afirman Hernández, Fernández y Baptista (2014), el propósito de la investigación es obtener una mejor comprensión de las consecuencias y fenómenos físicos o sociales mediante la realización de una comparación del grupo de control y el grupo experimental.

##### 3.1.2 Diseño de la investigación

La investigación hace uso de un método experimental, que implica poner a prueba hipótesis alterando deliberadamente una actividad para ver los resultados. Por lo tanto, para evaluar el efecto que tiene sobre la estabilidad del suelo, la investigación hará uso de ceniza de caña de azúcar en cantidades variables.

##### 3.1.3 Tipo de investigación

Tanto los conductores como los pasajeros de vehículos se beneficiarán de los hallazgos de este estudio, lo que lo convierte en aplicable.

### 3.1.4 Método de investigación

Debido a que proporcionará los hechos y la información requeridos de manera lógica y organizada, este estudio se considera científico.

## 3.2 Población y muestra

### 3.2.1 Población

En la provincia de San Román, el material que se utiliza para construir la subrasante de las calzadas en la urbanización Villa Medica.

### 3.2.2 Muestra

La muestra, como la define Castro (2016), es un subconjunto de la población que se escoge de diversas maneras y se pretende que sea representativa de la población. El lugar de la investigación es la urbanización Villa Medica en la provincia de San Román, según una paráfrasis. Se utiliza como muestra un pozo que ha sido muestreado con diferentes dosis.

**Tabla 2**

*muestras tomadas*

Muestras
Suelo natural
SN + 8% de ceniza de madera
SN + 12% de ceniza de madera
SN + 18% de ceniza de madera

## 3.3 Técnicas de procesamiento

### 3.3.1 Ensayos de laboratorio

#### A. Recojo de material

Para recolectar muestras de suelo y realizar pruebas in situ, es una práctica común excavar pozos de prueba (también llamados pozos de prueba y zanjas). Esto es adecuado ya que sigue las reglas establecidas en la Norma de Suelos y Cimentaciones E.050. Es importante destacar que la muestra extraída se proporciona en una forma modificada y se



entrega en una bolsa de plástico, según lo establecido por el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2018).

El Manual de Pruebas de Materiales del MTC recomienda un peso de muestra de cincuenta a doscientos kilogramos con el fin de establecer las propiedades del material. Las zanjas de excavación deben cavarse a 1,5 metros por debajo del nivel del suelo en carreteras, aeropuertos o estacionamientos, según el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2016). Se recomienda llegar a esta profundidad. De acuerdo con la información presentada anteriormente, la cantidad de material removido fue de doscientos kilos, y fue con esta cantidad que se realizó la caracterización del suelo.

En el Manual de Carreteras, en su sección “Suelos y Pavimentos”, se presenta una sugerencia bastante similar a ésta. Esta parte recomienda excavar un hoyo por cada kilómetro para carreteras con poco flujo de tráfico. Por esta justificación se excavó un pozo en la subrasante de la vía como parte del examen actual.

## **B. Análisis Granulométrico**

Al realizar los ensayos, es fundamental recolectar muestras que sean indicativas del estado general, como se destaca ampliamente en el Manual de Ensayos de Materiales.

Además, cabe señalar que para realizar el ensayo MTC E 107, que consiste en analizar el tamaño de partícula del suelo por tamizado, se debe recurrir a la norma ASTM D 422. Esto se debe a que el propósito de la prueba es averiguar qué proporción del suelo puede pasar a través de cada uno de los tamices de la serie de pruebas, hasta el tamiz n.º 200 (74 mm). La tabla que sigue ofrece una representación comparable de la secuencia en la que se disponen los tamices (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016).

A continuación, se muestran algunos números publicados por S.U.C.S. y A.A.S.H.T.O. que muestran cómo se clasifican los suelos.

**Figura 7**

*Clasificación de Suelos según SUCS*

FINOS $\geq$ 50% pasa malla # 200 (0.08 mm)							
Tipo de suelo	Símbolo	Limite líquido	Índice de plasticidad (IP)				
Limos inorgánicos	ML	<50	<0.73 (WI - 20) o < 4				
	MH	>50	<0.73 (WI - 20)				
Arcillas inorgánicas	CL	<50	<0.73 (WI - 20) y < 7				
	CH	>50	>0.73 (WI - 20)				
Limos y arcillas orgánicas	OL	<50	**wl seco al horno $\leq$ 75% del wl seco al aire				
	OH	>50					
Altamente orgánicos	P1	Material orgánico fibroso					
Si IP $\geq$ 0.73(WI - 20) o si IP entre 4 y 7 e IP > 0.73 (WI - 20), usar símbolo doble: CL-ML, CH-OH							
** Si tiene olor orgánico debe determinarse adicionalmente WI seco al horno.							
En casos dudosos favorecer clasificación más plástica. Ej.: CH-MH en vez de CL-ML							
Si WI= 50; CL-CH o ML-MH							
GRUESOS < 50% pasa malla # 200 (0.08 mm)							
Tipo de suelo	Símbolo	% ret. malla N° 4	% pasa malla N° 200	CU	CC	** IP	
Gravas	GW	>50% de lo ret. en 0.08 mm	<5	>4	1 a 3		
	GP			$\leq$ 4	<10>3		
	GM			>12	<0.73 (wl-20) o <4		
	GC				<0.73 (wl-20) o <7		
Arenas	SW	< 50% de lo ret. en 0.08 mm	<5	>6	1 a 3		
	SP			$\leq$ 6	<10>3		
	SM			>12	<0.73 (wl-20) o <4		
	SC				<0.73 (wl-20) o <7		
*Entre 5 y 12% usar símbolo doble como GW-GC, GP-GM, SW-SM, SP-SC							
** Si IP= 0.73(WI-20) o si IP entre 4 y 7 e IP>0.73 (WI-20), usar símbolo doble: GM-GC, SM-SC.							
En casos dudosos favorecer clasificación menos plástica. Ej.: GW-GM en vez de GW-GC.							
$CU = \frac{D_{60}}{D_{10}}$				$CC = \frac{D_{30}^2}{D_{60} * D_{10}}$			

Nota: (Pastor, 2013)

**Figura 8**

*Categorización según AASTHO*

Clasificación General	Materiales granulares (35% o menos que pasa el tamiz No. 200)							Materiales de limo y arcilla (Más del 35% que pasa el tamiz No. 200)			
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7 *
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5, A-7-6
Análisis por tamices, porcentaje que pasa:											
2.00 mm (No. 10)	50 máx	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0.425 mm (No. 40)	30 máx	50 máx	51 mín	-	-	-	-	-	-	-	-
75 $\mu$ m (No. 200)	15 máx	25 máx	10 máx	35 máx	35 máx	35 máx	35 máx	36 mín	36 mín	36 mín	36 mín
Características de la fracción que pasa el tamiz 0.425 mm (No. 40):											
Límite líquido	-	-	-	40 máx	41 mín	40 máx	41 mín	40 máx	41 mín	40 máx	41 mín
Índice de plasticidad	6 máx.	NP	NP	10 máx	10 máx	11 mín	11 mín	10 máx	10 máx	11 mín	11 mín
Tipos usuales de materiales constitutivos significativos	Fragmentos de roca, grava y arena		Arena fina	Grava y arena limosas o arcillosas				Suelos limosos		Suelos arcillosos	
Calificación general como subrasante	Excelente a bueno							Regular a malo			

\* IP del subgrupo A-7-5 es menor o igual que LL menos 30; IP del subgrupo A-7-6 es mayor que LL menos 30.

Nota: Norma ASTM M145.

### C. Contenido de Humedad

La evaluación del contenido de humedad del suelo (MTC E 108), que forma parte del Manual de Ensayos de Materiales, hace referencia a la norma ASTM D 2216. El porcentaje de agua en un volumen dado de suelo se puede determinar mediante la realización de los ensayos adecuados.

### D. Índice de plasticidad

(Datos recopilados en 2016 por el Ministerio de Comunicaciones y Transportes) Para los resultados de este ítem se consideraron las normas M.T.C.E.1.1.1 (Límite plástico) y M.T.C.E.1.1.0 (Límite líquido de suelos). Ambas normas se basan en la norma ASTM D 4318, que contiene entre sus componentes el cálculo del índice de plasticidad.

Siguiendo la fórmula a continuación, se puede obtener el índice de plasticidad determinando el límite plástico y luego quitándole el límite líquido. Con estos datos, podemos calcular el índice de plasticidad.

$$IP=LL-LP$$

### E. Densidad seca y húmeda

Con base en lo establecido en el Manual de Pruebas de Materiales de MTC, las pruebas de compactación de suelos en laboratorio están estandarizadas según la norma ASTM D 1557. Para realizar esta prueba se utiliza un Proctor modificado MTC E 115 con una energía de 2700 kN. Utilizando este método de manera consistente, se trazó una curva de compactación que muestra para cada una de las cuatro concentraciones de ceniza de madera del fondo (0, 8, 12 y 18%).

### F. Capacidad de resistencia del suelo

La técnica de prueba estándar para evaluar la relación de (CBR) de suelos compactados en laboratorio es ASTM D 1.8.8.3, que se describe en el Manual de Pruebas de Materiales. Las pruebas CBR de suelos en un entorno de laboratorio hacen uso de esta técnica potencial de varios materiales utilizados en pavimentos de carreteras y pistas,



incluidos el material de subrasante, según una declaración emitida por el Departamento de Transporte y Comunicaciones (2016).

De acuerdo con ASTM D, la relación de resistencia a la compresión (CBR) se calcula multiplicando la fuerza unitaria necesaria para penetrar de 0,1 a 0,2 pulgadas (2,5 a 5,1 mm) del material de prueba por la carga y luego sumando la carga misma. (Sociedad Estadounidense para Pruebas y Materiales).



## CAPITULO IV

### RESULTADOS Y ANALISIS

#### 4.1 Presentación de resultados de la investigación

Es necesario poner a prueba todo lo que se descubrió como resultado de las pruebas que se incluyeron dentro del estudio. Los hallazgos del estudio se presentan en tablas que se preparan después de probar tanto el hormigón fresco como el hormigón que se ha endurecido durante la noche.

##### 4.1.1 Adición de ceniza de madera en el suelo arcilloso (Suelo 100%)

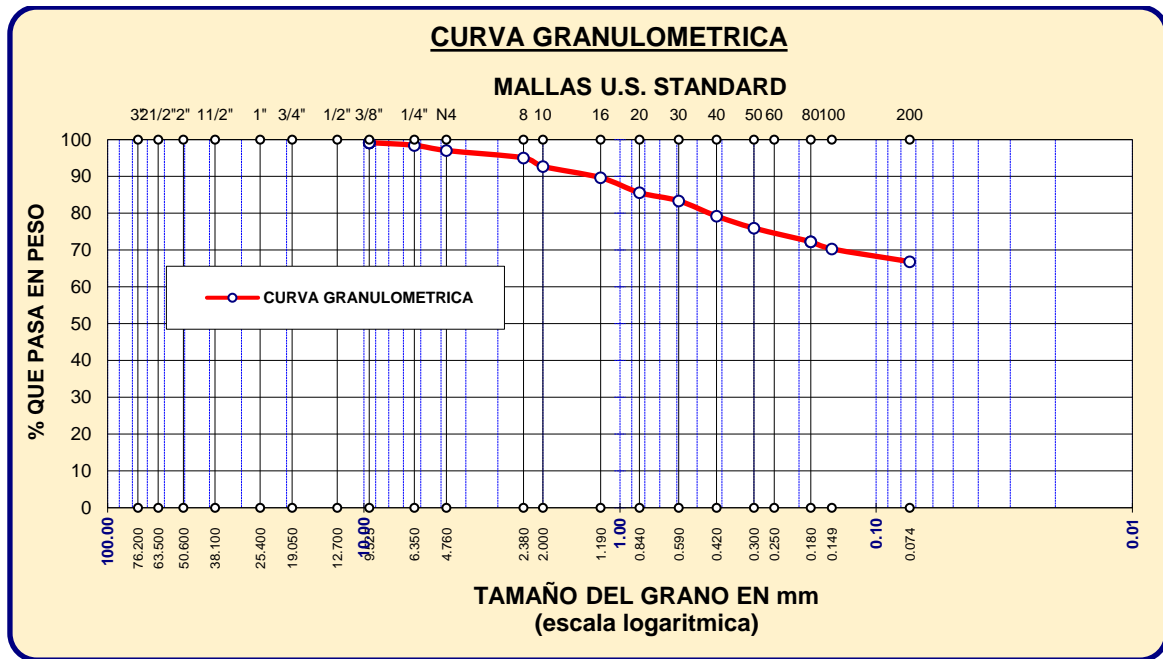
**Tabla 3**

*Análisis granulométrico suelo natural*

Tamiz	mm	P. retenido (gr)	% R. parcial	% R. acumulado	% pasa
1/2	0	0	0	0	100
3/8"	9.525	4.59	0.81	0.81	99.19
1/4"	6.350	4.02	0.71	1.53	98.47
No4	4.760	8.03	1.42	2.95	97.05
No8	2.380	11.23	1.99	4.94	95.06
No10	2.000	13.21	2.34	7.28	92.72
No16	1.190	17.23	3.05	10.33	89.67
No20	0.840	22.98	4.07	14.40	85.60
No30	0.590	12.45	2.21	16.61	83.39
No40	0.420	23.43	4.15	20.76	79.24
No 50	0.300	18.45	3.27	24.03	75.97
No80	0.180	20.67	3.66	27.69	72.31
No100	0.149	11.23	1.99	29.68	70.32
No200	0.074	19.50	3.45	33.13	66.87

**Figura 9**

*Granulometría del suelo natural*



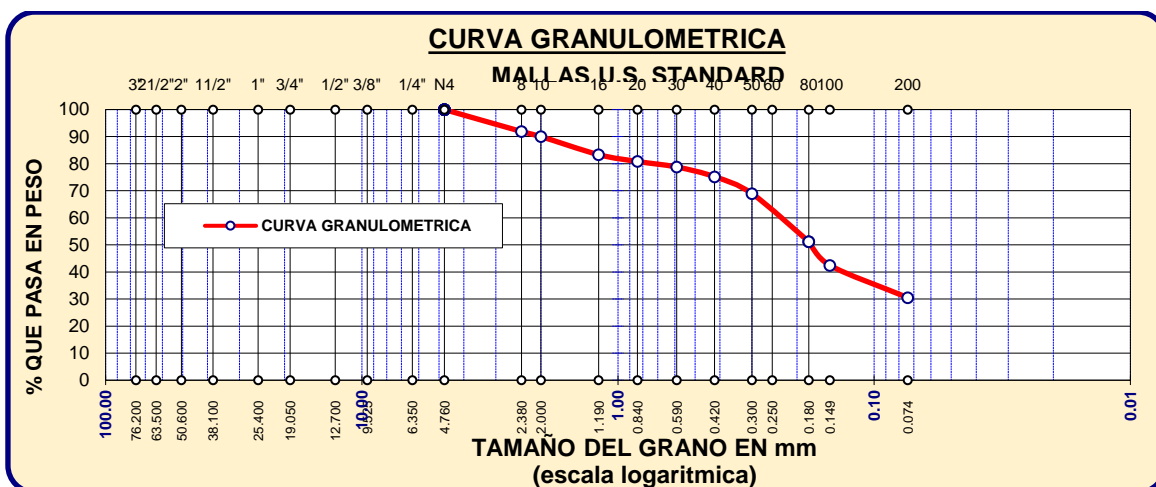
**Tabla 4**

*granulometría -ceniza de madera*

Tamiz	mm	P. retenido (gr)	% R. parcial	% R. acumulado	% pasa
No4	4.760	0	0	0	100
No8	2.380	39.45	5.52	5.52	94.48
No10	2.000	9.10	1.27	6.79	93.21
No16	1.190	32.45	4.54	11.33	88.67
No20	0.840	12.23	1.71	13.04	86.96
No30	0.590	10.01	1.40	14.43	85.57
No 50	0.300	30.45	4.26	21.12	78.88
No80	0.180	86.34	12.07	33.19	66.81
No100	0.149	42.43	5.93	39.12	60.88
No200	0.074	58.01	8.11	47.23	52.77

**Figura 10**

*Curva de la ceniza de madera*



### 4.1.2 Adición de ceniza de madera en la humedad natural del suelo arcilloso

Los datos a continuación muestran el contenido de humedad de suelos arcillosos sometidos a diferentes cantidades de ceniza de madera (8 %, 12 % y 18 %), junto con suelos no tratados.

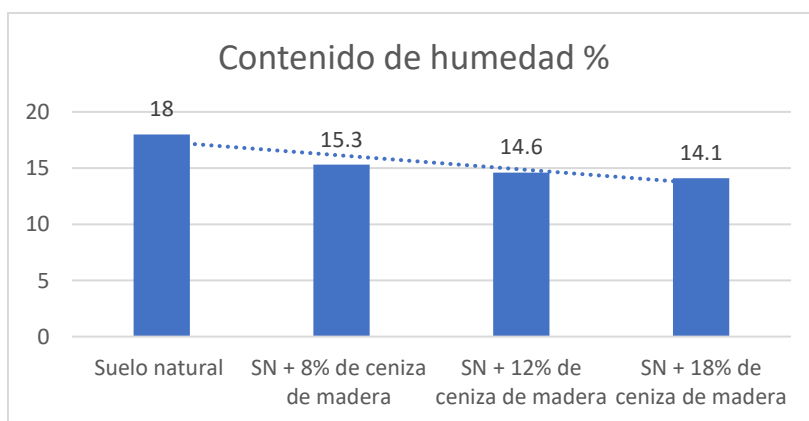
**Tabla 5**

*Resumen de contenido de humedad*

Muestras	Contenido de humedad %
Suelo natural	18
SN + 8% de ceniza de madera	15.3
SN + 12% de ceniza de madera	14.6
SN + 18% de ceniza de madera	14.1

**Figura 11**

*Contenido de humedad*



El gráfico ilustra la conexión polinómica que existe entre los diferentes niveles de humedad. En promedio, existe una conexión del 98,19 % entre la cantidad de ceniza de madera que se aplica y la cantidad de humedad presente.

### 4.1.3 Adición de ceniza de madera en el índice de plasticidad

Los resultados de las pruebas de límite líquido y límite plástico se muestran en las tablas a continuación. Los experimentos se realizaron con varias cantidades de ceniza de madera agregadas durante el procedimiento.

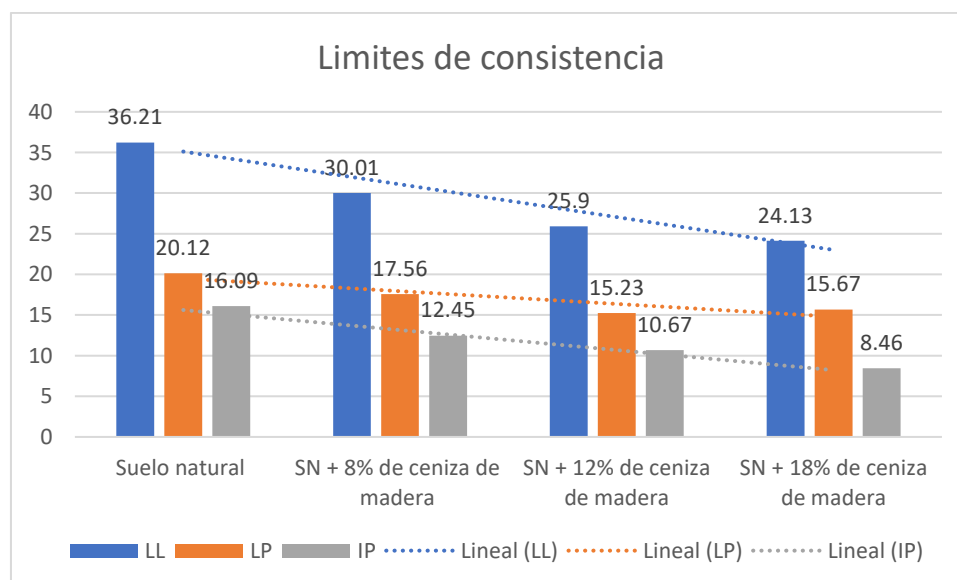
**Tabla 6**

*resumen de índice de plasticidad*

Muestras	LL	LP	IP
Suelo natural	36.21	20.12	16.09
SN + 8% de ceniza de madera	30.01	17.56	12.45
SN + 12% de ceniza de madera	25.90	15.23	10.67
SN + 18% de ceniza de madera	24.13	15.67	8.46

**Figura 12**

*Límites de consistencia*



Las figuras incluyen gráficos que representan el índice de plasticidad, el límite líquido y el límite plástico de las muestras con y sin ceniza de madera. Las figuras también indican el rango de valores para estos parámetros. Adicionalmente, podrá visualizar la

figura que corresponde a la correlación más adecuada para la organización de los hallazgos que se adquirieron de las pruebas que se realizaron.

#### 4.1.4 Adición de ceniza de madera en las MDS del suelo arcilloso

##### A. Óptimos contenidos de humedades

La tabla a continuación muestra los resultados de la prueba Proctor modificada realizada de conformidad con ASTM D 1557. Estos datos ilustran los niveles óptimos de humedad alcanzados. Para esta prueba se aplicaron varias cantidades de ceniza de madera, incluyendo 0%, 8%, 12% y 18%.

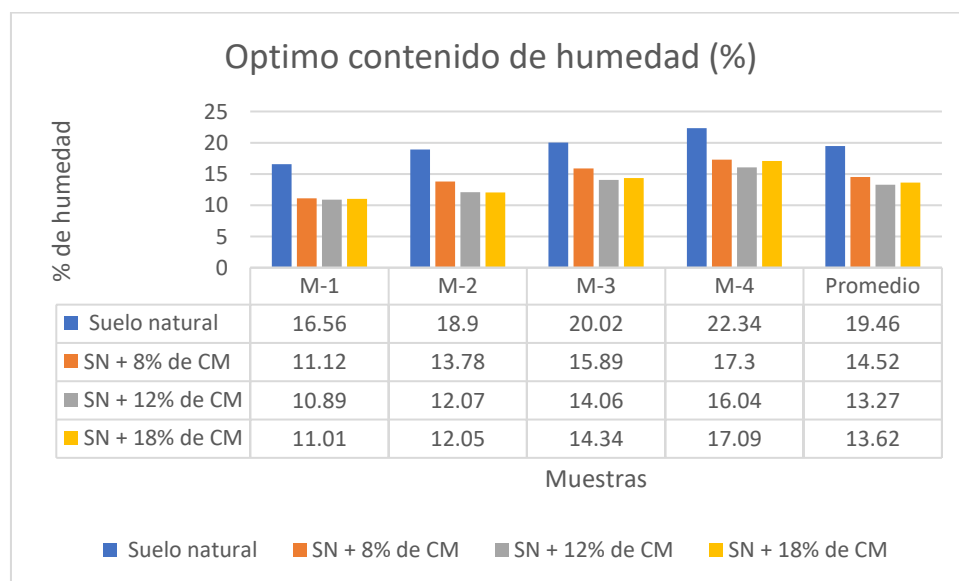
**Tabla 7**

*Optimo contenido de humedad*

Muestras	Suelo natural	SN + 8% de CM	SN + 12% de CM	SN + 18% de CM
M-1	16.56	11.12	10.89	11.01
M-2	18.90	13.78	12.07	12.05
M-3	20.02	15.89	14.06	14.34
M-4	22.34	17.30	16.04	17.09
<b>Promedio</b>	<b>19.46</b>	<b>14.52</b>	<b>13.27</b>	<b>13.62</b>

**Figura 13**

*Contenido de humedad optimo*



El gráfico muestra un gráfico de barras que ilustra el contenido de humedad óptimo determinado por la prueba Proctor modificada.

### B. Máxima densidad seca

Los resultados de la prueba Proctor modificada, que requirió la medición de la densidad máxima en gramos por centímetro cúbico, se muestran en la figura a continuación. Al comparar los hallazgos con la tabla y la gráfica que se encuentran arriba, es posible determinar qué concentraciones de humedad son ideales para cada una de las muestras o tratamientos que se investigaron durante la prueba que se realizó.

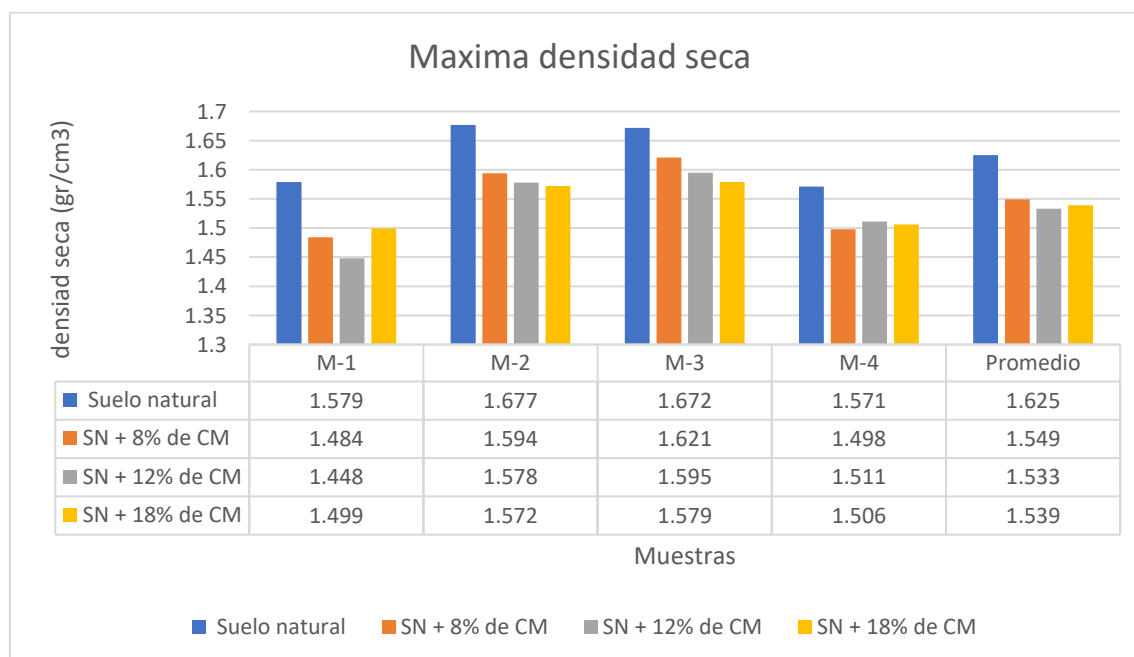
**Tabla 8**

*Máxima densidad seca*

Muestras	Suelo natural	SN + 8% de CM	SN + 12% de CM	SN + 18% de CM
M-1	1.579	1.484	1.448	1.499
M-2	1.677	1.594	1.578	1.572
M-3	1.672	1.621	1.595	1.579
M-4	1.571	1.498	1.511	1.506
<b>Promedio</b>	<b>1.625</b>	<b>1.549</b>	<b>1.533</b>	<b>1.539</b>

**Figura 14**

*Máxima densidad seca*



En la imagen siguiente se puede ver una ilustración del contenido de humedad perfecto. Esta figura representa la mayor densidad posible del suelo después de haber sido tratado con una cierta cantidad de agua.

#### 4.1.5 Adición de cenizas de maderas en el CBR del suelo arcilloso

##### A. CBR al 95% de la Máxima Densidad Seca

La tabla a continuación muestra los resultados de los estudios realizados en suelos arcillosos con diferentes cantidades de ceniza de madera, evaluando específicamente la capacidad de carga (CBR). En este caso específico, el coeficiente de fricción (CBR) se evalúa en el 95 % de la densidad seca máxima.

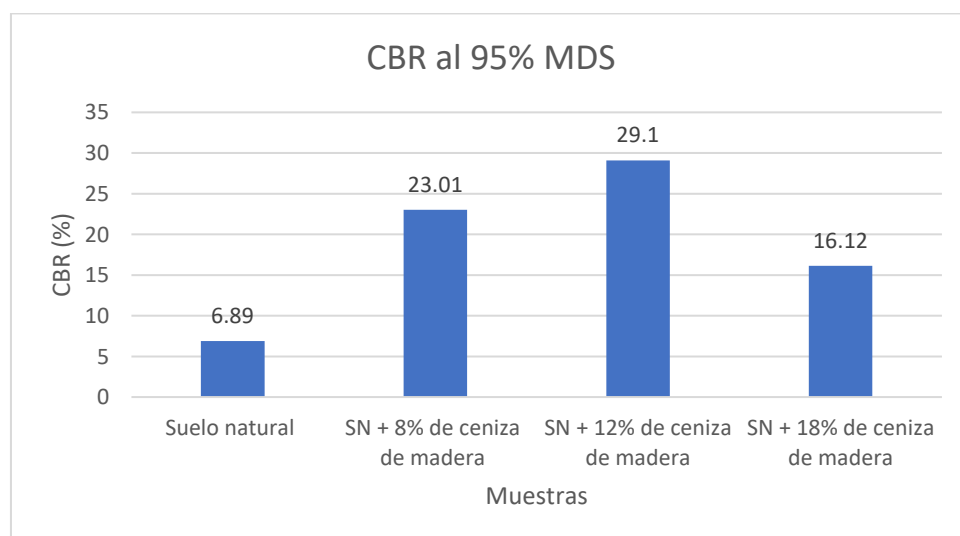
**Tabla 9**

*Capacidad portante al 95%*

Muestras	CBR al 95% MDS
Suelo natural	6.89
SN + 8% de ceniza de madera	23.01
SN + 12% de ceniza de madera	29.10
SN + 18% de ceniza de madera	16.12

**Figura 15**

*CBR al 95% de MDS*



En la imagen se proporciona una ilustración gráfica del CBR del suelo al 95% de MDS. Este gráfico ilustra el impacto de distintas cantidades de ceniza de madera en el suelo

arcilloso. La correlación de los resultados de la prueba se muestra de una manera idéntica a la del gráfico, ubicado debajo de él.

### B. C.B.R. al 100% de las Máximas Densidades Secas

Los resultados de las pruebas de capacidad de carga (CBR) realizadas en suelo arcilloso utilizando varias formulaciones de ceniza de madera se muestran en la siguiente tabla. En este caso particular, el CBR es el CBR al 100% de las densidades secas máximas.

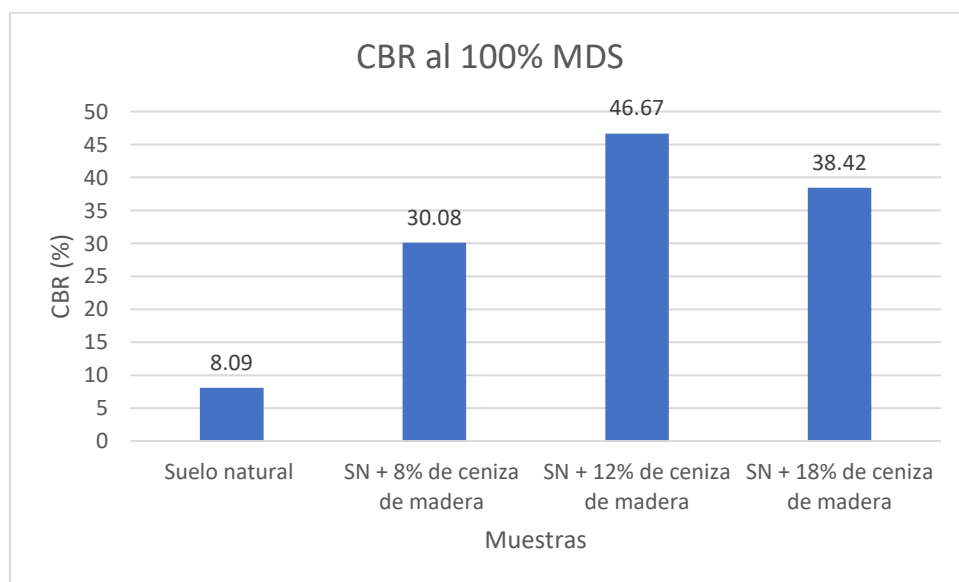
**Tabla 10**

*Capacidad portante al 100%*

Muestras	CBR al 100% MDS
Suelo natural	8.09
SN + 8% de ceniza de madera	30.08
SN + 12% de ceniza de madera	46.67
SN + 18% de ceniza de madera	38.42

**Figura 16**

*CBR al 100% de MDS*



El gráfico representa la relación de carga de California (CBR) del suelo arcilloso a una densidad seca máxima (MDS) del cien por ciento en varias cantidades de ceniza de madera. De manera similar, la imagen a continuación ilustra la correlación de los hallazgos adquiridos a partir de las pruebas.



## 4.2 Discusión

De acuerdo con los hallazgos que se muestran en la Tabla 09, el suelo arcilloso exhibió un contenido de materia orgánica del 18 % cuando se analizó con una muestra que contenía 100 % de humedad natural. La muestra que contenía 8 % de ceniza de madera tenía un nivel de humedad natural del 15,3 %. El nivel de humedad natural fue del 14,1 % en una muestra con un 18 % de ceniza de madera, mientras que fue del 14,6 % en una muestra con un 12 % de ceniza de madera.

Un aumento en la cantidad de ceniza de madera provoca una caída en el contenido de humedad, como se ve en la Figura 11, que muestra una relación entre el contenido de humedad natural y la cantidad de ceniza de madera añadida. Esto hace que el nivel de humedad disminuya, lo cual tiene sentido dado que la ceniza de madera está compuesta de granos.

Es la prueba de contenido de humedad la que determina los resultados de la prueba de validación de Proctor modificada.

Después de realizar la prueba de límite de Atterberg, se encontró que el contenido máximo de líquido permitido para una muestra de suelo al 100 % era del 36,21 %, como se muestra en la Tabla 10. Para las muestras de suelo que contenían un 8 % de ceniza de madera, el límite líquido era del 30,01 %; para las muestras que contenían un 12 % de ceniza de madera, era del 25,90 %; y para las muestras que contenían un 18 % de ceniza de madera, era del 24,13 %. El hecho de que el límite líquido disminuya al aumentar el contenido de ceniza de madera se ve respaldado por la Figura 12, que da credibilidad a los resultados anteriormente mencionados.

Según la Tabla 10, la prueba del límite de Atterberg llegó a la conclusión de que el 36,21 por ciento de contenido líquido es el límite superior para una muestra de suelo que consiste en un 100 % de tierra. Para muestras de suelo que contenían un 8 % de ceniza de madera, el límite líquido era del 30,01 %; para muestras que contenían un 12 % de ceniza



de madera, era del 25,90 %; y para muestras que contenían un 18 % de ceniza de madera, era del 24,13 %. La Figura 12 proporciona más pruebas de que los resultados comunicados anteriormente son correctos; demuestra que el límite líquido disminuye al aumentar las concentraciones de ceniza de madera.

Gracias a la prueba del límite de Atterberg, pudimos determinar el índice de plasticidad del suelo arcilloso. Según la Tabla 10, el índice de plasticidad varió entre 16,09% para una muestra de suelo sin ceniza de madera, 12,67% para una muestra con un 8% de ceniza de madera, 12,67% para una muestra con un 12% de ceniza de madera y 10,67% para la muestra final. En el momento del cálculo, se encontró que el índice de plasticidad era de 8,46% en una muestra de suelo que incluía un 18% de ceniza de madera.

Los suelos arcillosos se caracterizan por tener un índice de plasticidad (IP) medio, tal como se indica en el Manual de Suelos y Pavimentos (MTC, 2014) para muestras de suelo compuestas íntegramente de tierra. Por el contrario, una muestra de suelo con 8% de cenizas presenta un IP de 12,45, indicando también una plasticidad media propia de un suelo arcilloso. De igual forma, una muestra con 12% de cenizas de madera presenta un IP de 10,67, reflejando una plasticidad media y características arcillosas. Por último, una muestra con 18% de cenizas de madera presenta un IP de 8,46, manteniendo la plasticidad media asociada a un suelo arcilloso. En este contexto, se puede señalar que una muestra de suelo con 18% de cenizas presentó un índice de plasticidad reducido, indicando un porcentaje óptimo, lo que será confirmado en posteriores pruebas de laboratorio para facilitar el estudio.

El nivel óptimo de humedad se determinó mediante una prueba de Proctor modificada, cuyos resultados se muestran en la Tabla 11. Se analizaron cuatro muestras para determinar el nivel óptimo de humedad para tratar suelos con un 100 % de arcilla. Se determinó que el pico de la curva de compactación era del 19,46 %. Se logró un contenido de humedad ideal del 14,52 % con un 8 % de ceniza de madera. Se determinó que el nivel



de humedad ideal para un 12 % de ceniza de madera era del 13,27 %, pero para un 18 % de ceniza de madera era del 13,62 %. A continuación, se muestra una representación visual de los datos extraídos de la tabla para determinar la humedad relativa óptima. La Figura 13 muestra que cuando aumenta la cantidad de ceniza de madera, el contenido de humedad disminuye. La Tabla 12 muestra los resultados de la prueba Proctor modificada, que incluye la densidad seca máxima de la muestra. Según los resultados de cuatro muestras que se utilizaron para determinar el pico de la curva de compactación, la densidad seca más alta reportada para el tratamiento de suelo 100 % arcilloso fue de 1,625 g/cm<sup>3</sup>. Para el tratamiento con un 8 % de ceniza de madera, la densidad seca más alta fue de 1549 g/cm<sup>3</sup>, pero para el tratamiento con un 12 % de ceniza de madera fue de 1533 g/cm<sup>3</sup>. Ambos resultados se consideran excelentes. Se alcanzó una densidad seca máxima de 1,539 g/cm<sup>3</sup> después de tratar el material con un 18 % de ceniza de madera. La Figura 14 muestra que los datos de la tabla de densidad seca máxima revelan que a medida que aumenta la cantidad de ceniza de madera en el suelo compactado, la densidad seca máxima disminuye. Puede encontrar los datos en la tabla. Según la información de la Tabla 13 de CBR, el valor de CBR para una muestra de suelo que está 100 % húmeda y tiene una densidad seca máxima del 95 % es del 6,89 %. La incorporación de un 8 % de ceniza de madera en las muestras de suelo aumenta su capacidad de carga máxima al 23,11 %. En comparación, el valor CBR de las muestras de suelo tratadas con un 12 % de ceniza de madera fue del 29,10 %. Por último, el valor de la capacidad de carga fue del 16,12 % para las muestras de suelo a las que se les añadió un 18 % de ceniza de madera. La Figura 15 muestra que la capacidad de carga de la subrasante mejoró con el aumento de la cantidad de ceniza de madera. Hay que tener en cuenta que la última muestra del 18 % soporta algo menos de carga que las demás. Los resultados pueden compararse con las especificaciones que figuran en las secciones de los Manuales de Carreteras relativas a pavimentos y suelos. Con valores de CBR del 6 % o más, se puede identificar una subrasante típica, como se muestra en la Tabla 4.11, que



detalla las categorías de subrasante. Las investigaciones revelaron que los suelos modificados con ceniza de madera aumentaban en un 95 % su capacidad máxima de carga en seco, según informó el Ministerio de Transporte y Comunicaciones (2014). Los porcentajes exactos calculados para el 8 %, el 12 % y el 18 % son, respectivamente, el 21,11 %, el 29,10 % y el 16,12 %.

La Tabla 14 del CBR indica que la capacidad de carga de la subrasante es de 8,09% para una muestra de suelo con una densidad seca máxima de 100%. El valor de la capacidad de carga es del 30,08% para las muestras que incluyen un 8% adicional de cenizas de madera. Por otro lado, se produjo un CBR del 46,67% y un valor de capacidad de carga del 38,42%, respectivamente, para las muestras que contenían 12% y 18% de cenizas de madera. La Figura 16 ilustra que la capacidad de carga de la subrasante mejoró con el tiempo con la cantidad creciente de cenizas de madera incluidas en la subrasante.

Los resultados coinciden con las recomendaciones formuladas en la sección del Manual de Carreteras relativa a suelos y pavimentos. Según la Tabla 4.11, una subrasante se considera aceptable si los valores de CBR son del 6 % o superiores. La investigación descubrió que añadir ceniza de madera al suelo aumenta su capacidad de carga al 100 % de su densidad seca máxima, que es superior al umbral necesario del 6 %.



## CONCLUSIONES

1. Las cenizas tienen la capacidad única de atrapar partículas minúsculas, reduciendo así el contenido de humedad inherente del suelo arcilloso. Esto se logra incorporando cenizas de madera al suelo arcilloso. Al decidir qué poner en la subrasante de la carretera, el contenido de humedad es una consideración importante.
2. Cuando se agrega ceniza de madera a los tratamientos M-1, M-2 y M-3, el índice de plasticidad disminuye, según los hallazgos. Sin embargo, en M-4, la tendencia se rompe; el índice de plasticidad cae solo marginalmente, lo que indica que las concentraciones más altas no siempre están asociadas con un índice de plasticidad más bajo. La sección del Manual de Carreteras titulada "Suelos y Pavimentos" revela que el suelo es arcilloso y tiene una flexibilidad media.
3. Según la prueba de Proctor modificada, la densidad seca máxima y el contenido de humedad óptimo se redujeron cuando las cenizas de fondo se mezclaron con tierra arcillosa. Además, las cenizas alteraron significativamente los factores considerados. La consistencia en la frecuencia de aplicación de las cenizas de fondo probablemente explica por qué los resultados del tratamiento fueron consistentes.
4. La incorporación de ceniza de madera de fondo en el suelo arcilloso mejoró la capacidad portante del suelo en un 98,67% al 95% y en un 99,23% al 100% de la densidad seca máxima, como lo muestran los valores de California Bearing Ratio (CBR).



5. La prueba teórica de Duncan demostró que añadir ceniza de madera a un suelo arcilloso cambia en gran medida su densidad seca máxima, lo que a su vez afecta a la estabilidad del suelo cuando se emplea como subrasante. El contenido de humedad natural, el índice de plasticidad y el valor CBR están significativamente correlacionados con la cantidad de ceniza de madera que se aplica. El valor CBR es superior al umbral del 6 % establecido en la sección de Suelos y Pavimentos del Manual de Carreteras. También se ha demostrado que mayores cantidades de ceniza de madera no siempre proporcionan resultados superiores.



## RECOMENDACIONES

1. Se debe realizar un estudio del tamaño de partícula para los tratamientos de suelo sugeridos con una concentración de cenizas del 8%, 12% y 18% con el fin de diversificar los datos sobre los tipos de suelo que incorporan cenizas de madera. De esta manera, se puede caracterizar mejor el suelo con diferentes contenidos de cenizas.
2. Las mediciones precisas del contenido de humedad natural del suelo arcilloso son esenciales para evitar la pérdida de material durante el proceso de compactación de la subrasante.
3. La prueba de límite de Atterberg debe realizarse con material inalterado y la temperatura debe mantenerse a un nivel constante, si desea obtener resultados confiables. Además, es importante realizar la prueba según la norma, ya que las hebras de material examinadas en el límite líquido deben mostrar una rotura suficiente.
4. Es recomendable realizar pruebas adicionales con al menos cuatro muestras para cada tratamiento para garantizar la reproducibilidad de los resultados de la prueba CBR en el laboratorio. Esto ayudará a lograr el importante objetivo de proporcionar una explicación completa.
5. Por último, se debe cumplir con el Manual de Pruebas de Materiales de MTC durante las pruebas de inspección. Este documento sirve como punto de referencia definitivo para validar la construcción y los resultados de las carreteras peruanas; por lo tanto,



es crucial que las pruebas de investigación cumplan con sus lineamientos. Es recomendable solicitar la calibración del equipo de ensayo, junto con el certificado de calidad del mismo, para aumentar la validez de los datos adquiridos.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AHMARUZZAMAN, M. (2016). *A review on the utilization of fly ash. Progress in Energy and Combustion Science*, 2010(36), 327-363.

ARIAS, Fidias. *Introducción a la metodología científica*, 6 ta Ed. Venezuela, 2014. ISBN: 980-07-8529-9.

BUITRÓN, S., ENRÍQUEZ, A. (2018). *Estudio de la estabilización de arcillas expansivas de Manabí con ceniza del volcán Tungurahua. (Tesis para obtener el título de Ingeniero Civil). Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.*

CABRERA, José y PAREDES, Jery (2018) *Estabilización de suelos con cenizas de carbón mineral con fines de pavimentación en el centro poblado de cascajal izquierdo, Provincia de Santa – Ancash – 2018. Chimbote.*

CAÑAR, Edwin (2017) *Análisis comparativo de la resistencia al corte u estabilización de suelo arenosos finos y arcillosos combinados con cenizas de carbón. Ecuador.*

COENEN, A. R., Titi, H.H. & Elias, M. B. (2010). *Resilient Characteristics of Bottom Ash and Bottom Ash-soil Mixtures. Journal of ASTM International*, 8(9), 1-15

CONANMA (2016). *Geotecnia. Andalucía, España: Asociación de Laboratorios Acreditados de Andalucía.*

DURÁN, G. (2016). *Mejoramiento de un Suelo Arcilloso con Ceniza de Madera: agregando valor a los residuos de la industria de ladrillos artesanales en el Perú. En J. López (Presidencia), Formando líderes innovadores con tecnología identificando nuevas oportunidades de crecimiento. Simposio llevado a cabo en el XXI Congreso Internacional de Ingeniería y XIII Arquiforo “Visión 2016”, Lima, Perú.*

GONZALES, Ángel (2014) *Estabilización mecánica de suelos cohesivos a través de la utilización de cal - ceniza volante. Guatemala.*



*HERNÁNDEZ, Roberto. Metodología de la investigación, 6 ta Ed. Mc Graw-Hill. México 2010. ISBN 968-422-931-3.*

*HUANCOILLO, Yunion (2017) Mejoramiento de suelo arcilloso con ceniza volante y cal para su uso como pavimento a nivel de afirmado en la carretera desvío Huancané – Chupa – Puno. Puno.*

*LOZADA, José (2015). Definición Aplicada: Definición, Propiedad Intelectual e Industria. Ecuador.*

*MAMANI, Lux y YATACO, Alejandro (2017) Estabilización de suelos arcillosos aplicando ceniza de madera de fondo, producto de ladrilleras artesanales en el departamento de Ayacucho. Lima.*

*MARTINEZ, José. Evaluación del mejoramiento de suelos arcillosos empleando materiales cementantes. Tesis (Título de ingeniero civil). México: UniversidadB Veracruzana, 2012.122pp.*

*M.T.C. Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2016) Manual de Ensayo de Materiales.*

*MORALES, D. (2015). Valoración de las cenizas de carbón para la estabilización de suelos mediante activación alcalina y su uso en vías no pavimentadas. (Tesis para Optar el Título de Ingeniero Civil). Universidad de Medellín facultad de Ingeniería Civil, Medellín, Colombia.*

*NIYAZI, U. K. & TURAN, O. (2016). Effects of lightweight fly ash aggregate properties on the behavior of lightweight concretes. Journal of Hazardous Materials, 2016 (179), B954-965.*

*NORABUENA, F. (2017). Resistencia de un suelo arcilloso sustituido al 6% por ceniza de bagazo de caña de azúcar en Huanroc – Macate. (Tesis para obtener el título de Ingeniero Civil). Universidad San Pedro, Chimbote, Perú.*



*PARRA, Manuel (2018) Estabilización de un suelo con cal y ceniza volante. Colombia.*

*PÉREZ, R. (2016). Estabilización de suelos arcillosos con cenizas de carbón para su uso como subrasante mejorada y/o sub base. Lima, Perú.*

*ROBAYO NÚÑEZ, Estefania (2016). Comportamiento mecánico y durabilidad de morteros de cenizas de carbón volantes activadas alcalinamente. (Tesis de Grado para optar el título de Ingeniero Civil.) Pontificia Universidad Javeriana – Bogotá – Colombia*

*SWISSCONTACT. (2014). Programa Eficiencia Energética en Ladrilleras Artesanales de América Latina para Mitigar el Cambio Climático (EELA). Lima, Perú: Calandria.*

*PÉREZ, R. (2015). Estabilización de suelos arcillosos con cenizas de carbón para su uso como subrasante mejorada y/o sub base. Universidad Nacional de Ingeniería facultad de Ingeniería Civil sección Posgrado, Lima, Perú. P.U.C.P. Pontificia Universidad Católica del Perú (2014). Guía de Laboratorio de Mecánica de Suelos.*



# ANEXOS



### Anexo 1. Matriz de Consistencia

**Título: INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DE LA CENIZA DE MADERA EN EL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE SUELOS ARCILLOSOS EN LAS VÍAS DE LA URBANIZACIÓN VILLA MEDICA DE LA CIUDAD DE JULIACA PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LA SUBRASANTE**

Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Dimensión	Indicadores	Instrumentos de medición
<p><b>Problema general</b> ¿Qué sucede con las propiedades mecánicas de la estabilización de la subrasante de los suelos arcillosos de las carreteras en el uso de cenizas de madera en la urbanización de Villa Medica de la localidad de Juliaca?</p> <p><b>Problemas específicos</b> • ¿Qué tipo de efectos tiene el uso de cenizas de madera en la subrasante de Juliaca?</p> <p>• ¿Cómo afecta la aplicación de cenizas de madera a la subrasante de Juliaca a la densidad seca máxima del material en consideración?</p> <p>• ¿Existe una correlación entre la aplicación de cenizas de madera y la relación de soporte de la subrasante en el área de Juliaca?</p>	<p><b>Objetivo general</b> El propósito de esta investigación es explorar el impacto que tiene la incorporación de ceniza de madera en las cualidades mecánicas de los suelos arcillosos que se encuentran en las vías de acceso del desarrollo Villa Medica en Juliaca.</p> <p><b>Objetivos específicos</b> • Es necesario realizar una evaluación del suelo de la subrasante de Juliaca para identificar los efectos del tratamiento con ceniza de madera.</p> <p>• En lo que se refiere a la densidad seca máxima de la subrasante que se utiliza en Juliaca</p> <p>• Los resultados del estudio del impacto que tuvo el tratamiento con cenizas de madera en la relación de soporte de la subrasante en Juliaca deberían publicarse lo antes posible debido a su importancia.</p>	<p><b>Hipótesis general</b> Cuando se realiza la operación de estabilización de subrasante en las vías de circulación del desarrollo Villa Medica en Juliaca, el uso de ceniza de madera tiene un impacto considerable en las cualidades mecánicas de los suelos arcillosos.</p> <p><b>Hipótesis específicas</b> • Debido al uso de cenizas de madera, la subrasante en Juliaca ha sufrido una transformación significativa en términos de las propiedades típicas del suelo.</p> <p>• Debido al uso de cenizas de madera, la densidad seca máxima de la subrasante en Juliaca se ve afectada significativamente.</p> <p>• El uso de cenizas de madera tiene un impacto significativo en la relación de soporte de la subrasante en Juliaca. Este impacto es significativo en un grado sustancial.</p>	<p><b>Variable independiente</b> <b>Aplicación de la ceniza de madera.</b></p> <hr/> <p><b>Variable Dependiente</b> <b>Estabilización de la subrasante</b></p>	<p><b>Proporciones</b></p> <hr/> <p><b>propiedades físicas</b></p> <hr/> <p><b>Propiedades mecánicas</b></p>	<p>• Propiedades físicas mecánicas</p> <p>Granulometría C. de humedad LL, LP CBR Proctor modificado</p>	<p>Ficha de toma de datos</p> <hr/> <p>Equipos de laboratorio</p>



**ANEXO 2**  
**ENSAYOS DE LABORATORIO**



**TESIS** : INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DE LA CENIZA DE MADERA EN EL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE SUELOS ARCILLOSOS EN LAS VÍAS DE LA URBANIZACIÓN VILLA MEDICA DE LA CIUDAD DE JULIACA PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LA SUBRASANTE

**SOLICITANTE** : Bach. DENIES RUSSELI HUANACUNI LLANQUE

**MUESTRA** : SUELO NATURAL

**UBICACIÓN** : URB. VILLA MEDICA

**FECHA** : 02 DE SETIEMBRE DEL 2024

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

SUELO HUMEDO + TARRO	gr	282.00
SUELO SECO + TARRO	gr	249.90
PESO DEL TARRO	gr	51.85
PESO DEL AGUA	gr	32.10
PESO DEL SUELO SECO	gr	198.05
HUMEDAD %	%	18.00

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

TARRO N°	LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO		
	S	L	Q	7	3	
SUELO HUMEDO + TARRO	g	23.52	23.85	29.66	12.41	12.57
SUELO SECO + TARRO	g	19.68	19.67	25.37	11.42	11.62
PESO DEL TARRO	g	9.03	8.26	14.28	6.28	6.33
PESO DEL AGUA	g	3.84	4.18	4.29	0.99	0.95
PESO DEL SUELO SECO	g	10.65	11.41	11.09	5.14	5.29
HUMEDAD %	%	36.06	36.63	38.68	19.26	17.96
N° DE GOLPES		35	23	15		

**LÍMITE LÍQUIDO %** : **36.21**      **LÍMITE PLÁSTICO %** : **20.12**

**ÍNDICE PLÁSTICO %** : **16.09**

$LL = W_n * (N/25)^{0.121}$   
 Donde:  
 LL = Límite Líquido  
 Wn = Contenido de Humedad Promedio (%)  
 N = Número de Golpes

UANCV - FICP  
 CAP INGENIERÍA CIVIL  
  
 Mgtr. ARNALDO J. TORRES  
 CIP 166287

B. N° 006-00305472



### ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO (ASTM D422)

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

**TESIS** : INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DE LA CENIZA DE MADERA EN EL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE SUELOS ARCILLOSOS EN LAS VÍAS DE LA URBANIZACIÓN VILLA MEDICA DE LA CIUDAD DE JULIACA PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LA SUBRASANTE

**SOLICITANTE** : Bach. DENIES RUSSELI HUANACUNI LLANQUE

**MUESTRA** : SUELO NATURAL

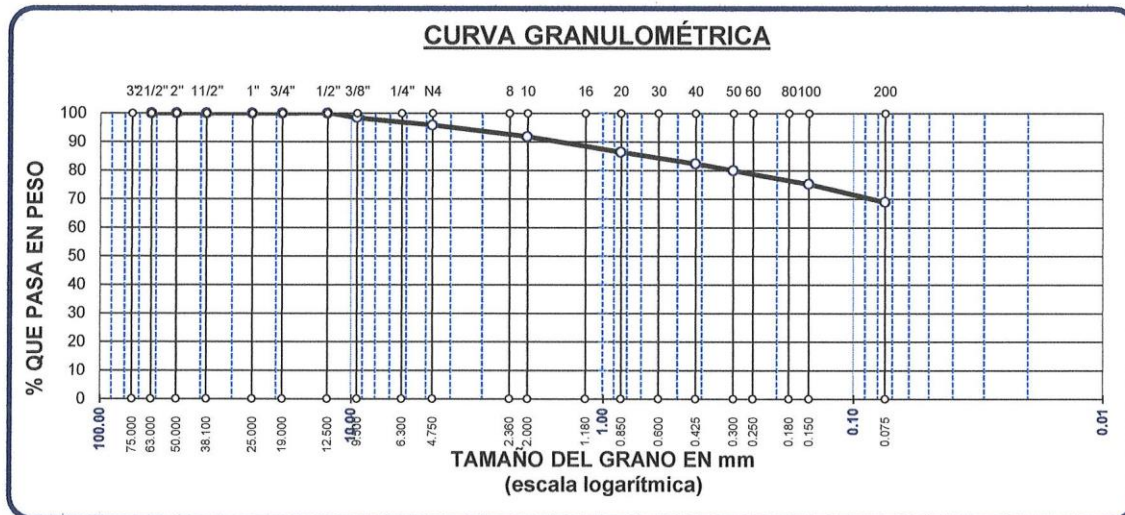
**LUGAR** : URB. VILLA MEDICA

**FECHA** : 02 DE SETIEMBRE DEL 2024

TAMICES ASTM	ABER. mm	PESO RETENIDO	%RETENIDO PARCIAL	%RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
3"	75.000				
2 1/2"	63.000	0.00	0.00	0.00	100.00
2"	50.000	0.00	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	38.100	0.00	0.00	0.00	100.00
1"	25.000	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.000	0.00	0.00	0.00	100.00
1/2"	12.500	0.00	0.00	0.00	100.00
3/8"	9.500	4.59	1.53	1.53	98.47
1/4"	6.300				
No4	4.750	8.03	2.68	4.21	95.79
No8	2.360				
No10	2.000	12.02	4.01	8.21	91.79
No16	1.180				
No20	0.850	16.24	5.41	13.63	86.37
No30	0.600				
No40	0.425	12.03	4.01	17.64	82.36
No 50	0.300	7.12	2.37	20.01	79.99
No60	0.250				
No80	0.180				
No100	0.150	14.20	4.73	24.74	75.26
No200	0.075	19.20	6.40	31.14	68.86
<b>BASE</b>		206.57	68.86	100.00	0.00
<b>TOTAL</b>		300.00	100.00		
<b>% PERDIDA</b>		68.86			

<b>TAMAÑO MAXIMO:</b>	
<b>DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA</b>	
P.I.=	300.00
P.L.=	93.43
P.P.=	206.57
% W =	18.00
<b>LIMITES DE CONSISTENCIA:</b>	
L.L.=	36.21
L.P.=	20.12
I.P.=	16.09
<b>CHARACT. GRANULOMÉTRICAS:</b>	
D10= ----	Cu= ----
D30= ----	Cc= ----
D60= ----	
<b>CLASIFICACIÓN:</b>	
:	
<b>SUCS</b> : CL	
<b>AASHTO</b> : A-6 (10)	
Grava	4.21 %
Arena	26.94 %
Finos	68.86 %



UANCV - FICP  
 CAP INGENIERÍA CIVIL

LABORATORIO M.S.C.A.  
 JULIACA, PERÚ

Mgtr. ARNALDO JAYANA TORRES  
 CIP 103247

B. N° 006-00305472



**TESIS** : INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DE LA CENIZA DE MADERA EN EL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE SUELOS ARCILLOSOS EN LAS VÍAS DE LA URBANIZACIÓN VILLA MEDICA DE LA CIUDAD DE JULIACA PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LA SUBRASANTE

**SOLICITANTE** : Bach. DENIES RUSSELI HUANACUNI LLANQUE

**MUESTRA** : CON 8% CENIZA DE MADERA

**UBICACIÓN** : URB. VILLA MEDICA

**FECHA** : 02 DE SETIEMBRE DEL 2024

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

SUELO HUMEDO + TARRO	gr	279.78
SUELO SECO + TARRO	gr	249.90
PESO DEL TARRO	gr	51.80
PESO DEL AGUA	gr	29.88
PESO DEL SUELO SECO	gr	198.10
HUMEDAD %	%	15.30

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

TARRO N°	LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO		
	S	L	Q	7	3	
SUELO HUMEDO + TARRO	g	28.68	30.54	29.79	15.69	16.22
SUELO SECO + TARRO	g	26.00	27.69	26.70	14.72	15.02
PESO DEL TARRO	g	17.37	18.93	17.35	8.74	8.74
PESO DEL AGUA	g	2.68	2.85	3.09	0.97	1.20
PESO DEL SUELO SECO	g	8.63	8.76	9.35	5.98	6.28
HUMEDAD %	%	31.05	32.53	33.05	16.22	19.11
N° DE GOLPES		35	25	21		

**LÍMITE LÍQUIDO %** : 30.01      **LÍMITE PLÁSTICO %** : 17.56

**ÍNDICE PLÁSTICO %** : 12.45

$LL = W_n * (N/25)^{0.121}$   
 Donde:  
 LL = Límite Líquido  
 Wn = Contenido de Humedad Promedio (%)  
 N = Número de Golpes



UANCV - FICP  
CAP INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIO  
M.S.C.A.  
JEFALURA  
Mgtr. ARNALDO YANAY TORRES  
CIP 163267

B. N° 006-00305472



### ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO (ASTM D422)

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

**TESIS** : INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DE LA CENIZA DE MADERA EN EL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE SUELOS ARCILLOSOS EN LAS VÍAS DE LA URBANIZACIÓN VILLA MEDICA DE LA CIUDAD DE JULIACA PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LA SUBRASANTE

**SOLICITANTE** : Bach. DENIES RUSSELI HUANACUNI LLANQUE

**MUESTRA** : CON 8% CENIZA DE MADERA

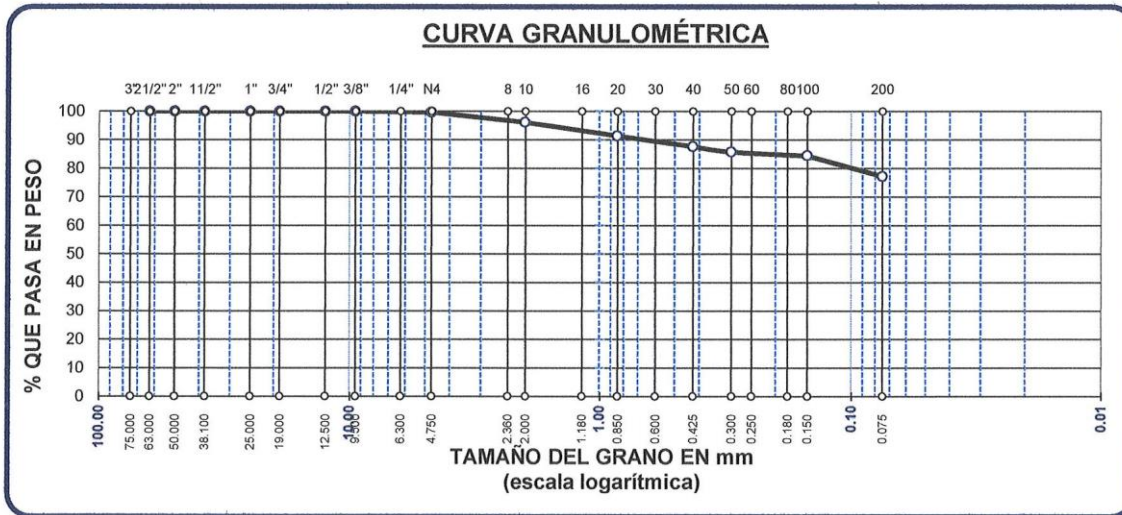
**LUGAR** : URB. VILLA MEDICA

**FECHA** : 02 DE SETIEMBRE DEL 2024

TAMICES ASTM	ABER. mm	PESO RETENIDO	%RETENIDO PARCIAL	%RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
3"	75.000				
2 1/2"	63.000	0.00	0.00	0.00	100.00
2"	50.000	0.00	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	38.100	0.00	0.00	0.00	100.00
1"	25.000	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.000	0.00	0.00	0.00	100.00
1/2"	12.500	0.00	0.00	0.00	100.00
3/8"	9.500	0.00	0.00	0.00	100.00
1/4"	6.300				
No4	4.750	1.11	0.37	0.37	99.63
No8	2.360				
No10	2.000	10.52	3.51	3.88	96.12
No16	1.180				
No20	0.850	14.46	4.82	8.70	91.30
No30	0.600				
No40	0.425	11.17	3.72	12.42	87.58
No 50	0.300	5.69	1.90	14.32	85.68
No60	0.250				
No80	0.180				
No100	0.150	3.93	1.31	15.63	84.37
No200	0.075	21.57	7.19	22.82	77.18
BASE		231.55	77.18	100.00	0.00
TOTAL		300.00	100.00		
% PERDIDA		77.18			

TAMAÑO MÁXIMO:	
DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	
P.I.=	300.00
P.L.=	68.45
P.P.=	231.55
% W =	15.30
LÍMITES DE CONSISTENCIA:	
L.L.=	30.01
L.P.=	17.56
I.P.=	12.45
CARACT. GRANULOMÉTRICAS:	
D10= ----	Cu= ----
D30= ----	Cc= ----
D60= ----	
CLASIFICACIÓN:	
:	
SUCS	: CL
AASHTO	: A-6 (10)
Grava	0.37 %
Arena	22.45 %
Finos	77.18 %



UANCV - FICP  
 CAP INGENIERÍA CIVIL

LABORATORIO M.S.C.A.  
 JEFE DEL LABORATORIO

DR. ARNALDO TORRES  
 CIP 103297

B. N° 006-00305472



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



**TESIS** : INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DE LA CENIZA DE MADERA EN EL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE SUELOS ARCILLOSOS EN LAS VÍAS DE LA URBANIZACIÓN VILLA MEDICA DE LA CIUDAD DE JULIACA PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LA SUBRASANTE

**SOLICITANTE** : Bach. DENIES RUSSELI HUANACUNI LLANQUE

**MUESTRA** : CON 12% CENIZA DE MADERA

**UBICACIÓN** : URB. VILLA MEDICA

**FECHA** : 02 DE SETIEMBRE DEL 2024

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

SUELO HUMEDO + TARRO	gr	255.60
SUELO SECO + TARRO	gr	240.50
PESO DEL TARRO	gr	58.00
PESO DEL AGUA	gr	15.10
PESO DEL SUELO SECO	gr	182.50
HUMEDAD %	%	14.60

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

LÍMITE LIQUIDO					LÍMITE PLÁSTICO	
TARRO N°		X	H	L	1	8
SUELO HUMEDO + TARRO	g	29.55	26.66	29.03	15.39	15.90
SUELO SECO + TARRO	g	27.34	25.91	26.12	14.55	14.97
PESO DEL TARRO	g	18.98	18.66	18.77	9.03	8.90
PESO DEL AGUA	g	2.21	0.75	2.91	0.84	0.93
PESO DEL SUELO SECO	g	8.36	7.25	7.35	5.52	6.07
HUMEDAD %	%	26.44	10.34	39.59	15.22	15.32
N° DE GOLPES		34	28	20		

**LÍMITE LIQUIDO %** : **24.13**      **LÍMITE PLÁSTICO %** : **15.67**

**ÍNDICE PLÁSTICO %** : **8.46**

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

UANCV - FICP  
CAP INGENIERÍA CIVIL

LABORATORIO  
M.S.C.A.  
JULIACA - PERÚ

Mgtr. ARINA DUYANA TORRES  
CIP 165267

B. N° 006-00305472



### ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO (ASTM D422)

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

**TESIS** : INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DE LA CENIZA DE MADERA EN EL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE SUELOS ARCILLOSOS EN LAS VÍAS DE LA URBANIZACIÓN VILLA MEDICA DE LA CIUDAD DE JULIACA PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LA SUBRASANTE

**SOLICITANTE** : Bach. DENIES RUSSELI HUANACUNI LLANQUE

**MUESTRA** : CON 12% CENIZA DE MADERA

**LUGAR** : URB. VILLA MEDICA

**FECHA** : 02 DE SETIEMBRE DEL 2024

TAMICES ASTM	ABER. mm	PESO RETENIDO	%RETENIDO PARCIAL	%RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
3"	75.000				
2 1/2"	63.000	0.00	0.00	0.00	100.00
2"	50.000	0.00	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	38.100	0.00	0.00	0.00	100.00
1"	25.000	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.000	0.00	0.00	0.00	100.00
1/2"	12.500	0.00	0.00	0.00	100.00
3/8"	9.500	0.00	0.00	0.00	100.00
1/4"	6.300				
No4	4.750	4.05	1.35	1.35	98.65
No8	2.360				
No10	2.000	3.15	1.05	2.40	97.60
No16	1.180				
No20	0.850	6.25	2.08	4.48	95.52
No30	0.600				
No40	0.425	5.20	1.73	6.22	93.78
No 50	0.300	6.17	2.06	8.27	91.73
No60	0.250				
No80	0.180				
No100	0.150	4.12	1.37	9.65	90.35
No200	0.075	6.55	2.18	11.83	88.17
BASE		264.51	88.17	100.00	0.00
TOTAL		300.00	100.00		
% PERDIDA			88.17		

**TAMAÑO MÁXIMO:**

**DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA**

P.I.= 300.00  
 P.L.= 35.49  
 P.P.= 264.51  
 % W = 14.60

**LÍMITES DE CONSISTENCIA:**

L.L.= 24.13  
 L.P.= 15.67  
 I.P.= 8.46

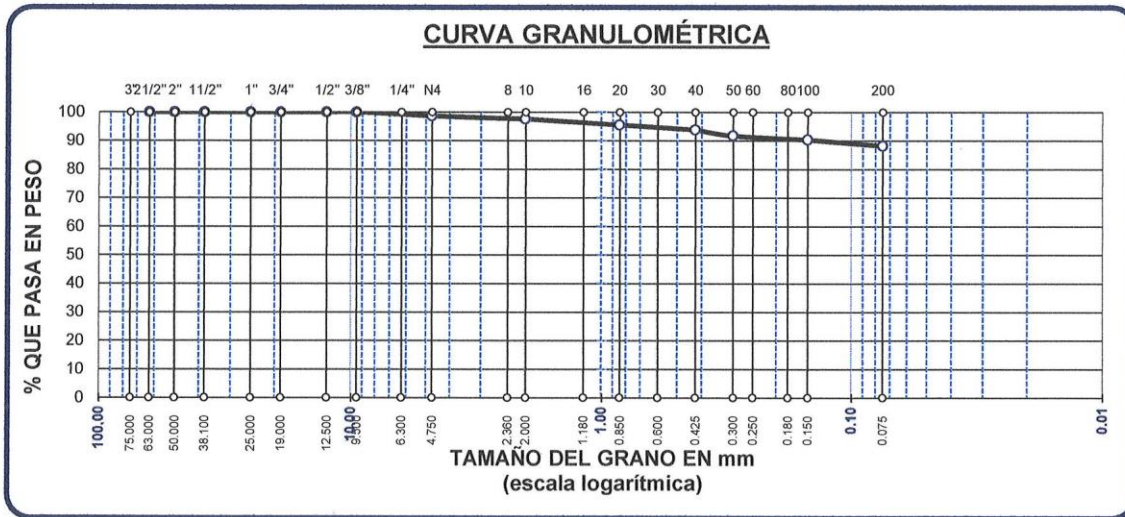
**CARACT. GRANULOMÉTRICAS:**

D10= ----      Cu= ----  
 D30= ----      Cc= ----  
 D60= ----

**CLASIFICACIÓN:**

SUCS : CL  
 AASHTO : A-6 (11)

Grava 1.35 %  
 Arena 10.48 %  
 Finos 88.17 %



UANCV - FICP  
 CAP INGENIERÍA CIVIL

LABORATORIO M.S.C.A.  
 JEFE DE LABORATORIO

Mgtr. ARNALDO GUAYANA TORRES  
 CIP 103297

B. N° 006-00305472



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



**TESIS** : INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DE LA CENIZA DE MADERA EN EL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE SUELOS ARCILLOSOS EN LAS VÍAS DE LA URBANIZACIÓN VILLA MEDICA DE LA CIUDAD DE JULIACA PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LA SUBRASANTE

**SOLICITANTE** : Bach. DENIES RUSSELI HUANACUNI LLANQUE

**MUESTRA** : CON 18% CENIZA DE MADERA

**UBICACIÓN** : URB. VILLA MEDICA

**FECHA** : 02 DE SETIEMBRE DEL 2024

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

SUELO HUMEDO + TARRO	gr	261.40
SUELO SECO + TARRO	gr	223.50
PESO DEL TARRO	gr	58.00
PESO DEL AGUA	gr	37.90
PESO DEL SUELO SECO	gr	165.50
HUMEDAD %	%	14.10

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

TARRO N°	LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO		
	X	H	L	1	8	
SUELO HUMEDO + TARRO	g	28.31	27.10	28.55	15.39	15.88
SUELO SECO + TARRO	g	27.29	25.99	26.08	14.55	14.97
PESO DEL TARRO	g	20.10	21.10	19.15	9.10	9.30
PESO DEL AGUA	g	1.02	1.11	2.47	0.84	0.91
PESO DEL SUELO SECO	g	7.19	4.89	6.93	5.45	5.67
HUMEDAD %	%	14.19	22.70	35.64	15.41	16.05
N° DE GOLPES		34	28	20		

**LÍMITE LIQUIDO % : 24.13      LÍMITE PLÁSTICO % : 15.67**

**ÍNDICE PLÁSTICO % : 8.46**

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

Donde:

LL = Límite Líquido

W<sub>n</sub> = Contenido de Humedad Promedio (%)

N = Número de Golpes

UANCV - FICP  
 CAP INGENIERÍA CIVIL

LABORATORIO M.S.C.A.  
 JEFAT. JRA

MGT. ARNALDO ANA TORRES  
 CIP 162297

B. N° 006-00305472



### ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO (ASTM D422)

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

**TESIS** : INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DE LA CENIZA DE MADERA EN EL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE SUELOS ARCILLOSOS EN LAS VÍAS DE LA URBANIZACIÓN VILLA MEDICA DE LA CIUDAD DE JULIACA PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LA SUBRASANTE

**SOLICITANTE** : Bach. DENIES RUSSELI HUANACUNI LLANQUE

**MUESTRA** : CON 12% CENIZA DE MADERA

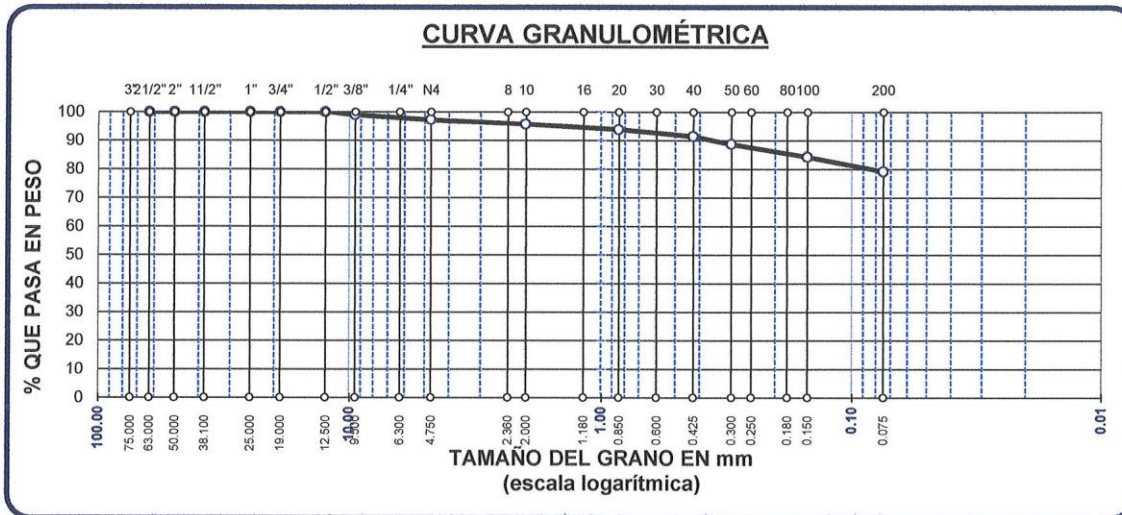
**LUGAR** : URB. VILLA MEDICA

**FECHA** : 02 DE SETIEMBRE DEL 2024

TAMICES ASTM	ABER. mm	PESO RETENIDO	%RETENIDO PARCIAL	%RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
3"	75.000				
2 1/2"	63.000	0.00	0.00	0.00	100.00
2"	50.000	0.00	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	38.100	0.00	0.00	0.00	100.00
1"	25.000	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.000	0.00	0.00	0.00	100.00
1/2"	12.500	0.00	0.00	0.00	100.00
3/8"	9.500	3.10	1.03	1.03	98.97
1/4"	6.300				
No4	4.750	5.18	1.73	2.76	97.24
No8	2.360				
No10	2.000	4.65	1.55	4.31	95.69
No16	1.180				
No20	0.850	5.55	1.85	6.16	93.84
No30	0.600				
No40	0.425	7.23	2.41	8.57	91.43
No 50	0.300	8.15	2.72	11.29	88.71
No60	0.250				
No80	0.180				
No100	0.150	13.36	4.45	15.74	84.26
No200	0.075	15.28	5.09	20.83	79.17
BASE		237.50	79.17	100.00	0.00
TOTAL		300.00	100.00		
% PERDIDA		79.17			

TAMAÑO MÁXIMO:	
DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	
P.I.=	300.00
P.L.=	62.50
P.P.=	237.50
% W =	14.60
LÍMITES DE CONSISTENCIA:	
L.L.=	24.13
L.P.=	15.67
I.P.=	8.46
CARACT. GRANULOMÉTRICAS:	
D10= ----	Cu= ----
D30= ----	Cc= ----
D60= ----	
CLASIFICACIÓN:	
:	
SUCS	: CL
AASHTO	: A-6 (11)
Grava	2.76 %
Arena	18.07 %
Finos	79.17 %



UANCV - FICP  
 CAP INGENIERÍA CIVIL  
 LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS  
 JEFA: JRA  
 ING. ANITA TOTA TORRES  
 CIP 103247

B. N° 006-00305472



### ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

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

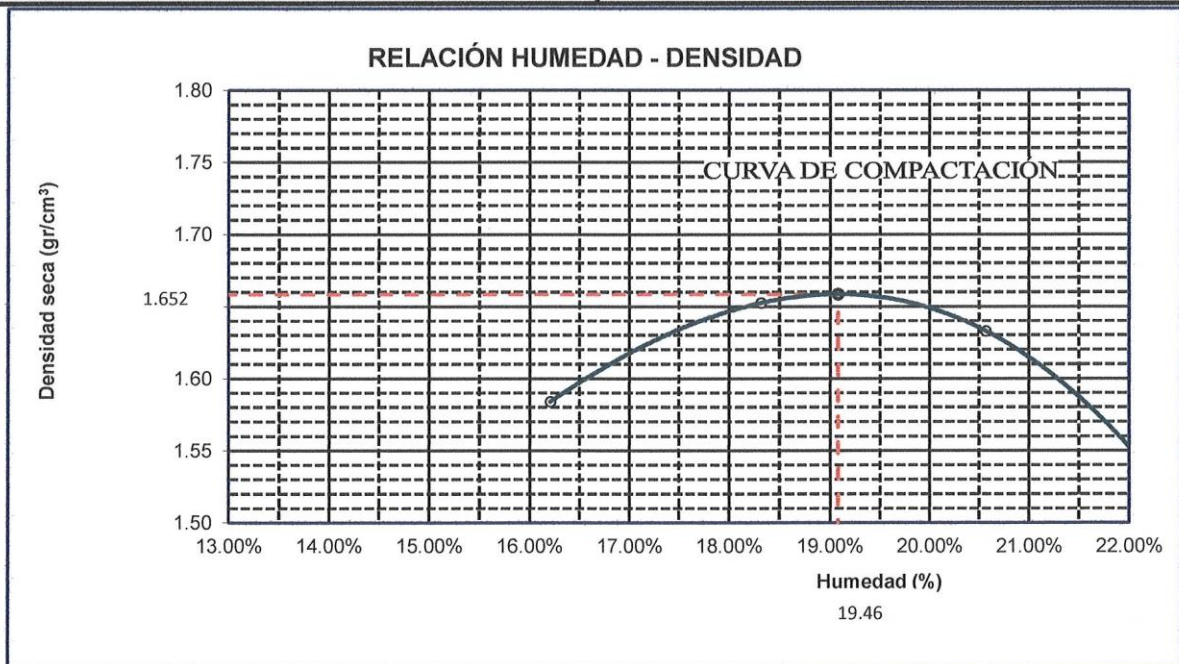
<b>TESIS</b>	: INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DE LA CENIZA DE MADERA EN EL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE SUELOS ARCILLOSOS EN LAS VÍAS DE LA URBANIZACIÓN VILLA MEDICA DE LA CIUDAD DE JULIACA PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LA SUBRASANTE
<b>SOLICITANTE</b>	: Bach. DENIES RUSSELI HUANACUNI LLANQUE
<b>MUESTRA</b>	: NATURAL
<b>UBICACIÓN</b>	: URB. VILLA MEDICA
<b>LUGAR</b>	: DISTRITO DE JULIACA
<b>FECHA</b>	: 12 DE SETIEMBRE DEL 2024

<b>MOLDE No</b>	:	1	<b>VOLUMEN DEL MOLDE</b>	:	2079 cm <sup>3</sup>
<b>No DE CAPAS</b>	:	5	<b>GOLPES POR CAPA</b>	:	56 golpes

Peso Suelo Humedo + Molde	gr.	9765	10003	10031	9785
Peso del Molde	gr.	5938	5938	5938	5938
Peso del Suelo Húmedo	gr/cm <sup>3</sup> .	3827	4065	4093	3847
Densidad del Suelo Humedo	gr/cm <sup>3</sup> .	1.841	1.955	1.969	1.850

Capsula No	No	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.
Suelo Humedo + Capsula	gr.	221.69	254.71	207.80	222.53	210.10	227.06	216.65	218.83
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	201.26	229.58	185.98	199.57	184.98	199.56	188.06	190.40
Peso del Agua	gr.	20.43	25.13	21.82	22.96	25.12	27.50	28.59	28.43
Peso de la Capsula	gr.	55.92	54.71	51.42	59.75	49.98	51.51	50.30	49.70
Peso del Suelo Seco	gr.	145.34	174.87	134.56	139.82	135.00	148.05	137.76	140.70
% de Humedad	%	14.06%	14.37%	16.22%	16.42%	18.61%	18.57%	20.75%	20.21%
<b>Promedio de Humedad</b>	%	<b>16.21%</b>		<b>18.32%</b>		<b>20.57%</b>		<b>22.49%</b>	
<b>Densidad del Suelo Seco</b>	%	<b>1.584</b>		<b>1.653</b>		<b>1.633</b>		<b>1.511</b>	

<b>METODO:</b>	ASTM D - 1557 MODIFICADO "C"	<b>MAXIMA DENSIDAD SECA</b>	:	1.652 gr/cm <sup>3</sup>
		<b>HUMEDAD OPTIMA</b>	:	19.46%



OBSERVACIONES: LAS MUESTRAS FUERON PUESTAS EN EL LABORATORIO POR EL SOLICITANTE



B. N° 006-00305472



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



### RELACION HUMEDAD - DENSIDAD PROCTOR

<b>TESIS</b>	: INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DE LA CENIZA DE MADERA EN EL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE SUELOS ARCILLOSOS EN LAS VÍAS DE LA URBANIZACIÓN VILLA MEDICA DE LA CIUDAD DE JULIACA PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LA SUBRASANTE
<b>SOLICITANTE</b>	: Bach. DENIES RUSSELI HUANACUNI LLANQUE
<b>MUESTRA</b>	: NATURAL
<b>UBICACIÓN</b>	: URB. VILLA MEDICA
<b>LUGAR</b>	: DISTRITO DE JULIACA
<b>FECHA</b>	: 12 DE SETIEMBRE DEL 2024

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

<b>Peso Suelo Humedo + Molde</b>	gr.	10760	10348	10923	10720	10992	10718
<b>Peso del Molde</b>	gr.	6795	6795	6744	6744	6785	6785
<b>Peso del Suelo Humedo</b>	gr.	3965	3553	4179	3976	4207	3933
<b>Volumen del Suelo</b>	cc.	2104.81	2104.81	2101.91	2101.91	2096.50	2096.50
<b>Densidad del Suelo Humedo</b>	gr/cc.	1.884	1.688	1.988	1.892	2.007	1.876

<b>Capsula No</b>	No										
<b>Suelo Humedo + Capsula</b>	gr.	202.28	254.47	317.00	267.30	272.59	315.00	247.17	276.50	337.00	
<b>Peso del Suelo Seco + Capsula</b>	gr.	174.20	217.60	290.80	231.51	236.20	286.14	218.52	243.96	304.89	
<b>Peso del Agua</b>	gr.	28.08	36.87	26.20	35.79	36.39	28.86	28.65	32.54	32.11	
<b>Peso de la Capsula</b>	gr.	37.53	38.88	39.00	39.06	38.16	37.00	37.99	38.69	39.24	
<b>Peso del Suelo Seco</b>	gr.	136.67	178.72	251.80	192.45	198.04	249.14	180.53	205.27	265.65	
<b>% de Humedad</b>	%	20.55%	20.63%	10.41%	18.60%	18.38%	11.58%	15.87%	15.85%	12.09%	
<b>Promedio de Humedad</b>	%	20.59%	10.41%	18.49%	11.58%	15.86%	12.09%				
<b>Densidad del Suelo Seco</b>	gr/cc.	1.562	1.529	1.678	1.695	1.732	1.674				

### EXPANSION

Fecha	Hora	Tiempo	Dial	Expansion		Dial	Expansion		Dial	Expansion	
				mm	%		mm	%		mm	%
8/09/2024	11:25: a.m.	0	0.00	0.00	0	0.00	0	0	0.50	0	0
9/09/2024	11:25: a.m.	24:00:00	0.62	0.02	0.01	0.56	0.01	0.01	0.54	0.00	0.00
10/09/2024	11:25: a.m.	48:00:00	0.69	0.02	0.02	0.59	0.01	0.01	0.58	0.00	0.00
11/09/2024	11:25: a.m.	72:00:00	0.83	0.02	0.02	0.62	0.02	0.01	0.60	0.00	0.00
12/09/2024	11:25: a.m.	96:00:00	0.92	0.02	0.02	0.64	0.02	0.01	0.61	0.00	0.00

### PENETRACION

Penetración mm	Tiempo	Carga Est.	MOLDE No III				MOLDE No II				MOLDE No I			
			Dial	Kg	Kg/cm2	Correc.	Dial	Kg	Kg/cm2	Correc.	Dial	Kg	Kg/cm2	Correc.
0.00	0:00		0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00	
0.63	00:30		1.10	30	1.5		2.20	34	1.7		3.10	38	1.9	
1.27	01:00		3.80	41	2.1		6.10	51	2.6		8.10	60	3.0	
1.91	01:30		6.50	53	2.7		9.70	66	3.4		12.10	76	3.9	
2.54	02:00	70.31	8.20	60	3.0		11.80	75	3.8		16.20	94	4.7	
3.81	03:00		10.80	71	3.6		15.60	91	4.6		19.90	110	5.5	
5.09	04:00	105.00	13.10	81	4.1		18.60	104	5.3		22.80	122	6.2	
6.35	05:00		15.10	89	4.5		20.90	114	5.8		25.10	132	6.7	
7.62	06:00		17.60	100	5.0		23.80	126	6.4		27.30	141	7.1	
8.84	07:00													
10.16	08:00													

OBSERVACIONES: LAS MUESTRAS FUERON PUESTAS EN EL LABORATORIO POR EL SOLICITANTE

  
 UANCV - FICP  
 CAP INGENIERÍA CIVIL  
 LABORATORIO M.S.C.A.  
 DE JULIACA  
 Mg. ARINA JULIANA TORRES  
 CIP 166237

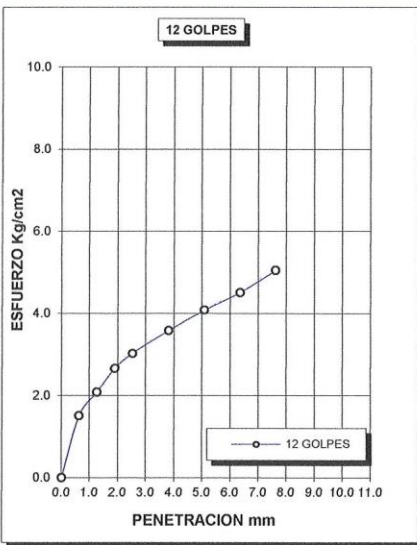
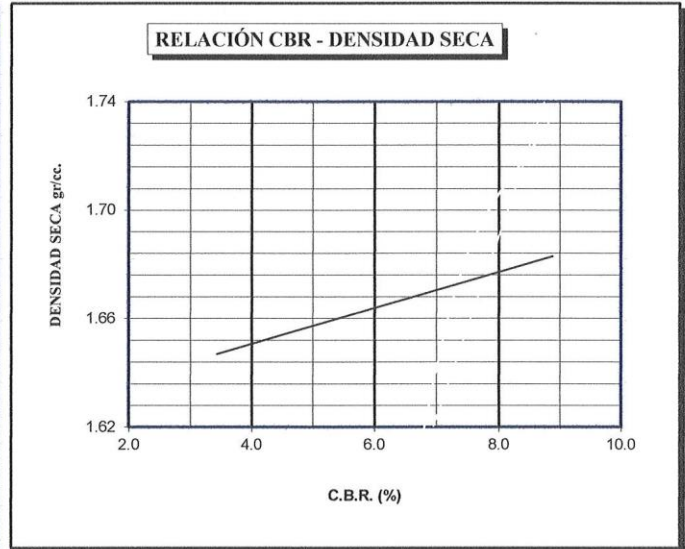
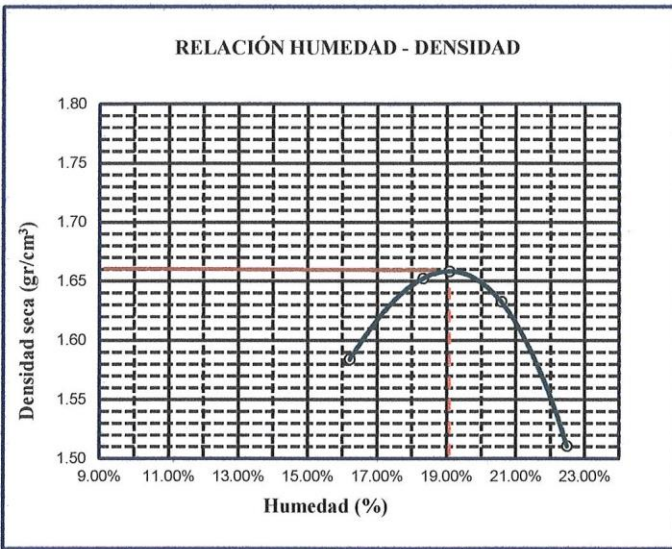
B. N° 006-00305472



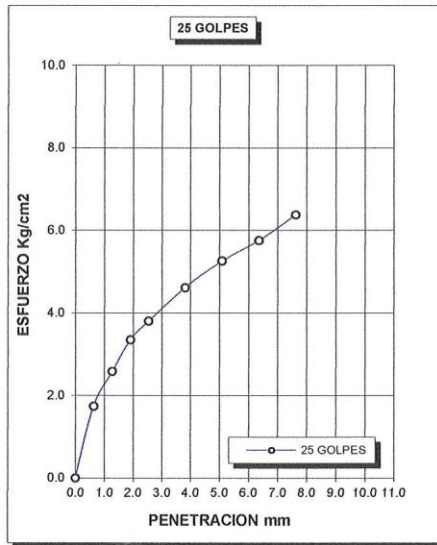
UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS



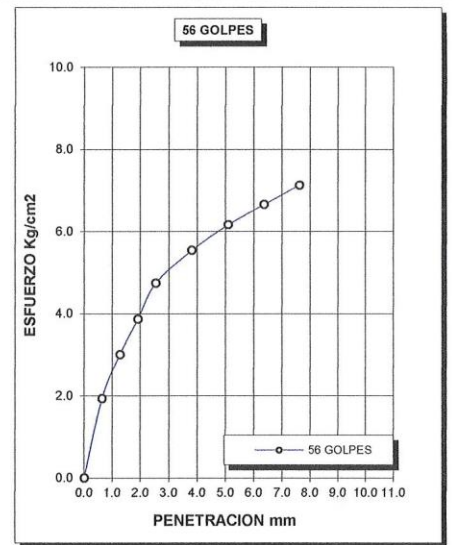
<b>TESIS</b>	: INFLUENCIA DE LA APLICACION DE LA CENIZA DE MADERA EN EL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE SUELOS ARCILLOSOS EN LAS VÍAS DE LA URBANIZACIÓN VILLA MEDICA DE LA CIUDAD DE JULIACA PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LA	<b>METODO DE COMPACTACIÓN ASTM D1557-91</b>	
<b>SOLICITANTE</b>	: : Bach. DENIES RUSSELI HUANACUNI LLANQUE	<b>MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm<sup>3</sup>.)</b>	1.652
<b>MUESTRA</b>	: NATURAL	<b>HUMEDAD OPTIMA (%)</b>	19.46%
<b>UBICACIÓN</b>	: URB. VILLA MEDICA	<b>CBR AL 100 DE M.D.S. (%)</b>	8.09
<b>LUGAR</b>	: DISTRITO DE JULIACA	<b>CBR AL 95% DE M.D.S. (%)</b>	6.89
<b>FECHA</b>	: : 12 DE SETIEMBRE DEL 2024	<b>CLASIFICACIÓN</b>	: CL
		<b>AASHTO</b>	: A-6 (11)
		<b>EMBEBIDO</b>	: 4 DIAS



CBR 6.3



CBR 7.4



CBR 8.8

UANCV - FICP  
CAP INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIO M.S.C.A. JULIACA  
Ing. ARMANDO ANA TORRES  
CIPI 103237

B. N° 006-00305472



### ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

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

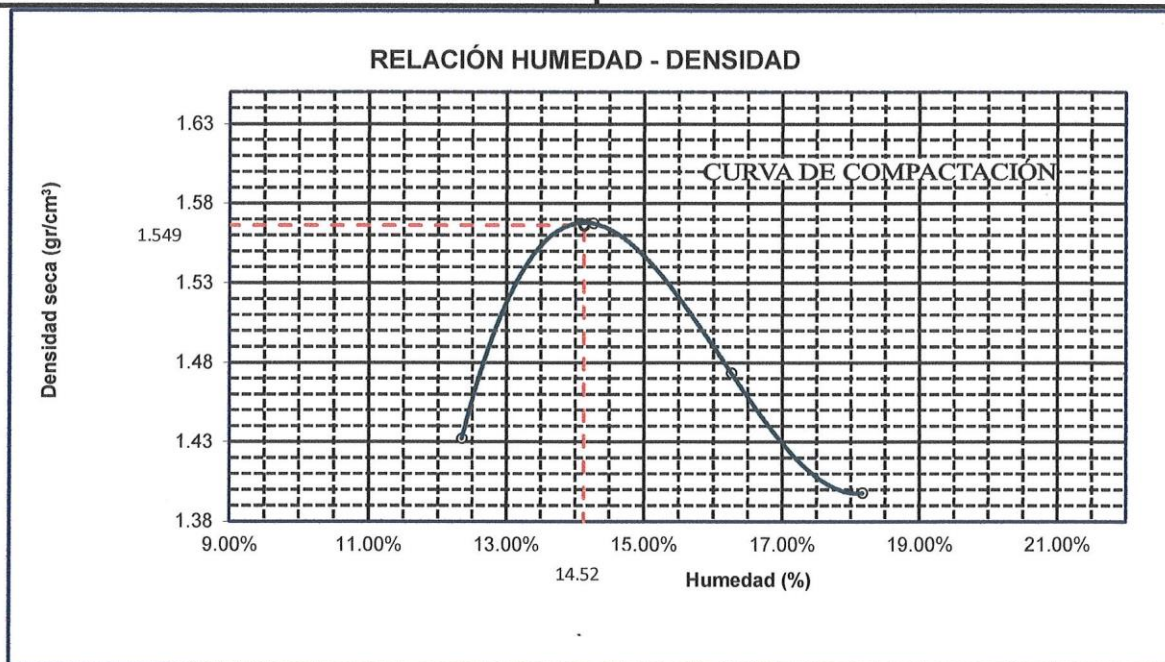
<b>TESIS</b>	: INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DE LA CENIZA DE MADERA EN EL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE SUELOS ARCILLOSOS EN LAS VÍAS DE LA URBANIZACIÓN VILLA MEDICA DE LA CIUDAD DE JULIACA PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LA SUBRASANTE
<b>SOLICITANTE</b>	: Bach. DENIES RUSSELI HUANACUNI LLANQUE
<b>MUESTRA</b>	: CON 8% DE CENIZA DE MADERA
<b>LUGAR</b>	: DISTRITO DE JULIACA
<b>FECHA</b>	: 12 DE SETIEMBRE DEL 2024

<b>MOLDE No</b>	:	1	<b>VOLUMEN DEL MOLDE</b>	:	2079 cm <sup>3</sup>
<b>No DE CAPAS</b>	:	5	<b>GOLPES POR CAPA</b>	:	56 golpes

<b>Peso Suelo Humedo + Molde</b>	gr.	9698	10017	10039	9801
<b>Peso del Molde</b>	gr.	5938	5938	5938	5938
<b>Peso del Suelo Húmedo</b>	gr/cm <sup>3</sup> .	3760	4079	4101	3863
<b>Densidad del Suelo Humedo</b>	gr/cm <sup>3</sup> .	1.609	1.791	1.713	1.652

Capsula No	No	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.
<b>Suelo Humedo + Capsula</b>	gr.	231.20	228.50	218.50	222.30	225.40	224.10	219.60	221.50
<b>Peso del Suelo Seco + Capsula</b>	gr.	206.45	203.02	192.67	196.00	196.07	194.88	189.11	191.00
<b>Peso del Agua</b>	gr.	24.75	25.48	25.83	26.30	29.33	29.22	30.49	30.50
<b>Peso de la Capsula</b>	gr.	51.20	51.00	52.30	51.00	53.20	53.50	54.50	55.00
<b>Peso del Suelo Seco</b>	gr.	155.25	152.02	140.37	145.00	142.87	141.38	134.61	136.00
<b>% de Humedad</b>	%	15.94%	16.76%	18.40%	18.14%	20.53%	20.67%	22.65%	22.43%
<b>Promedio de Humedad</b>	%	12.35%		14.27%		16.26%		18.17%	
<b>Densidad del Suelo Seco</b>	%	1.432		1.567		1.473		1.398	

<b>METODO:</b>	ASTM D - 1557 MODIFICADO "C"	<b>MAXIMA DENSIDAD SECA</b>	:	1.549 gr/cm <sup>3</sup>
		<b>HUMEDAD OPTIMA</b>	:	14.52%



OBSERVACIONES: LAS MUESTRAS FUERON PUESTAS EN EL LABORATORIO POR EL SOLICITANTE

UANCV - FICP  
CAP INGENIERIA CIVIL

Mgtr. ARMANDO J. TORRES

LABORATORIO M.S.C.A. JULIACA

B. N° 006-00305472



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



### RELACION HUMEDAD - DENSIDAD PROCTOR

<b>TESIS</b>	: INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DE LA CENIZA DE MADERA EN EL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE SUELOS ARCILLOSOS EN LAS VÍAS DE LA URBANIZACIÓN VILLA MEDICA DE LA CIUDAD DE JULIACA PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LA SUBRASANTE
<b>SOLICITANTE</b>	: Bach. DENIES RUSSELI HUANACUNI LLANQUE
<b>MUESTRA</b>	: CON 8% DE CENIZA DE MADERA
<b>LUGAR</b>	: DISTRITO DE JULIACA
<b>FECHA</b>	: 12 DE SETIEMBRE DEL 2024

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

<b>Peso Suelo Humedo + Molde</b>	gr.	10532	10377	10626	10341	10733	10536
<b>Peso del Molde</b>	gr.	6795	6795	6744	6744	6785	6785
<b>Peso del Suelo Humedo</b>	gr.	3737	3582	3882	3597	3948	3751
<b>Volumen del Suelo</b>	cc.	2102.04	2102.04	2099.13	2099.13	2099.27	2099.27
<b>Densidad del Suelo Humedo</b>	gr/cc.	1.778	1.704	1.849	1.714	1.881	1.787

<b>Capsula No</b>	No	4									
<b>Suelo Humedo + Capsula</b>	gr.	199.90	252.90	307.60	264.50	268.20	308.20	245.60	273.60	328.60	
<b>Peso del Suelo Seco + Capsula</b>	gr.	172.99	214.88	288.60	228.60	238.40	287.66	218.40	243.88	304.70	
<b>Peso del Agua</b>	gr.	26.91	38.02	19.00	35.90	29.80	20.54	27.20	29.72	23.90	
<b>Peso de la Capsula</b>	gr.	37.00	38.00	38.00	38.00	38.50	39.00	39.00	38.00	39.30	
<b>Peso del Suelo Seco</b>	gr.	135.99	176.88	250.60	190.60	199.90	248.66	179.40	205.88	265.40	
<b>% de Humedad</b>	%	19.79%	21.49%	7.58%	18.84%	14.91%	8.26%	15.16%	14.44%	9.01%	
<b>Promedio de Humedad</b>	%	20.64%		7.58%	16.87%		8.26%	14.80%		9.01%	
<b>Densidad del Suelo Seco</b>	gr/cc.	1.474	1.584	1.582	1.583	1.638	1.639				

### EXPANSION

Fecha	Hora	Tiempo	Dial	Expansion		Dial	Expansion		Dial	Expansion	
				mm	%		mm	%		mm	%
8/09/2024	08:30: a.m.	0	0.00	0.00	0	0.00	0	0	0.00	0	0
9/09/2024	08:30: a.m.	24:00:00	0.62	0.02	0.01	0.50	0.01	0.01	0.52	0.01	0.01
10/09/2024	08:30: a.m.	48:00:00	0.69	0.02	0.02	0.58	0.01	0.01	0.62	0.02	0.01
11/09/2024	08:30: a.m.	72:00:00	0.79	0.02	0.02	0.65	0.02	0.01	0.68	0.02	0.01
12/09/2024	08:30: a.m.	96:00:00	0.85	0.02	0.02	0.69	0.02	0.02	0.73	0.02	0.02

### PENETRACION

Penetración mm	Tiempo	Carga Est.	MOLDE No III				MOLDE No II				MOLDE No I			
			Dial	Kg	Kg/cm2	Correc.	Dial	Kg	Kg/cm2	Correc.	Dial	Kg	Kg/cm2	Correc.
0.00	0:00		0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00	
0.63	00:30		15.10	89.2	4.5		28.10	144.4	7.3		33.60	168	8.5	
1.27	01:00		25.60	133.8	6.8		42.30	204.7	10.3		53.60	253	12.8	
1.91	01:30		33.60	167.7	8.5		54.20	255.2	12.9		67.10	310	15.7	
2.54	02:00	70.31	42.10	203.8	10.3		62.10	288.7	14.6		76.20	349	17.6	
3.81	03:00		58.30	284.1	13.3		73.60	337.5	17.1		91.20	412	20.8	
5.09	04:00	105.00	67.90	313.3	15.8		83.60	380.0	19.2		104.10	467	23.6	
6.35	05:00		78.10	356.6	18.0		91.20	412.2	20.8		114.50	511	25.8	
7.62	06:00		88.20	399.5	20.2		99.20	446.2	22.6		125.40	557	28.2	
8.84	07:00													
10.16	08:00													

OBSERVACIONES: LAS MUESTRAS FUERON PUESTAS EN EL LABORATORIO POR EL SOLICITANTE

UANCV - FICP  
CAP INGENIERÍA CIVIL

MONTAÑA DOÑA TORRES  
CIP 100007

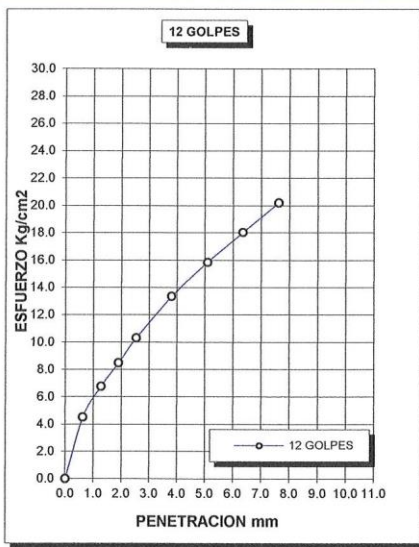
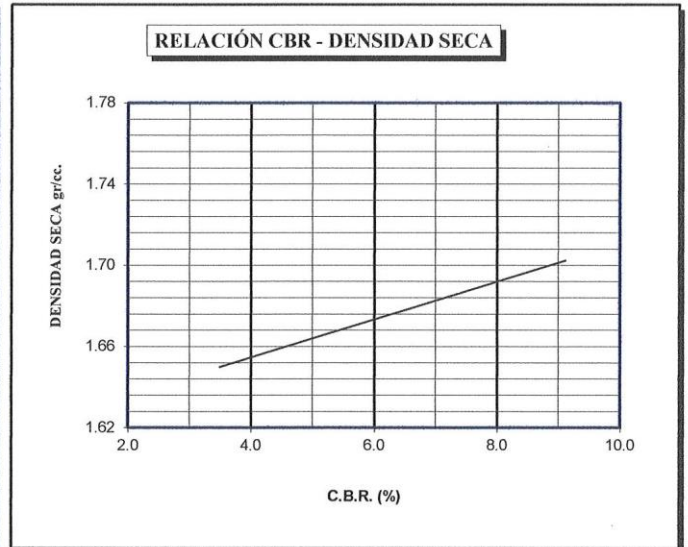
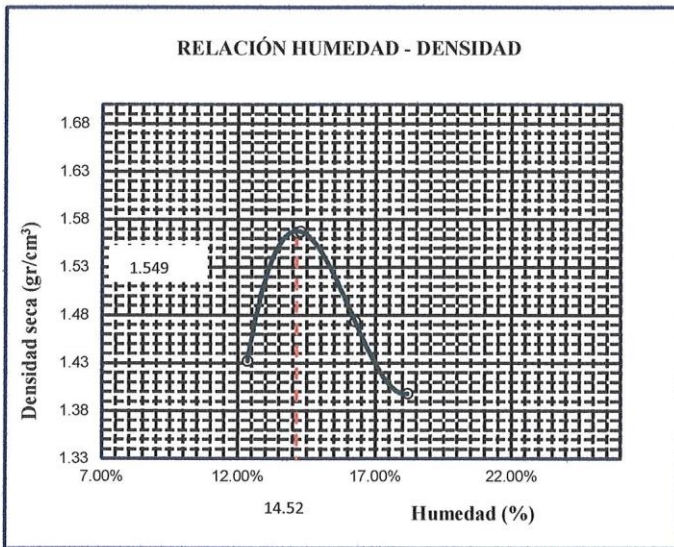
B. N° 006-00305472



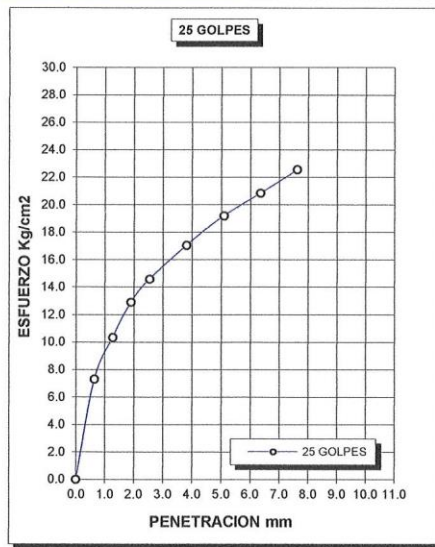
UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS



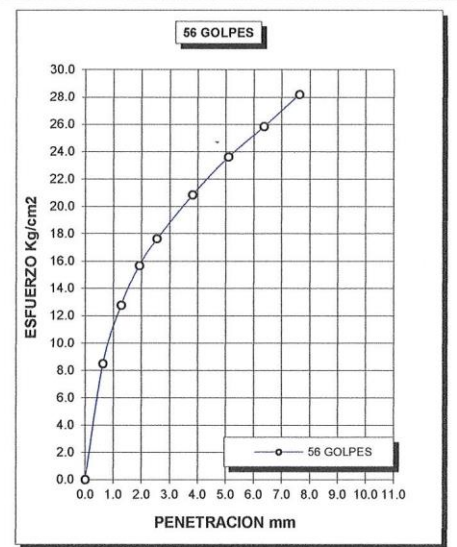
<b>TESIS</b>	: INFLUENCIA DE LA APLICACION DE LA CENIZA DE MADERA EN EL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE SUELOS ARCILLOSOS EN LAS VÍAS DE LA URBANIZACIÓN VILLA MEDICA DE LA CIUDAD DE JULIACA PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LA	<b>METODO DE COMPACTACIÓN ASTM D1557-91</b>
<b>SOLICITANTE</b>	: : Bach. DENIES RUSSELI HUANACUNI LLANQUE	<b>MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm3.)</b> 1.549
<b>MUESTRA</b>	: CON 8% DE CENIZA DE MADERA	<b>HUMEDAD OPTIMA (%)</b> 14.52
<b>LUGAR</b>	: DISTRITO DE JULIACA	<b>CBR AL 100 DE M.D.S. (%)</b> 30.08
<b>FECHA</b>	: : 12 DE SETIEMBRE DEL 2024	<b>CBR AL 95% DE M.D.S. (%)</b> 23.01
		<b>CLASIFICACIÓN :</b> CL
		<b>AASHTO :</b> A-6 (10)
		<b>EMBEBIDO :</b> 4 DIAS



CBR 19.7



CBR 25.8



CBR 33.1

UANCV - FICP  
CAP INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS  
Mg. ARMANDO HERRERA TORRES  
JULIACA - PERÚ

B. N° 006-00305472



### ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

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

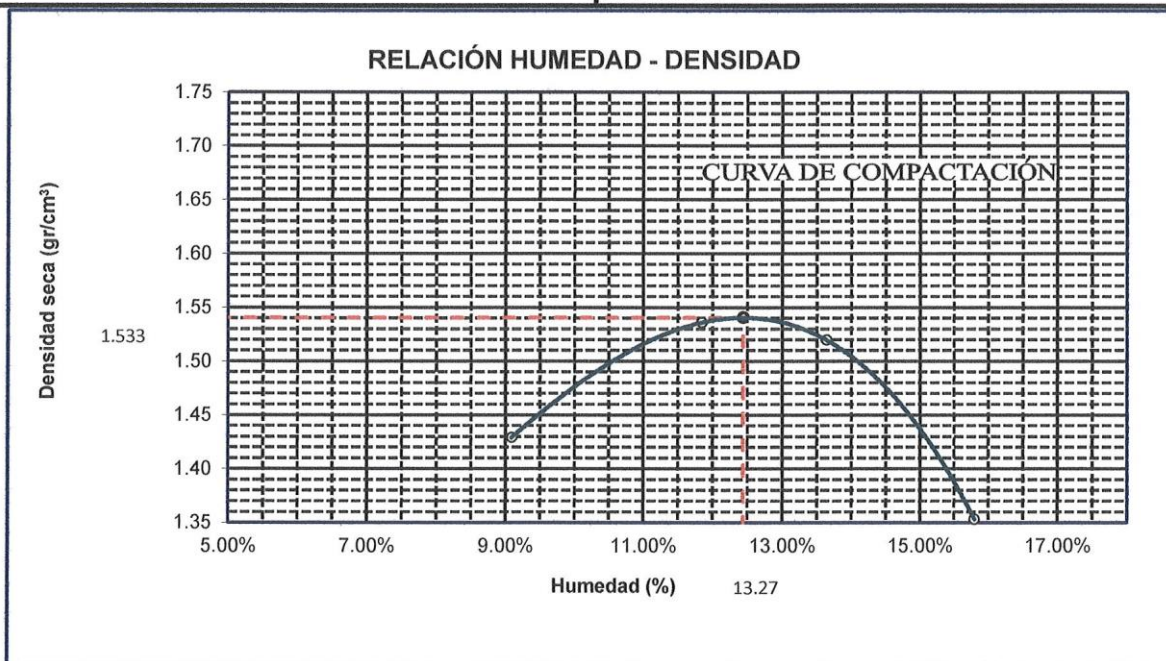
<b>TESIS</b>	: INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DE LA CENIZA DE MADERA EN EL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE SUELOS ARCILLOSOS EN LAS VÍAS DE LA URBANIZACIÓN VILLA MEDICA DE LA CIUDAD DE JULIACA PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LA SUBRASANTE
<b>SOLICITANTE</b>	: Bach. DENIES RUSSELI HUANACUNI LLANQUE
<b>MUESTRA</b>	: CON 12% DE CENIZA DE MADERA
<b>LUGAR</b>	: DISTRITO DE JULIACA
<b>FECHA</b>	: 12 DE SETIEMBRE DEL 2024

<b>MOLDE No</b>	:	1	<b>VOLUMEN DEL MOLDE</b>	:	2079 cm <sup>3</sup>
<b>No DE CAPAS</b>	:	5	<b>GOLPES POR CAPA</b>	:	56 golpes

Peso Suelo Humedo + Molde	gr.	9594	9926	9945	9611
Peso del Molde	gr.	5938	5938	5938	5938
Peso del Suelo Húmedo	gr/cm <sup>3</sup> .	3656	3988	4007	3673
Densidad del Suelo Humedo	gr/cm <sup>3</sup> .	1.559	1.718	1.727	1.567

Capsula No	No	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.
Suelo Humedo + Capsula	gr.	189.57	190.20	186.66	183.74	194.30	191.40	185.30	190.50
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	169.03	170.11	164.88	163.06	169.40	168.32	160.50	164.84
Peso del Agua	gr.	20.54	20.09	21.78	20.68	24.90	23.08	24.80	25.66
Peso de la Capsula	gr.	51.20	50.20	50.33	52.40	51.70	53.60	51.00	53.00
Peso del Suelo Seco	gr.	117.83	119.91	114.55	110.66	117.70	114.72	109.50	111.84
% de Humedad	%	17.43%	16.75%	19.01%	18.69%	21.16%	20.12%	22.65%	22.94%
<b>Promedio de Humedad</b>	%	<b>9.09%</b>		<b>11.85%</b>		<b>13.64%</b>		<b>15.80%</b>	
<b>Densidad del Suelo Seco</b>	%	<b>1.429</b>		<b>1.536</b>		<b>1.520</b>		<b>1.353</b>	

<b>METODO:</b>	ASTM D - 1557 MODIFICADO "C"	<b>MAXIMA DENSIDAD SECA</b>	:	1.533 gr/cm <sup>3</sup>
		<b>HUMEDAD OPTIMA</b>	:	13.27%



OBSERVACIONES: LAS MUESTRAS FUERON PUESTAS EN EL LABORATORIO POR EL SOLICITANTE



B. N° 006-00305472



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



### RELACION HUMEDAD - DENSIDAD PROCTOR

<b>TESIS</b>	: INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DE LA CENIZA DE MADERA EN EL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE SUELOS ARCILLOSOS EN LAS VÍAS DE LA URBANIZACIÓN VILLA MEDICA DE LA CIUDAD DE JULIACA PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LA SUBRASANTE
<b>SOLICITANTE</b>	: Bach. DENIES RUSSELI HUANCUNI LLANQUE
<b>MUESTRA</b>	: CON 12% DE CENIZA DE MADERA
<b>LUGAR</b>	: DISTRITO DE JULIACA
<b>FECHA</b>	: 12 DE SETIEMBRE DEL 2024

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

<b>Peso Suelo Humedo + Molde</b>	gr.	10409	10098	10691	10438	10980	10928
<b>Peso del Molde</b>	gr.	6795	6795	6744	6744	6785	6785
<b>Peso del Suelo Humedo</b>	gr.	3614	3303	3947	3694	4195	4143
<b>Volumen del Suelo</b>	cc.	2104.81	2104.81	2101.91	2101.91	2096.50	2096.50
<b>Densidad del Suelo Humedo</b>	gr/cc.	1.717	1.569	1.878	1.757	2.001	1.976

<b>Capsula No</b>	No											
<b>Suelo Humedo + Capsula</b>	gr.	185.60	190.00	263.20		188.50	184.50	271.20		192.30	195.70	248.40
<b>Peso del Suelo Seco + Capsula</b>	gr.	162.15	165.00	239.18		166.16	162.04	245.55		171.22	175.00	224.30
<b>Peso del Agua</b>	gr.	23.45	25.00	24.02		22.34	22.46	25.65		21.08	20.70	24.10
<b>Peso de la Capsula</b>	gr.	39.10	38.00	38.11		36.12	35.20	35.55		36.17	38.40	36.90
<b>Peso del Suelo Seco</b>	gr.	123.05	127.00	201.07		130.04	126.84	210.00		135.05	136.60	187.40
<b>% de Humedad</b>	%	19.06%	19.69%	11.95%		17.18%	17.71%	12.21%		15.61%	15.15%	12.86%
<b>Promedio de Humedad</b>	%	19.37%		11.95%		17.44%		12.21%		15.38%		12.86%
<b>Densidad del Suelo Seco</b>	gr/cc.	1.438		1.402		1.599		1.566		1.734		1.751

### EXPANSION

Fecha	Hora	Tiempo	Dial	Expansion		Dial	Expansion		Dial	Expansion	
				mm	%		mm	%		mm	%
8/09/2024	02:00: p.m.	0	0.00	0.00	0	0.00	0	0	0.00	0	0
9/09/2024	02:00: p.m.	24:00:00	0.49	0.01	0.01	0.45	0.01	0.01	0.44	0.01	0.01
10/09/2024	02:00: p.m.	48:00:00	0.56	0.01	0.01	0.52	0.01	0.01	0.50	0.01	0.01
11/09/2024	02:00: p.m.	72:00:00	0.63	0.02	0.01	0.58	0.01	0.01	0.55	0.01	0.01
12/09/2024	02:00: p.m.	96:00:00	0.73	0.02	0.02	0.65	0.02	0.01	0.59	0.01	0.01

### PENETRACION

Penetración mm	Tiempo	Carga Est.	MOLDE No III				MOLDE No II				MOLDE No I			
			Dial	Kg	Kg/cm2	Correc.	Dial	Kg	Kg/cm2	Correc.	Dial	Kg	Kg/cm2	Correc.
0.00	0:00		0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00	
0.63	00:30		20.20	110.9	5.6		33.60	167.7	8.5		38.60	189	9.6	
1.27	01:00		30.20	153.3	7.7		48.10	229.3	11.6		59.40	277	14.0	
1.91	01:30		38.15	187.1	9.5		60.10	280.2	14.2		74.20	340	17.2	
2.54	02:00	70.31	47.50	226.7	11.5		68.40	315.5	15.9		84.20	383	19.3	
3.81	03:00		61.40	285.7	14.4		79.10	360.9	18.2		96.20	433	21.9	
5.09	04:00	105.00	73.20	335.8	17.0		89.20	403.7	20.4		110.20	493	24.9	
6.35	05:00		84.10	382.1	19.3		97.10	437.3	22.1		121.50	541	27.3	
7.62	06:00		94.10	424.5	21.5		107.20	480.1	24.3		132.60	588	29.7	
8.84	07:00													
10.16	08:00													

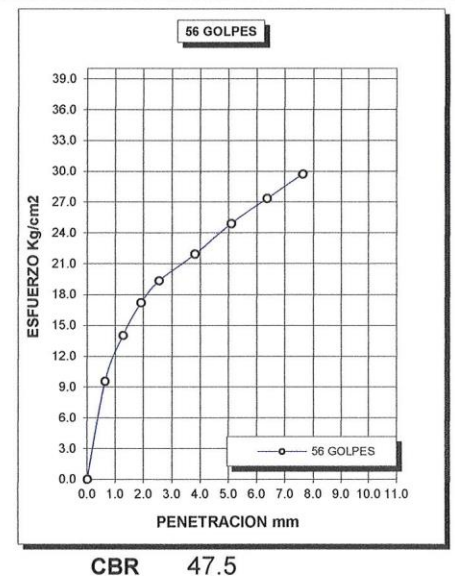
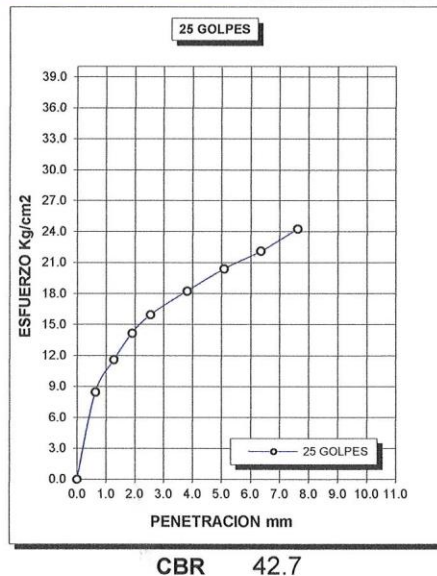
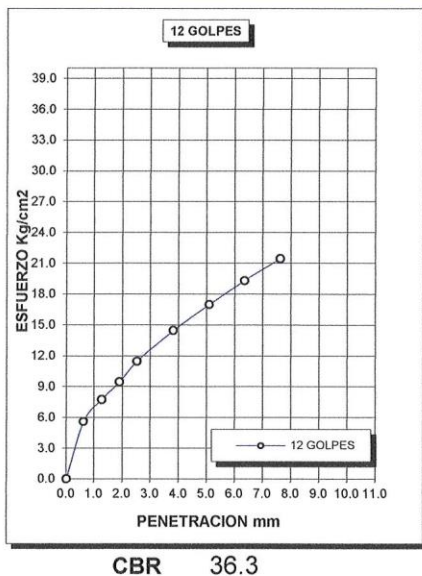
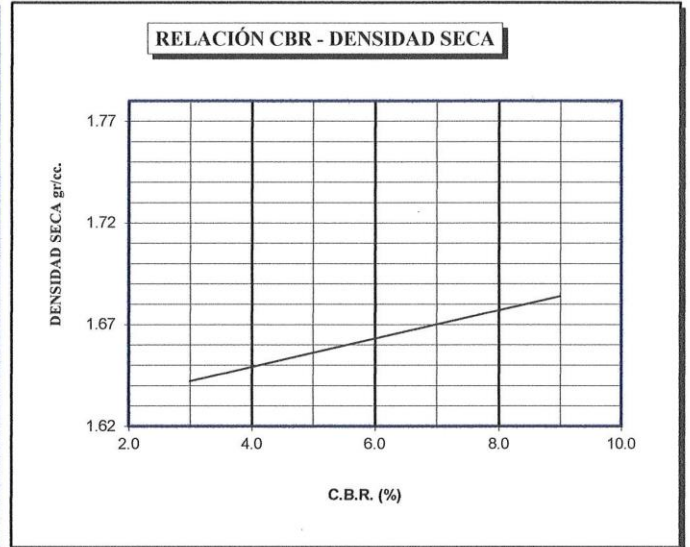
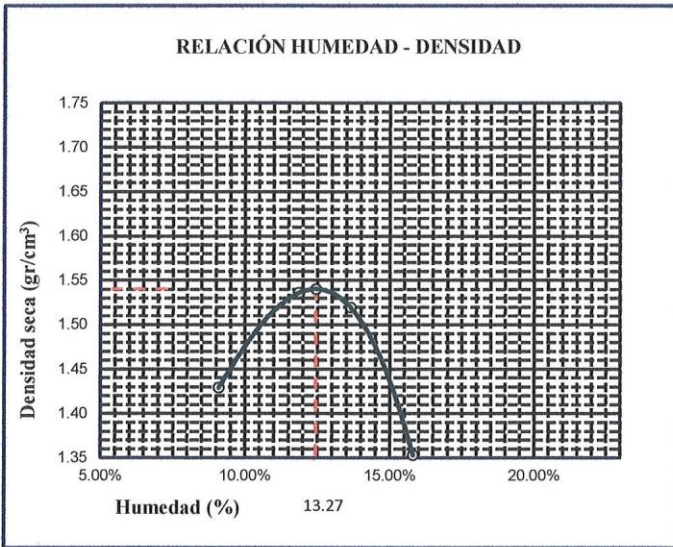
OBSERVACIONES: LAS MUESTRAS FUERON PUESTAS EN EL LABORATORIO POR EL SOLICITANTE

UANCV - FICP  
 CAP INGENIERÍA CIVIL  
  
 Ing. ARMAÑO HUANCUNI TORRES  
 CIP 163207

B. N° 006-00305472



<b>TESIS</b>	: INFLUENCIA DE LA APLICACION DE LA CENIZA DE MADERA EN EL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE SUELOS ARCILLOSOS EN LAS VÍAS DE LA URBANIZACIÓN VILLA MEDICA DE LA CIUDAD DE JULIACA PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LA	<b>METODO DE COMPACTACIÓN ASTM D1557-91</b>
<b>SOLICITANTE</b>	: : Bach. DENIES RUSSELI HUANACUNI LLANQUE	<b>MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm<sup>3</sup>.)</b> 1.533
<b>MUESTRA</b>	: CON 12% DE CENIZA DE MADERA	<b>HUMEDAD OPTIMA (%)</b> 13.27%
<b>LUGAR</b>	: DISTRITO DE JULIACA	<b>CBR AL 100 DE M.D.S. (%)</b> 46.67
<b>FECHA</b>	: : 12 DE SETIEMBRE DEL 2024	<b>CBR AL 95% DE M.D.S. (%)</b> 29.10
		<b>CLASIFICACIÓN :</b> CL-ML
		<b>AASHTO :</b> A-4 (4)
		<b>EMBEBIDO :</b> 4 DIAS



UANCV - FICP  
CAP INGENIERIA CIVIL  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS  
JULIACA  
CIP 100257

B. N° 006-00305472



### ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

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

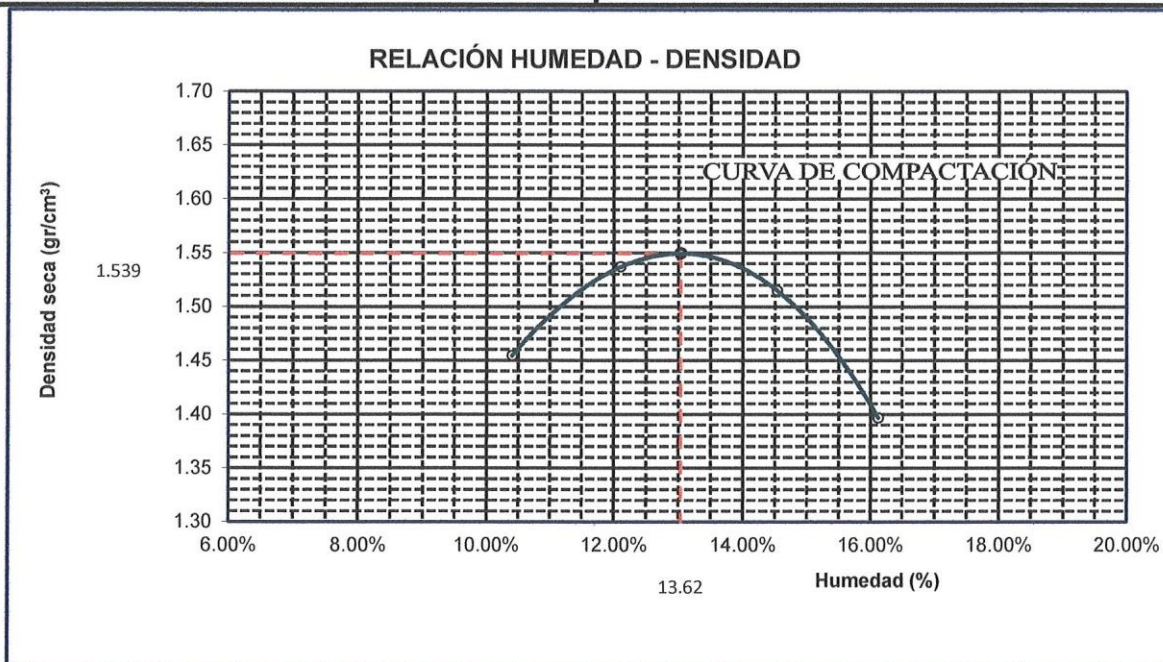
<b>TESIS</b>	: INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DE LA CENIZA DE MADERA EN EL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE SUELOS ARCILLOSOS EN LAS VÍAS DE LA URBANIZACIÓN VILLA MEDICA DE LA CIUDAD DE JULIACA PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LA SUBRASANTE
<b>SOLICITANTE</b>	: Bach. DENIES RUSSELI HUANACUNI LLANQUE
<b>MUESTRA</b>	: CON 18% DE CENIZA DE MADERA
<b>LUGAR</b>	: DISTRITO DE JULIACA
<b>FECHA</b>	: 12 DE SETIEMBRE DEL 2024

<b>MOLDE No</b>	:	1	<b>VOLUMEN DEL MOLDE</b>	:	2079 cm <sup>3</sup>
<b>No DE CAPAS</b>	:	5	<b>GOLPES POR CAPA</b>	:	56 golpes

<b>Peso Suelo Humedo + Molde</b>	gr.	9487	9730	9756	9519
<b>Peso del Molde</b>	gr.	5940	5940	5940	5940
<b>Peso del Suelo Húmedo</b>	gr/cm <sup>3</sup> .	3547	3790	3816	3579
<b>Densidad del Suelo Humedo</b>	gr/cm <sup>3</sup> .	1.606	1.723	1.735	1.622

Capsula No	No	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.
Suelo Humedo + Capsula	gr.	236.20	239.50	234.10	223.05	223.30	227.30	219.88	227.30
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	208.06	210.66	202.04	193.62	191.20	194.00	186.00	192.10
Peso del Agua	gr.	28.14	28.84	32.06	29.43	32.10	33.30	33.88	35.20
Peso de la Capsula	gr.	45.20	46.30	44.10	43.11	42.57	43.62	45.10	44.10
Peso del Suelo Seco	gr.	162.86	164.36	157.94	150.51	148.63	150.38	140.90	148.00
% de Humedad	%	17.28%	17.55%	20.30%	19.55%	21.60%	22.14%	24.05%	23.78%
<b>Promedio de Humedad</b>	%	10.41%		12.11%		14.54%		16.12%	
<b>Densidad del Suelo Seco</b>	%	1.455		1.537		1.515		1.397	

<b>METODO:</b>	ASTM D - 1557 MODIFICADO "C"	<b>MAXIMA DENSIDAD SECA</b>	:	1.539 gr/cm <sup>3</sup>
		<b>HUMEDAD OPTIMA</b>	:	13.62%



OBSERVACIONES: LAS MUESTRAS FUERON PUESTAS EN EL LABORATORIO POR EL SOLICITANTE

UANCV - FICP  
CAP INGENIERÍA CIVIL

LABORATORIO M.S.C.A.  
DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS

Mgtr. ARNALDO J. CÁCERES

B. N° 006-00305472



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



### RELACION HUMEDAD - DENSIDAD PROCTOR

<b>TESIS</b>	: INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DE LA CENIZA DE MADERA EN EL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE SUELOS ARCILLOSOS EN LAS VÍAS DE LA URBANIZACIÓN VILLA MEDICA DE LA CIUDAD DE JULIACA PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LA SUBRASANTE
<b>SOLICITANTE</b>	: Bach. DENIES RUSSELI HUANACUNI LLANQUE
<b>MUESTRA</b>	: CON 18% DE CENIZA DE MADERA
<b>LUGAR</b>	: DISTRITO DE JULIACA
<b>FECHA</b>	: 12 DE SETIEMBRE DEL 2024

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

<b>Peso Suelo Humedo + Molde</b>	gr.	10784	10502	10910	10734	11040	10801
<b>Peso del Molde</b>	gr.	6795	6795	6744	6744	6785	6785
<b>Peso del Suelo Humedo</b>	gr.	3989	3707	4166	3990	4255	4016
<b>Volumen del Suelo</b>	cc.	2104.81	2104.81	2101.91	2101.91	2096.50	2096.50
<b>Densidad del Suelo Humedo</b>	gr/cc.	1.895	1.761	1.982	1.898	2.030	1.916

<b>Capsula No</b>	No										
<b>Suelo Humedo + Capsula</b>	gr.	192.30	185.60	190.44	195.40	191.20	187.20	196.30	191.40	193.60	
<b>Peso del Suelo Seco + Capsula</b>	gr.	166.10	161.30	172.00	171.55	167.03	169.22	174.22	170.00	174.10	
<b>Peso del Agua</b>	gr.	26.20	24.30	18.44	23.85	24.17	17.98	22.08	21.40	19.50	
<b>Peso de la Capsula</b>	gr.	38.50	39.30	37.10	37.40	35.20	36.60	37.10	38.30	37.60	
<b>Peso del Suelo Seco</b>	gr.	127.60	122.00	134.90	134.15	131.83	132.62	137.12	131.70	136.50	
<b>% de Humedad</b>	%	20.53%	19.92%	13.67%	17.78%	18.33%	13.56%	16.10%	16.25%	14.29%	
<b>Promedio de Humedad</b>	%	20.23%		13.67%	18.06%		13.56%	16.18%		14.29%	
<b>Densidad del Suelo Seco</b>	gr/cc.	1.576		1.549	1.679		1.672	1.747		1.676	

### EXPANSION

Fecha	Hora	Tiempo	Dial			Expansion			Dial			Expansion		
			mm	%		mm	%		mm	%		mm	%	
8/09/2024	04:00: p.m.	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0
9/09/2024	04:00: p.m.	24:00:00	0.63	0.02	0.01	0.53	0.01	0.01	0.47	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
10/09/2024	04:00: p.m.	48:00:00	0.72	0.02	0.02	0.57	0.01	0.01	0.51	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
11/09/2024	04:00: p.m.	72:00:00	0.82	0.02	0.02	0.63	0.02	0.01	0.58	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
12/09/2024	04:00: p.m.	96:00:00	0.90	0.02	0.02	0.71	0.02	0.02	0.60	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01

### PENETRACION

Penetración mm	Tiempo	Carga Est.	MOLDE No III				MOLDE No II				MOLDE No I				
			Dial	Kg	Kg/cm2	Correc.	Dial	Kg	Kg/cm2	Correc.	Dial	Kg	Kg/cm2	Correc.	
0.00	0:00		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.63	00:30		21.10	114.7	5.8	34.55	171.8	8.7		42.10	204	10.3			
1.27	01:00		32.30	162.2	8.2	48.10	229.3	11.6		59.10	276	14.0			
1.91	01:30		40.10	195.3	9.9	61.20	284.9	14.4		73.20	336	17.0			
2.54	02:00	70.31	47.10	225.0	11.4	68.20	314.6	15.9		81.20	370	18.7			
3.81	03:00		61.20	284.9	14.4	81.20	369.8	18.7		97.60	439	22.2			
5.09	04:00	105.00	73.30	336.2	17.0	92.30	416.9	21.1		109.50	490	24.8			
6.35	05:00		84.10	382.1	19.3	100.20	450.4	22.8		121.20	540	27.3			
7.62	06:00		93.60	422.4	21.4	107.40	481.0	24.3		131.20	582	29.4			
8.84	07:00														
10.16	08:00														

OBSERVACIONES: LAS MUESTRAS FUERON PUESTAS EN EL LABORATORIO POR EL SOLICITANTE

UANCV - FCP  
CAP INGENIERÍA CIVIL

LABORATORIO  
M.S.C.A.  
JULIACA

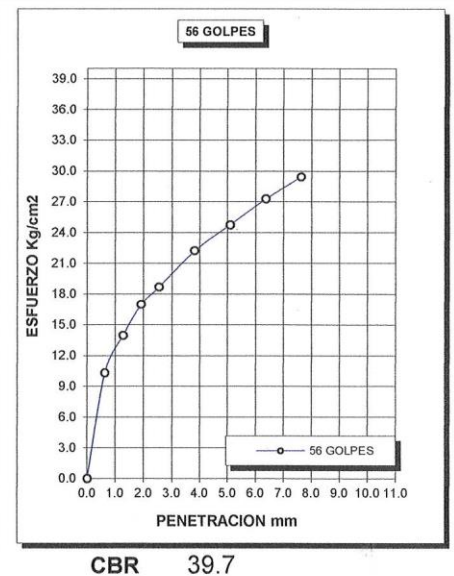
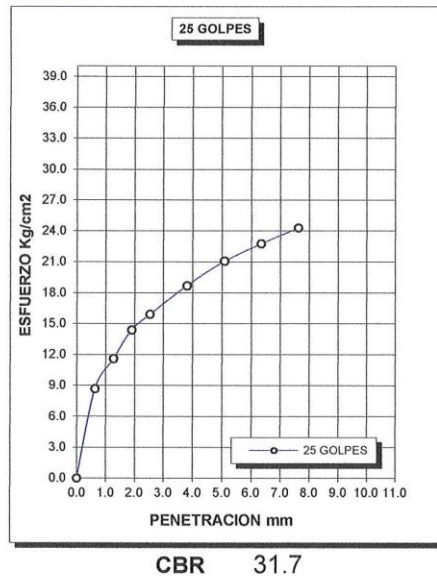
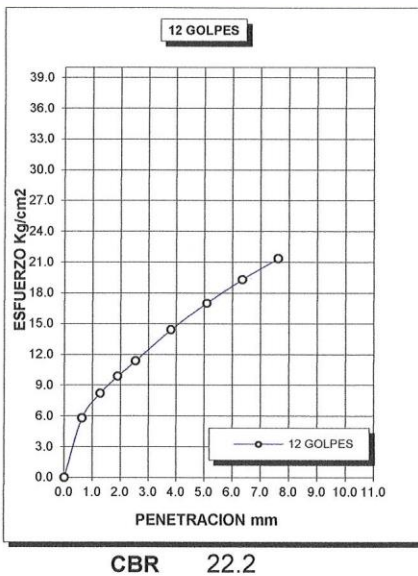
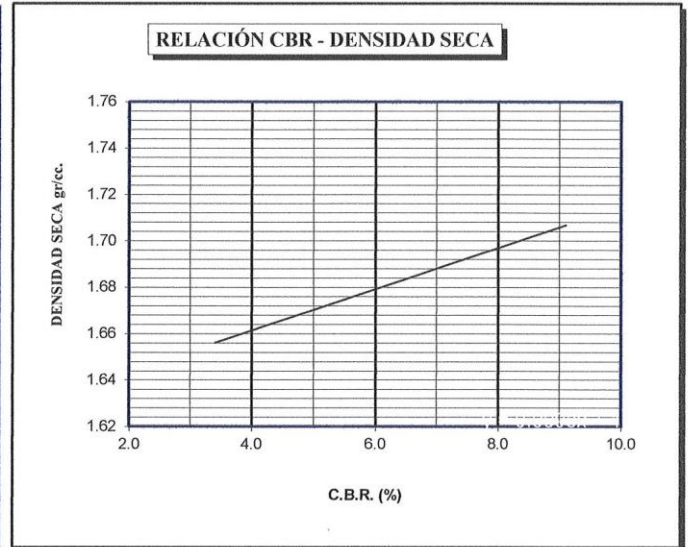
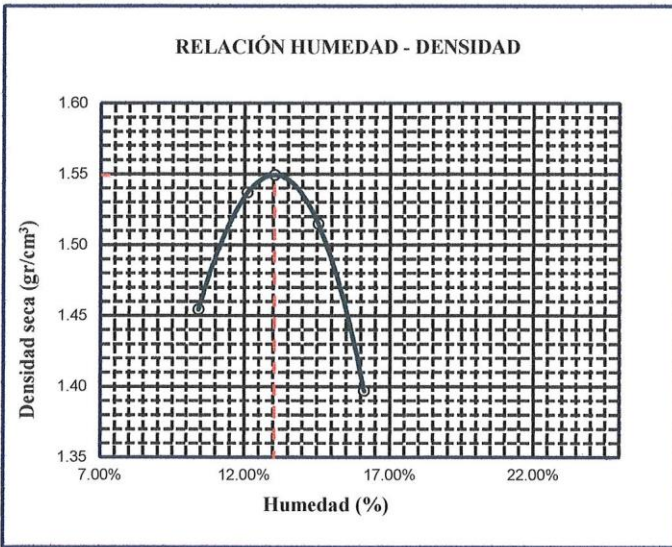
Mg. ARNALDO J. TORRES  
CIP 100267

B. N° 006-00305472



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>TESIS</b>	: INFLUENCIA DE LA APLICACION DE LA CENIZA DE MADERA EN EL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE SUELOS ARCILLOSOS EN LAS VÍAS DE LA URBANIZACIÓN VILLA MEDICA DE LA CIUDAD DE JULIACA PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LA	<b>METODO DE COMPACTACIÓN ASTM D1557-91</b>
<b>SOLICITANTE</b>	: : Bach. DENIES RUSSELI HUANACUNI LLANQUE	<b>MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm3.)</b> 1.539
<b>MUESTRA</b>	: CON 18% DE CENIZA DE MADERA	<b>HUMEDAD OPTIMA (%)</b> 13.62%
		<b>CBR AL 100 DE M.D.S. (%)</b> 38.42
		<b>CBR AL 95% DE M.D.S. (%)</b> 16.12
<b>LUGAR</b>	: DISTRITO DE JULIACA	<b>CLASIFICACIÓN</b> : ML
<b>FECHA</b>	: : 12 DE SETIEMBRE DEL 2024	<b>AASHTO</b> : A-4 (4)
		<b>EMBEBIDO</b> : 4 DIAS



UANCV FICP  
CAP INGENIERIA CIVIL

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS

B. N° 006-00305472



ANEXO 1  
FORMULARIO DE AUTORIZACIÓN

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

Formato digital

Fecha de entrega: 31/12/2024

1. Datos del autor (es):

Nombres y Apellidos: DENIES RUSSELI HUANACUNI LLANQUE

Dirección: Av. Copacabana 230

DNI/Carné de Extranjería/Pasaporte N°: 48441101

Teléfono: 931241384 email: huanacunirusse@gmail.com

Nombres y Apellidos: \_\_\_\_\_

Dirección: \_\_\_\_\_

DNI/Carné de Extranjería/Pasaporte N°: \_\_\_\_\_

Teléfono: \_\_\_\_\_ email: \_\_\_\_\_

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

Escuela Profesional o Mención: INGENIERIA CIVIL

Título o Grado Académico a optar: INGENIERO CIVIL

Asesor: Dr. ARNALDO YANA TORRES

Esta obra se encuentra dentro de las siguientes denominaciones:

Trabajo de Investigación  Tesis  Trabajo de Suficiencia Profesional  Trabajo Académico

Título: INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DE LA CENIZA DE MADERA EN EL COMPORTAMIENTO

MECÁNICO DE SUELOS ARCILLOSOS EN LAS VÍAS DE LA URBANIZACIÓN VILLA MEDICA DE

LA CIUDAD DE JULIACA PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LA SUBRASANTE

Palabras claves, (3 a 5 términos): CENIZA DE MADERA, ESTABILIZACION DE SUELOS, SUELOS ARCILLOSOS, SUBRASANTE

¿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, entré 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  
  Título  
  2da Especialidad  
  Maestría  
  Doctorado

3. Licencias:

a) Licencia estándar:

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

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

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

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

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

**Autorizo su publicación (marque con una X)**

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

b) Licencia CREATIVE COMMONS 4.0 INTERNACIONAL:

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

**¿Quiere permitir usos comerciales de su producción intelectual?**

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

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

- Sí autorizo
- No autorizo



**Jurisdicción de su Licencia**

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

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

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

Internacional

Nacional

Línea de investigación: TECNOLOGIA DE MATERIALES - P17

Firma de Autor



huella digital

31 DE DICIEMBRE DEL 2024

Fecha