



**UNIVERSIDAD ANDINA**

**NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ**

**FACULARAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES DE LA CAPA  
DE SUBRASANTE CON INCLUSIÓN DE PORCENTAJES  
VARIABLES DE CENIZA DE TALLO DE BANANO Y FIBRAS DE  
BAMBÚ EN LA CARRETERA ARAPA – AZÁNGARO 2024**

**TESIS PRESENTADA POR:**

**Bach. FRANCO ROSYNALDO HUANCA TACA**

**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**

**ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES DE LA CAPA DE SUBRASANTE CON INCLUSIÓN DE PORCENTAJES VARIABLES DE CENIZA DE TALLO DE BANANO Y FIBRAS DE BAMBÚ EN LA CARRETERA ARAPA – AZÁNGARO 2024**

TESIS PRESENTADA POR:

**Bach. FRANCO ROSYNALDO HUANCA TACA**

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

APROBADA POR EL JURADO REVISOR:

**PRESIDENTE**

:

  
\_\_\_\_\_  
Dr. LEONEL SUASACA PELINCO

**PRIMER MIEMBRO**

:

  
\_\_\_\_\_  
Dr. EFRAÍN PARILLO SOSA


**SEGUNDO MIEMBRO**

:

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

**ASESOR DE TESIS**

:

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

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN**

:

TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN – P17



**UNIVERSIDAD ANDINA**  
**"NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"**

**RESOLUCIÓN DECANAL N° 946-2024-D-UI-FICP-UANCV**

Juliaca, 06 de setiembre del 2024

**VISTO:** El expediente N° 2024- 12157 presentado por el (la) Bachiller: FRANCO ROSYNALDO HUANCA TACA 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. FRANCO ROSYNALDO HUANCA TACA, quien solicita **NOMINACIÓN DE JURADOS Y PROGRAMACIÓN DE FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN** de la Tesis Titulado: **ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES DE LA CAPA DE SUBRASANTE CON INCLUSIÓN DE PORCENTAJES VARIABLES DE CENIZA DE TALLO DE BANANO Y FIBRAS DE BAMBÚ EN LA CARRETERA ARAPA - AZÁNGARO 2024**, la misma que pertenece a la línea de investigación **TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN** para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil.

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

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

**RESUELVE:**

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

- \* **Presidente** : Dr. LEONEL SUASACA PELINCO
- \* **1er Miembro** : Dr. EFRAIN PARILLO SOSA
- \* **2do Miembro** : Dr. ARNALDO YANA TORRES

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

**ARTICULO TERCERO. - APROBAR**, la **FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS** de el (la) bachiller: FRANCO ROSYNALDO HUANCA TACA; del informe final de la investigación (tesis) titulado: **ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES DE LA CAPA DE SUBRASANTE CON INCLUSIÓN DE PORCENTAJES VARIABLES DE CENIZA DE TALLO DE BANANO Y FIBRAS DE BAMBÚ EN LA CARRETERA ARAPA - AZÁNGARO 2024**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil. de acuerdo al siguiente detalle:

- \* **FECHA** : Jueves 12 de setiembre del 2024
- \* **HORA** : 8:00 a.m.
- \* **LUGAR** : Aula 306 - FICP

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

Regístrese, Comuníquese, Archívese.



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

Dr. MILTHON QUISPE HUANCA  
DECANO  
CIP. 47790

cc.  
Archivo  
Interesado (a)



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS  
Dr. Efrain Parillo Sosa  
DIRECTOR  
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN



**RESOLUCIÓN DECANAL N° 708-2024-D-UI-FICP-UANCV**

Juliaca, 31 de julio del 2024

**VISTO:** El expediente N° 2024-CU - 08734 por el señor (a): FRANCO ROSYNALDO HUANCA TACA quien solicita **REVISIÓN DEL INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (borrador de tesis)**, el PROVEIDO - N° 725 - 2024-UI-FICP-UANCV/J, y la FICHA DE OPINIÓN DEL INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (BORRADOR DE TESIS) formato N° 136 - 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): FRANCO ROSYNALDO HUANCA TACA, ha presentado su informe final de la investigación (borrador de tesis) Titulado: **ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES DE LA CAPA DE SUBRASANTE CON INCLUSIÓN DE PORCENTAJES VARIABLES DE CENIZA DE TALLO DE BANANO Y FIBRAS DE BAMBÚ EN LA CARRETERA ARAPA - AZÁNGARO 2024**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil.

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales; el integrante del comité de investigación Mgtr. Arnaldo Yana Torres de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, emitió la ficha de opinión del informe final de la investigación (borrador de tesis) formato N° 136 - 2024 **aprobando** el informe final de la investigación (borrador de tesis) titulado: **ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES DE LA CAPA DE SUBRASANTE CON INCLUSIÓN DE PORCENTAJES VARIABLES DE CENIZA DE TALLO DE BANANO Y FIBRAS DE BAMBÚ EN LA CARRETERA ARAPA - AZÁNGARO 2024**, Correspondiente a la línea de investigación **TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN**.

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

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

**RESUELVE:**

**ARTÍCULO PRIMERO.- APROBAR**, el **INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (BORRADOR DE TESIS)**, para la **REVISIÓN DE SIMILITUD TURNITIN**, presentado por el señor (a): FRANCO ROSYNALDO HUANCA TACA, para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil, con el Tema Titulado: **ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES DE LA CAPA DE SUBRASANTE CON INCLUSIÓN DE PORCENTAJES VARIABLES DE CENIZA DE TALLO DE BANANO Y FIBRAS DE BAMBÚ EN LA CARRETERA ARAPA - AZÁNGARO 2024** correspondiente a la línea de investigación **TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN**, en virtud a los considerandos expuestos.

**ARTÍCULO SEGUNDO.- RATIFICAR** como **ASESOR DE INVESTIGACIÓN** al (a) la), Dr. MILTHON QUISPE HUANCA.

**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 QUISPE HUANCA  
DECANO  
CIP. 47790

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

cc.  
Archivo  
interesado (0)



**UNIVERSIDAD ANDINA**  
**"NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"**

**RESOLUCIÓN DECANAL N° 421-2024-D-UI-FICP-UANCV**

Juliaca, 10 de junio del 2024

**VISTO:** El expediente N° 2024-CU- 6464, presentado el o (la) Bachiller FRANCO ROSYNALDO HUANCA TACA solicitando APROBACIÓN DE LA PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN el PROVEIDO - N° 446 -2024-UI-FICP-UANCV/J, y la FICHA DE OPINIÓN DE LA PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN formato N° 142-2024 del integrante del comité de investigación EPIC de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, según al reglamento interno de trabajos de investigación conducente a grados y títulos.

**CONSIDERANDO:**

Que, el o (la) Bachiller: FRANCO ROSYNALDO HUANCA TACA ha presentado su propuesta de investigación Titulado: ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES DE LA CAPA DE SUBRASANTE CON INCLUSIÓN DE PORCENTAJES VARIABLES DE CENIZA DE TALLO DE BANANO Y FIBRAS DE BAMBÚ EN LA CARRETERA ARAPA - AZÁNGARO 2024, para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil.

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales; el integrante del comité de investigación Mgtr. Arnaldo Yana Torres de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, emitió la ficha de opinión de la propuesta de investigación formato N° 142-2024- aprobando la propuesta de investigación titulado: ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES DE LA CAPA DE SUBRASANTE CON INCLUSIÓN DE PORCENTAJES VARIABLES DE CENIZA DE TALLO DE BANANO Y FIBRAS DE BAMBÚ EN LA CARRETERA ARAPA - AZÁNGARO 2024.

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

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

**RESUELVE:**

**ARTÍCULO PRIMERO.- APROBAR**, la PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN, presentado por el o (la) Bachiller: FRANCO ROSYNALDO HUANCA TACA, para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil, con el Tema Titulado: ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES DE LA CAPA DE SUBRASANTE CON INCLUSIÓN DE PORCENTAJES VARIABLES DE CENIZA DE TALLO DE BANANO Y FIBRAS DE BAMBÚ EN LA CARRETERA ARAPA - AZÁNGARO 2024 correspondiente a la línea de investigación TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN.

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

**ARTÍCULO SEGUNDO.- RECONOCER** como **ASESOR DE INVESTIGACIÓN** de al (a la) docente Dr. MILTHON QUISPE HUANCA.

**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  
DECANO  
DR. MILTHON QUISPE HUANCA  
CIP. 47790

  
UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN  
DIRECTOR  
DR. ELIENOR PÉREZ SOZA  
CIP. 47790  
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

cc.  
Archivo 2024  
Interesado (s)



## ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES DE LA CAPA DE SUBRASANTE CON INCLUSIÓN DE PORCENTAJES VARIABLES DE CENIZA DE TALLO DE BANANO Y FIBRAS DE BAMBÚ EN LA CARRETERA ARAPA – AZÁNGARO 2024

### INFORME DE ORIGINALIDAD

17%

INDICE DE SIMILITUD

15%

FUENTES DE INTERNET

2%

PUBLICACIONES

9%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

### FUENTES PRIMARIAS

|   |  |     |
|---|--|-----|
| 1 | Submitted to Universidad Andina Nestor Caceres Velasquez<br>Trabajo del estudiante           | 6%  |
| 2 | <a href="http://hdl.handle.net">hdl.handle.net</a><br>Fuente de Internet                     | 3%  |
| 3 | <a href="http://repositorio.uancv.edu.pe">repositorio.uancv.edu.pe</a><br>Fuente de Internet | 2%  |
| 4 | <a href="http://repositorio.ucv.edu.pe">repositorio.ucv.edu.pe</a><br>Fuente de Internet     | 1%  |
| 5 | <a href="http://repositorio.upn.edu.pe">repositorio.upn.edu.pe</a><br>Fuente de Internet     | 1%  |
| 6 | <a href="http://repositorio.unsch.edu.pe">repositorio.unsch.edu.pe</a><br>Fuente de Internet | <1% |
| 7 | Submitted to Universidad Cesar Vallejo<br>Trabajo del estudiante                             | <1% |


Submitted to unhuancavelica



### Metadatos Complementarios

| Título de la tesis   |   |
|--|---|
| <b>ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES DE LA CAPA DE SUBRASANTE CON INCLUSIÓN DE PORCENTAJES VARIABLES DE CENIZA DE TALLO DE BANANO Y FIBRAS DE BAMBÚ EN LA CARRETERA ARAPA - AZÁNGARO 2024</b> |   |
| <b>Datos de autor</b>  |   |
| Nombres y apellidos  | Franco Rosynaldo Huanca Taca  |
| Tipo de documento de identidad   | DNI   |
| Número de documento de identidad   | 74690705  |
| URL de ORCID   | <a href="https://orcid.org/0000-0002-0539-8316">https://orcid.org/0000-0002-0539-8316</a> |
| <b>Datos de asesor</b>   |   |
| Nombres y apellidos  | Milthon Quispe Huanca   |
| Tipo de documento de identidad   | DNI   |
| Número de documento de identidad   | 02424528  |
| URL de ORCID   | <a href="https://orcid.org/0000-0002-4219-1007">https://orcid.org/0000-0002-4219-1007</a> |
| <b>Datos del jurado</b>  |   |
| <b>Presidente del jurado</b>   |   |
| Nombres y apellidos  | Leonel Suasaca Pelinco  |
| Tipo de documento  | DNI   |
| Número de documento de identidad   | 40865558  |
| <b>Miembro del jurado 1</b>  |   |
| Nombres y apellidos  | Efrain Parillo Sosa   |
| Tipo de documento  | DNI   |
| Número de documento de identidad   | 02416058  |
| <b>Miembro del jurado 2</b>  |   |
| Nombres y apellidos  | Arnaldo Yana Torres   |
| Tipo de documento  | DNI   |



|  |   |
|--|---|
| Número de documento de identidad   | 41414676  |
| <b>Datos de investigación</b>  |   |
| Línea de investigación   | Tecnología de la Construcción - P17   |
| Grupo de investigación   | No aplica.  |
| Agencia de financiamiento  | Sin financiamiento  |
| Ubicación geográfica de la investigación   | <p>País: Perú<br/>Departamento: Puno<br/>Provincia: Azángaro<br/>Distrito: Arapa<br/>Latitud: S 15° 08' 30"<br/>Longitud: O 70° 07' 03"</p>  <p><a href="https://maps.app.goo.gl/qUFdRYsjbJv3C7v8">https://maps.app.goo.gl/qUFdRYsjbJv3C7v8</a></p>  |
| Año o rango de años en que se realizó la investigación   | Junio 2024 - Setiembre 2024   |
| URL de disciplinas OCDE<br><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><br>- Librería | <b>Ingeniería civil</b><br><a href="https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.01">https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.01</a><br><b>Ingeniería de la construcción</b><br><a href="https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.03">https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.03</a><br><b>Ingeniería estructural y municipal</b><br><a href="https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.04">https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.04</a> |

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS  
DIRECTOR  
Dr. Efraín Pareda Josa  
DIRECTOR  
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN



### DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD Y RESPONSABILIDAD

Yo FRANCO ROSYNALDO HUANCA TACA, identificado con DNI

Nro. 74690705, en mi condición de egresado de:

**Escuela Profesional**

**Programa de Segunda Especialidad,**

**Programa de Maestría o Doctorado**

INGENIERÍA CIVIL

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

ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES DE LA CAPA DE SUBRASANTE CON  
INCLUSIÓN DE PORCENTAJES VARIABLES DE CENIZA DE TALLO DE BANANO  
Y FIBRAS DE BAMBÚ EN LA CARRETERA ARAPA - AZÁNGARO 2024

Asesorado por: Dr. MILTHON QUISPE HUANCA

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 24 de setiembre del 2024

Firma del Asesor  
(obligatoria)

Firma del Estudiante  
(obligatoria)



Huella



## DEDICATORIA

*A mis padres que estuvieron en los momentos  
más difíciles de mi vida.*



## AGRADECIMIENTO

*Primeramente, agradecer a todos mis familiares, por ayudarme a continuar con mis metas y sueños.*



# ÍNDICE GENERAL

|                               |             |
|-------------------------------|-------------|
|                               | Pág.        |
| <b>DEDICATORIA.....</b>       | <b>I</b>    |
| <b>AGRADECIMIENTO.....</b>    | <b>II</b>   |
| <b>ÍNDICE GENERAL .....</b>   | <b>III</b>  |
| <b>ÍNDICE DE TABLAS .....</b> | <b>VII</b>  |
| <b>ÍNDICE DE FIGURAS.....</b> | <b>VIII</b> |
| <b>RESUMEN.....</b>           | <b>X</b>    |
| <b>ABSTRACT .....</b>         | <b>XI</b>   |
| <b>INTRODUCCIÓN.....</b>      | <b>XII</b>  |

## CAPÍTULO I

### EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

|       |  |   |
|-------|--|---|
| 1.1   | Análisis de la situación problemática..... | 1 |
| 1.2   | Planteamiento del problema.....            | 2 |
| 1.2.1 | Problema general.....                      | 2 |
| 1.2.2 | Problemas específicos .....                | 2 |
| 1.3   | Objetivos de la investigación .....        | 3 |
| 1.3.1 | Objetivo general .....                     | 3 |
| 1.3.2 | Objetivos específicos .....                | 3 |
| 1.4   | Justificación de la investigación .....    | 3 |
| 1.4.1 | Justificación técnica .....                | 3 |
| 1.4.2 | Justificación económica .....              | 4 |
| 1.4.3 | Justificación social .....                 | 4 |
| 1.4.4 | Justificación ambiental .....              | 4 |
| 1.5   | Hipótesis de la investigación .....        | 5 |
| 1.5.1 | Hipótesis general .....                    | 5 |
| 1.5.2 | Hipótesis específicas. ....                | 5 |
| 1.6   | Variables e indicadores. ....              | 5 |
| 1.6.1 | Variable independiente .....               | 5 |
| 1.6.2 | Variable dependiente .....                 | 6 |
| 1.7   | Configuración de indicadores medibles..... | 6 |



## CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO

|         |   |    |
|---------|---|----|
| 2.1     | Antecedentes de la investigación .....                            | 7  |
| 2.1.1   | Antecedentes internacionales .....                                | 7  |
| 2.1.2   | Antecedente nacional .....  | 8  |
| 2.1.3   | Antecedente de ámbito local.....                                  | 11 |
| 2.2     | Bases teóricas .....  | 12 |
| 2.2.1   | Estabilización de suelos.....                                     | 12 |
| 2.2.1.1 | <i>Definición y Objetivos de la Estabilización de Suelos.....</i> | 15 |
| 2.2.1.2 | <i>Métodos Tradicionales de Estabilización.....</i>               | 17 |
| 2.2.1.3 | <i>Métodos Alternativos y Sostenibles de Estabilización.....</i>  | 23 |
| 2.2.2   | Materiales Utilizados en la Estabilización de Suelos .....        | 29 |
| 2.2.2.1 | <i>Ceniza de Tallo de Banano.....</i>                             | 31 |
| 2.2.2.2 | <i>Fibras de Bambú.....</i>                                       | 38 |
| 2.2.3   | Propiedades Mecánicas de la Subrasante .....                      | 43 |
| 2.2.3.1 | <i>Resistencia a la Compresión .....</i>                          | 44 |
| 2.2.3.2 | <i>Resistencia a la Tracción.....</i>                             | 44 |
| 2.2.3.3 | <i>Estabilidad y Durabilidad .....</i>                            | 44 |
| 2.2.3.4 | <i>Permeabilidad y Control de la Erosión.....</i>                 | 45 |
| 2.3     | Marco conceptual.....   | 46 |
| 2.3.1.  | Contenido de humedad.....   | 46 |
| 2.3.2.  | CBR .....   | 47 |
| 2.3.3.  | Ceniza .....  | 47 |
| 2.3.4.  | Estabilización .....  | 47 |
| 2.3.5.  | Granulometría .....   | 48 |
| 2.3.6.  | Límites de consistencia .....                                     | 48 |
| 2.3.7.  | Tallo de banano.....  | 48 |
| 2.3.8.  | Fibras de bambú .....   | 48 |
| 2.3.9.  | Proctor modificado .....  | 49 |



CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

- 3.1 Diseño de la investigación..... 50
- 3.2 Método de la investigación..... 51
- 3.3 Nivel y tipo de la investigación ..... 51
  - 3.3.1 Nivel de la investigación.....51
  - 3.3.2 Tipo de la investigación.....52
- 3.4 Población y muestra de la investigación..... 52
  - 3.4.1 Población .....52
  - 3.4.2 Muestra .....53
- 3.5 Técnicas e instrumentos ..... 54
  - 3.5.1 Técnicas.....54
  - 3.5.2 Instrumentos de recolección de datos investigación.....55
- 3.6 Validación y confiabilidad del instrumento ..... 55
  - 3.6.1 Validación de los instrumentos .....55
  - 3.6.2 Confiabilidad de instrumentos.....56
- 3.7. Procedimientos de Recolección de Datos ..... 57**
  - 3.7.1. Selección de Calicatas ..... 57**
  - 3.7.2. Toma de muestras..... 61**
  - 3.7.3. Ensayos de Laboratorio ..... 61**
- 3.8. Procesamiento y Análisis de la Información..... 68**

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

- 4.1 Resultados alcanzados a través de los estudios ..... 69
  - 4.1.1 Propiedades del suelo encontrado en la vía Arapa – Azángaro.....69
  - 4.1.2 Influencia de la ceniza de tallo de banano y fibras de bambú fundido (3%,5% y 7%) en el índice de plasticidad.....82
  - 4.1.3 Influencia de la ceniza de tallo de banano y fibras de bambú en el grado de compactación.....87
  - 4.1.4 Influencia de cenizas de tallo de banano + fibras de bambú en la capacidad de soporte (CBR) .....97
- 4.2 Discusión de resultados ..... 103



|                      |     |
|----------------------|-----|
| CONCLUSIONES .....   | 105 |
| RECOMENDACIONES..... | 107 |
| REFERENCIAS .....    | 108 |
| ANEXOS.....          | 113 |



### ÍNDICE DE TABLAS

**Tabla 1** Configuración de indicadores medibles .....6

**Tabla 2** Cantidad de muestras resistencia a la compresión .....54

**Tabla 3** Datos estructurales de las calicatas .....58

**Tabla 4** Detalles de puntos de exploración.....58

**Tabla 5** Distribución de humedad en el terreno .....70

**Tabla 6** Caracterización plástica de muestras naturales .....72

**Tabla 7** Evaluación técnica de compactación en subrasante de .....74

**Tabla 8** Evaluación de la capacidad portante mediante CBR en calicatas .....78

**Tabla 9** Adición del 3% de CTB + FB medición del índice plástico en la subrasante.....82

**Tabla 10** Adición del 5% de ceniza + fibras de bambú – Índice plástico.....83

**Tabla 11** Adición del 7% de ceniza + fibras de bambú – Índice plástico.....85

**Tabla 12** Relación comparativa de plasticidad entre muestras .....86

**Tabla 13** Aplicación del 3% de cenizas para optimización del suelo de tallo de banano + fibras de bambú - MDS.....87

**Tabla 14** Aplicación del 5% de cenizas para optimización del suelo +fibras de bambú - MDS.....89

**Tabla 15** Aplicación del 7% de cenizas para optimización del suelo con fibras de bambú - MDS.....90

**Tabla 16** Comparativa de MDS .....91

**Tabla 17** Aplicación del 3% de cenizas para optimización del suelo +fibras de bambú -OCH.....93

**Tabla 18** Aplicación del 5% de cenizas para optimización del suelo +fibras de bambú - OCH.....94

**Tabla 19** Aplicación del 7% de cenizas para optimización del suelo +fibras de bambú - OCH.....96

**Tabla 20** CBR- adicionando el 3 % de cenizas +fibras de bambú.....97

**Tabla 21** CBR- adicionando el 5 % de cenizas +fibras de bambú.....99

**Tabla 22** CBR- adicionando el 7 % de cenizas +fibras de bambú.....100

**Tabla 23** Evaluación resumen del CBR tras la aplicación de cenizas +fibras de bambú .....101



### ÍNDICE DE FIGURAS

**Figura 1** *Mapa ubicación del distrito de Azángaro* .....53

Figura 2 *Marcación de los puntos de exploración*.....57

Figura 3 *Punto de emplazamiento de la calicata 01* .....59

Figura 4 *Punto de emplazamiento de la calicata 02* .....60

Figura 5 *Punto de emplazamiento de la calicata 03* .....60

Figura 6 *Monitoreo del nivel de humedad en las calicatas* .....70

Figura 7 *Evaluación de tamaños de partículas en calicata 1* .....71

Figura 8 *Evaluación de tamaños de partículas en calicata 2* .....72

Figura 9 *Evaluación de tamaños de partículas en calicata 3*.....72

Figura 10 *Determinación del índice plástico de muestras nativas* .....73

Figura 11 *Evaluación técnica de compactación en subrasante de C-1* .....75

Figura 12 *Evaluación técnica de compactación en subrasante de C-2* .....76

Figura 13 *Evaluación técnica de compactación en subrasante de C-3* .....77

Figura 14 *Informe de comparación de compactación en la subrasante* .....78

Figura 15 *Informe técnico de CBR en calicata 1*.....79

Figura 16 *Informe técnico de CBR en calicata 2*.....80

Figura 17 *Informe técnico de CBR en calicata 3*.....80

Figura 18 *Compendio de valores CBR en calicatas* .....81

Figura 19 *Incorporación del 3% de cenizas + fibras de bambú – Índice plástico* .....83

Figura 20 *Adición del 5% de ceniza + fibras de bambú – Índice plástico* .....84

Figura 21 *Adición del 7% de ceniza + fibras de bambú – Índice plástico* .....85

Figura 22 *Resumen sintetizada del índice de plasticidad* .....87

Figura 23 *Adición del 3% de ceniza + fibras de bambú*.....88

Figura 24 *Aplicación del 5% de cenizas para optimización del suelo +fibras de bambú - MDS*.....89

Figura 25 *Aplicación del 7% de cenizas para optimización del suelo +fibras de bambú - MDS*.....91

Figura 26 *Comparativa de MDS*.....92

Figura 27 *Aplicación del 3% de cenizas para optimización del suelo +fibras de bambú - OCH*.....93

Figura 28 *Aplicación del 5% de cenizas para optimización del suelo +fibras de bambú - OCH*.....95

Figura 29 *Aplicación del 7% de cenizas para optimización del suelo +fibras de bambú - OCH*.....96



|           |   |     |
|-----------|---|-----|
| Figura 30 | <i>CBR- adicionando el 3 % de cenizas +fibras de bambú.....</i> | 98  |
| Figura 31 | <i>CBR- adicionando el 5% de cenizas +fibras de bambú.....</i>  | 99  |
| Figura 32 | <i>CBR- adicionando el 7% de cenizas +fibras de bambú.....</i>  | 101 |
| Figura 33 | <i>Comparación de la capacidad portante según CBR.....</i>      | 102 |



## RESUMEN

Esta investigación, titulada "Estudio comparativo de las propiedades de la capa de subrasante con la inclusión de ceniza de tallo de banano y fibras de bambú en porcentajes variables en la carretera Arapa – Azángaro 2024", busca generar conocimiento relevante. El estudio utiliza una metodología aplicada, con enfoque cuantitativo, nivel descriptivo y explicativo, diseño experimental y basado en el método científico. Debido a la presencia de arcillas como suelo predominante en la zona, el índice de plasticidad es elevado, alcanzando el 21.26%. El contenido de humedad óptimo es de 8.157%, con una densidad seca máxima de 1.782 gr/cm<sup>3</sup>. Se calcularon valores de CBR de 5.63% y 5.31% al 100% y 95% de la densidad seca máxima (MDS), los cuales no cumplen con las exigencias de la DG-2018, demostrando una capacidad portante insuficiente. La adición de ceniza de tallo de banano y fibras de bambú en proporciones del 3%, 5% y 7% mostró efectos positivos en la reducción del índice de plasticidad. Con 3% de adición, el índice disminuyó de 19.39% a 19.06%. Con 5%, el índice bajó a 15.80%, y con 7% se alcanzó 11.21%. Asimismo, la adición de estos materiales también mejoró el grado de compactación. La densidad máxima aumentó de 1.78 gr/cm<sup>3</sup> a 1.96 gr/cm<sup>3</sup> con el 3%, llegando a 2.128 gr/cm<sup>3</sup> con 5%, y alcanzando 2.133 gr/cm<sup>3</sup> con 7% de adición.

**Palabras Clave:** Ceniza, Banano, Fibras, CBR.



### ABSTRACT

This research, titled "Comparative Study of Subgrade Properties with the Inclusion of Banana Stem Ash and Bamboo Fibers at Variable Percentages on the Arapa – Azángaro Road 2024," aims to generate relevant knowledge. The study uses an applied methodology with a quantitative approach, descriptive and explanatory level, experimental design, and is based on the scientific method. Due to the presence of clay as the predominant soil in the area, the plasticity index is high, reaching 21.26%. The optimal moisture content is 8.157%, with a maximum dry density of 1.782 gr/cm<sup>3</sup>. CBR values of 5.63% and 5.31% were calculated at 100% and 95% of the maximum dry density (MDS), which do not meet the requirements of DG-2018, demonstrating insufficient load-bearing capacity.

The addition of banana stem ash and bamboo fibers in proportions of 3%, 5%, and 7% showed positive effects in reducing the plasticity index. With a 3% addition, the index dropped from 19.39% to 19.06%. With 5%, it fell to 15.80%, and with 7%, it reached 11.21%. Additionally, the inclusion of these materials also improved the degree of compaction. The maximum density increased from 1.78 gr/cm<sup>3</sup> to 1.96 gr/cm<sup>3</sup> with 3%, reaching 2.128 gr/cm<sup>3</sup> with 5%, and hitting 2.133 gr/cm<sup>3</sup> with 7% addition.

**Keywords:** Ash, Banana, Fibers, CBR.



## INTRODUCCIÓN

En la actualidad, las empresas constructoras en todo el mundo están en una búsqueda constante de mejorar y optimizar la ejecución de sus proyectos. El objetivo principal es maximizar los recursos disponibles, evitando afectar la productividad o la calidad constructiva, y cumpliendo con los plazos de entrega establecidos sin incrementar los costos asociados a los procesos. Este nivel de excelencia es alcanzable mediante una organización eficaz y la implementación de metodologías apropiadas.

Para respaldar nuestra investigación, hemos revisado diversas fuentes bibliográficas, incluyendo tesis, artículos científicos, libros, revistas especializadas en estabilización de subrasantes, así como diferentes metodologías de mejora de suelos.

En el **primer capítulo**, se exploran los aspectos fundamentales de la investigación. Aquí se formula el problema central, se establecen los objetivos y las hipótesis, y se justifican los motivos que impulsan el estudio.

**En el segundo capítulo**, se desarrolla un marco teórico amplio, sustentado en investigaciones previas que enriquecen la comprensión del tema. Este capítulo profundiza en las referencias y estudios anteriores que aportan solidez a la investigación.

**En el tercer capítulo**, se lleva a cabo un análisis de los experimentos realizados para cumplir con los objetivos planteados. Se examina el impacto de los experimentos sobre las variables de estudio, siguiendo el protocolo acordado.

**En el cuarto capítulo**, se analizan los resultados obtenidos, comparándolos con las expectativas iniciales. Se lleva a cabo un análisis detallado de los datos, respaldado



por pruebas de laboratorio. Finalmente, se presentan las recomendaciones y conclusiones, basadas en los hallazgos del estudio y en el análisis de los resultados.



## CAPÍTULO I

### EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

#### 1.1 Análisis de la situación problemática

Alcanzar la sostenibilidad ambiental requiere la adopción de medidas que garanticen la conservación duradera del ecosistema natural. A nivel mundial, el manejo de basura industrial, como escorias metálicas, y basura doméstica, como bolsas de plástico, se está volviendo cada vez más complejo. El imperativo de establecer enfoques sostenibles para el reciclaje de estos materiales se ha intensificado como resultado de sus efectos perjudiciales sobre la contaminación ambiental y el agotamiento insostenible de los recursos naturales. (Olukanni & Ijeh, 2021)

Perú ha implementado una serie de normas y regulaciones para supervisar la gestión de residuos sólidos. Estos pasos están formulados para fomentar la adopción de prácticas de reutilización y reciclaje, con el objetivo de mitigar los efectos perjudiciales sobre el medio ambiente. Sin embargo, la dificultad está en ejecutar eficientemente estas reglas en todos los niveles de gobierno y en las operaciones industriales. La investigación sobre el aprovechamiento de escorias metálicas y plásticos recuperados en la construcción de carreteras se encuentra en sus primeras etapas en el Perú. Esto presenta una oportunidad importante para mejorar la base de conocimientos existente y promover el uso de prácticas de ingeniería sostenibles. (Castillo Cortez & Manrique Anticona, 2023)



La provincia de Azángaro, situada en la región de Puno, presenta características climáticas y geográficas únicas que afectan las propiedades de los suelos de subrasante en la construcción de carreteras. En particular, la carretera Arapa-Azángaro se ve influenciada por estas condiciones específicas, lo que hace necesario emplear metodologías de construcción adecuadas. La incorporación de materiales reciclados en la carretera puede tener un impacto significativo en las propiedades del suelo de subrasante, dependiendo de la variabilidad de las condiciones del terreno. (Chura Dueñas, 2022)

## 1.2 Planteamiento del problema

### 1.2.1 *Problema general*

¿Cuál es la variación de las propiedades de la capa de subrasante con inclusión de porcentajes variables de ceniza de tallo de banano y fibras de bambú en la carretera Arapa – Azángaro 2024?

### 1.2.2 *Problemas específicos*

1. ¿Cuáles son las propiedades físicas y mecánicas de los materiales que compone el estrato de subrasante de la carretera Arapa – Azángaro 2024?
2. ¿Cuál es la incidencia de la incorporación de ceniza de tallo de banano y fibras de bambú en porcentajes variables sobre el índice de plasticidad del material de subrasante de la carretera Arapa – Azángaro 2024?
3. ¿Cuál es la influencia de la aplicación de ceniza de tallo de banano y fibras de bambú en porcentajes variables sobre el grado de compactación del material de subrasante de la carretera Arapa – Azángaro 2024?
4. ¿Cuál es el efecto de la adición de ceniza de tallo de banano y fibras de bambú en porcentajes variables sobre el CBR del material de subrasante de la carretera Arapa – Azángaro 2024?



### **1.3 Objetivos de la investigación**

#### **1.3.1 Objetivo general**

Evaluar la variación de las propiedades de la capa de subrasante con inclusión de porcentajes variables de ceniza de tallo de banano y fibras de bambú en la carretera Arapa – Azángaro 2024.

#### **1.3.2 Objetivos específicos**

1. Determinar las propiedades físicas y mecánicas de los materiales que compone el estrato de subrasante de la carretera Arapa – Azángaro 2024.
2. Determinar la incidencia de la incorporación de ceniza de tallo de banano y fibras de bambú en porcentajes variables sobre el índice de plasticidad del material de subrasante de la carretera Arapa – Azángaro 2024.
3. Determinar la influencia de la aplicación de ceniza de tallo de banano y fibras de bambú en porcentajes variables sobre el grado de compactación del material de subrasante de la carretera Arapa – Azángaro 2024.
4. Determinar el efecto de la adición de ceniza de tallo de banano y fibras de bambú en porcentajes variables sobre el CBR del material de subrasante de la carretera Arapa – Azángaro 2024.

### **1.4 Justificación de la investigación**

#### **1.4.1 Justificación técnica**

La ceniza obtenida de los tallos del plátano contiene una cantidad sustancial de sílice y otros compuestos químicos que pueden servir como agentes cementantes. Estos compuestos mejoran la capacidad del suelo para unirse y soportar la presión. Esto puede dar como resultado una base más sólida y resistente, capaz de soportar mayores volúmenes de tráfico. Las hebras de bambú poseen una notable resistencia a la tracción y



flexibilidad, lo que las hace ideales para usar como materiales de refuerzo que distribuyen eficientemente las tensiones y reducen el riesgo de grietas y deformaciones.

### **1.4.2 Justificación económica**

El uso de recursos disponibles localmente, como fibras de bambú y cenizas de tallo de plátano, puede impulsar la economía local y proporcionar empleos y oportunidades comerciales para los cultivadores y productores de bambú. El uso de los recursos existentes reduce los costos del proyecto y promueve el crecimiento económico sostenible en el área, creando un ciclo interminable de beneficios.

### **1.4.3 Justificación social**

Una infraestructura vial mejorada y duradera reduce el tiempo de viaje y mejora la seguridad vial, mejorando así rápidamente la calidad de vida de los habitantes. Las comunidades pueden mejorar su acceso a servicios esenciales como educación, atención médica y mercados reduciendo la frecuencia y gravedad de los incidentes de tránsito y minimizando el tiempo de viaje. Al emplear recursos locales como la ceniza derivada de los tallos del plátano y las fibras extraídas del bambú, es factible fortalecer la economía local.

### **1.4.4 Justificación ambiental**

Al emplear ceniza de tallo de plátano, un subproducto de las actividades agrícolas que de otro modo se desecharía, es factible reducir los residuos. Al incorporar este material en la subrasante, utilizamos elementos que comúnmente se consideran desechos, reduciendo así la cantidad de basura que debe desecharse en vertederos o quemarse, reduciendo así el daño ambiental. Las fibras de bambú son un recurso natural sostenible y renovable que muestra un rápido crecimiento, lo que confiere beneficios ambientales. El bambú es conocido por su capacidad para regenerarse rápidamente, eliminando la

necesidad de replantar con frecuencia. Esto lo convierte en un sustituto factible y ecológico, a diferencia de los recursos finitos.

## 1.5 Hipótesis de la investigación

### 1.5.1 *Hipótesis general*

La variación de las propiedades de la capa de subrasante con inclusión de porcentajes variables de ceniza de tallo de banano y fibras de bambú en la carretera Arapa – Azángaro 2024, serán favorables, mejorarán las características del material.

### 1.5.2 *Hipótesis específicas.*

1. Las propiedades físicas y mecánicas de los materiales que compone el estrato de subrasante de la carretera Arapa – Azángaro 2024, serán de resistencia y con alta plasticidad.
2. La incidencia de la incorporación de ceniza de tallo de banano y fibras de bambú en porcentajes variables reducirá el índice de plasticidad del material de subrasante de la carretera Arapa – Azángaro 2024.
3. La influencia de la aplicación de ceniza de tallo de banano y fibras de bambú en porcentajes variables aumentará el grado de compactación del material de subrasante de la carretera Arapa – Azángaro 2024.
4. El efecto de la adición de ceniza de tallo de banano y fibras de bambú en porcentajes variables incrementará el CBR del material de subrasante de la carretera Arapa – Azángaro 2024.

## 1.6 Variables e indicadores.

### 1.6.1 *Variable independiente*

Ceniza de tallo de banano y fibras de bambú

**Indicadores:**

- Porcentajes de adición de tallo de banano
- Porcentajes de adición de fibras de bambú

**1.6.2 Variable dependiente**

Propiedades de la capa subrasante

**Indicadores:**

- Índice de plasticidad
- Grado de compactación (MDS y OCH)
- Capacidad de soporte (CBR)

**1.7 Configuración de indicadores medibles**

Tabla 1

*Configuración de indicadores medibles*

| <b>Variable Independiente</b>                      | <b>Definición</b>   | <b>Dimensión</b>  | <b>Indicadores</b>   | <b>Instrumentos de Medición</b>                                |
|--|---|---|--|--|
| <b>CENIZA DE TALLO DE BANANO Y FIBRAS DE BAMBÚ</b> | Ceniza de tallo de banano: Residuo pulverizado de tallos de banano, usado como aditivo en materiales.<br>Fibras de bambú: Material natural extraído de bambú, utilizado para refuerzo en construcción y textiles. | Propiedades de la ceniza de tallo de banano.<br>Propiedades de fibras de bambú. | Dosificación de la ceniza de tallo de banano.<br>Dosificación de las fibras de bambú | Fichas de control de calidad de laboratorio                    |
| <b>Variable Dependiente</b>                        | <b>Definición</b>   | <b>Dimensión</b>  | <b>Indicadores</b>   | <b>Instrumentos de Medición</b>                                |
| <b>PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE</b>                | Se encuentra debajo de la capa de base en una carretera o estructura.   | CBR.<br>Porcentajes de humedad.<br>Plasticidad.                                 | Índice de plasticidad.<br>Densidad de compactación.                                  | Equipos y herramientas brindadas por el laboratorio de suelos. |



## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Antecedentes de la investigación

##### 2.1.1 Antecedentes internacionales

Para, Akinwumi et al., (2023) en su trabajo titulado "Mejoramiento del suelo utilizando mezclas de ceniza de carbón y ceniza de cáscara de plátano como materiales de capa de pavimento de carreteras", La manipulación de residuos y sus consecuencias ecológicas siguen siendo motivo de preocupación. Como resultado, los investigadores están investigando enfoques alternativos para abordar este problema. Este estudio de investigación empleó ceniza de cáscara de plátano y carbón para mejorar la calidad del suelo para la construcción de pavimentos de carreteras. El suelo puede clasificarse como un material arcilloso magro arenoso, caracterizado por su forma, la cual está influenciada por su flexibilidad y composición de grano. Previo al tratamiento con ceniza de carbón (CA) y ceniza de cáscara de plátano (PPA), se realizó una investigación sobre las cualidades geotécnicas del suelo natural. Posteriormente, se analizó el suelo para determinar sus límites de Atterberg, índice de carga de California (CBR) y parámetros de compactación. Además, se realizaron investigaciones para evaluar el grado de cristalinidad y la estructura física del suelo. Las evaluaciones demostraron que la inclusión de CA y PPA resultó en una mejora en las propiedades mecánicas del suelo. Sin embargo, es crucial persistir en la incorporación de estos aditivos hasta alcanzar el máximo nivel de resistencia, como lo

ejemplifica la combinación de un 9% de mezcla de calcio con un 6% de mezcla de policarboxilato. El suelo que ha sido tratado con aluminato de calcio (CA) y ácido polifosfórico (PPA) es apropiado para su utilización en rellenos y terraplenes generales. Los hallazgos indican que la utilización de aluminato de calcio (CA) y ácido polifosfórico (PPA) en combinación puede ser un enfoque eficaz para solidificar el suelo como material para capas de pavimento. Además, esta combinación puede mitigar efectivamente las repercusiones ambientales causadas por la eliminación inadecuada de carbón y cáscaras de plátano.

### **2.1.2 Antecedente nacional**

Para, Ruiz Chavez, (2021), su investigación titulada "Diseño de pavimento rígido agregando fibra de tallo de plátano - AAHH Campo Amor- Zarumilla - Tumbes - 2021" El objetivo de este estudio fue validar empíricamente los resultados que surgen de la incorporación de fibra de tallo de plátano al concreto hidráulico, apuntando a una resistencia objetivo especificada de  $f'c = 280\text{kg/cm}^2$ . El objetivo de este estudio es establecer un conjunto de instructivos para la fabricación de losas de hormigón hidráulico. Se empleó el método de prueba experimental para adquirir los resultados. Se trataba de crear una mezcla de hormigón tradicional, así como dos mezclas de hormigón novedosas para su examen. El estudio empleó varias combinaciones de agregados, concretamente usando 2% y 3% de fibra de tallo de plátano en relación con el agregado fino. A continuación, se examinaron cuidadosamente las muestras de hormigón. Se realizaron pruebas de asentamiento para confirmar el impacto beneficioso de la integración de fibra natural obtenida de tallos de plátano en la trabajabilidad. Aumentar la proporción de fibra del tallo del plátano en la mezcla puede provocar una sedimentación no deseada. Este estudio realizó experimentos de compresión para evaluar el efecto de integrar muestras de fibra de tallo de plátano en concreto convencional. Después de una duración de 21 días, se realizaron pruebas de compresión y se confirmó que las muestras que contenían 2% de



fibra natural de tallo de plátano alcanzaron el módulo de ruptura requerido para pavimentos rígidos como se especifica en el diseño. Por tanto, es la dosis óptima en términos de eficacia.

Para, Olivares & Urbina, (2023) en su investigación titulada "Propiedades Microestructurales y Mecánicas de Suelos Adicionando Cenizas de Cáscara de Arroz y Fibras de Plátano" El suelo arcilloso plantea desafíos para las operaciones de pavimentación de ingeniería debido a su limitada capacidad de carga y susceptibilidad a variaciones de volumen. La notable actividad puzolánica de la ceniza de cáscara de arroz (CCA), combinada con las características de la fibra de plátano (FDP), presenta un método rentable y ecológico para mejorar la resiliencia del suelo. El objetivo de este estudio es evaluar las características microestructurales y mecánicas de suelos mediante la incorporación de ceniza de cascarilla de arroz y fibras de plátano. Para lograr este objetivo, se realizaron pruebas mecánicas como Proctor modificado y relación de rodamiento de California (CBR) en muestras de suelo natural. Se agregaron al suelo diferentes proporciones (5%, 10%, 15% y 20%) de CCA y luego se inyectaron 0,1%, 0,3%, 0,5% y 0,7% de PDF para lograr la concentración de CCA deseada. La inclusión de un 10% de CCA (arseniato de cobre y cromo) y un 0,5% de FDP (fósforo derivado de fertilizantes) mejoró las características mecánicas del suelo, como lo demuestran los datos recopilados. El CBR exhibió una elevación del 5,03% con una medida de 0,1 pulgadas y un incremento del 6,87% con una medida de 0,2 pulgadas. El análisis microestructural, empleando difracción de rayos X (DRX) y microscopía electrónica de barrido (SEM) con espectroscopia de dispersión de energía (EDS), reveló que la muestra que comprendía 10% de CCA y 0,5% de FDP contenía cantidades significativas de cuarzo, aluminosilicatos y calcita en sus fases cristalinas. Además, el análisis de la composición química indicó una cantidad sustancial de sílice procedente de CCA y carbono producido por FDP.

Finalmente, Champi & Garcia, (2022) nos dice que el presente estudio "Estabilización de subrasante con adición de ceniza de tusa de maíz y cáscara de maní en



la carretera IC-1110171, Ica-2022” El objetivo de este estudio fue evaluar el impacto de la incorporación de ceniza de mazorca de maíz y cáscara de maní en la estabilización de la subrasante agregando cantidades variables del 11%, 12%, 13% y 14% en relación con el peso del suelo. La metodología empleada combina diseño práctico, experimental, nivel explicativo y enfoque cuantitativo. La población se concentra principalmente en un tramo de 5 kilómetros a lo largo del subrasante de la autopista IC-1110171, Ica-2022. Debido a las propiedades físicas comparables de las fosas de la muestra, sólo se examinó una de las cinco. La implementación del CTM (Método de Entrenamiento Continuo) y CCM (Método de Entrenamiento Continuo) en el foso C-3 tuvo efectos positivos. El índice de plasticidad (PI) mostró una caída del 0%, 0%, 12,5% y 25% en un conjunto de mediciones, y una disminución del 0%, 12,5%, 12,5% y 25% en otro conjunto. El suelo de esta fosa se clasifica como de baja plasticidad, con un índice de plasticidad (IP) inferior al 7%, y de plasticidad media, con un IP que oscila entre el 7% y el 20%. El OCH experimentó aumentos sucesivos del 2,97%, 3,44%, 3,54% y 4,21%, seguidos de aumentos del 2,68%, 3,06%, 4,11% y 4,69%. Sin embargo, la dosificación no tuvo un impacto positivo en la propiedad de índice (IP) del suelo de subrasante. El MDS experimentó una disminución del 6,18%, 6,79%, 7,41% y 7,85% en un caso, y del 4,62%, 5,29%, 5,73% y 6,51% en otro. La administración de la dosis no produjo un resultado favorable en el MDS, ya que la reducción de la compactación no mejora la capacidad de resistir la suciedad de la subrasante. El CBR al 100% y 95% de MDS mostró un aumento para CTM en los porcentajes respectivos de 2,45%, 3,67%, 4,49% y 6,12%. Además, la Tasa de Crecimiento Anual Compuesta (CBR) de las CTM experimentó incrementos sucesivos del 64,52%, 68,82%, 69,89% y 72,04%. De manera similar, el CBR experimentó un aumento del 4,08%, 5,31%, 6,94% y 7,76% para el CCM. Además, el CBR de CCM experimentó un crecimiento del 62,37%, 65,59%, 68,82% y 69,89%. Según NTP 339.145 y MTC suelos y pavimentos 2014, la cantidad de dosificación aplicada tuvo un impacto beneficioso sobre la subrasante. La subrasante se considera aceptable, con un índice de carga de California (CBR) que oscila entre el 10% y el 20%. Los hallazgos indican que la inclusión de ceniza



de mazorca de maíz y cáscara de maní en el suelo mejora las características físicas y mecánicas de la subrasante, con excepción del OCH. La dosis recomendada es el 14% de la masa total combinada (CTM) y la masa celular combinada (CCM).

### **2.1.3 Antecedente de ámbito local**

Para, Chayña, (2022) su investigación titulada "Análisis del uso de ceniza de totora en la estabilización de la subrasante en la trocha carrozable Ccota-Quipata, Puno, 2022", El objetivo principal del proyecto es examinar la eficacia de la ceniza de carrizo para mejorar la estabilidad de los suelos a nivel de subrasante. en el camino. La aplicación de concentraciones del 4%, 8%, 12% y 16% al vehículo da como resultado propiedades físicas y mecánicas mejoradas de la subrasante. Para clasificar estas dosificaciones se realizan diversas pruebas, entre ellas granulometría, análisis del contenido de humedad, determinación de límites de consistencia, evaluación de la compactación en relación con la densidad seca máxima y el contenido de humedad óptimo y evaluación de la capacidad de carga actual. El estudio empleó una metodología cuasiexperimental, cuantitativa y explicativa, que tiene implicaciones prácticas. Como parte de la investigación, se recolectaron muestras de tres excavaciones: el pozo 01 ubicado en el sitio 00+450, el pozo 02 ubicado en el lugar 01+500 y el pozo 03 ubicado en el sitio 02+500. Dada su importancia, el análisis se centró principalmente en los datos recopilados del pozo 03. La dosis óptima se logra utilizando 16% de ceniza de caña. Esta dosificación mejora las propiedades físicas y mecánicas del material, particularmente su capacidad para proporcionar soporte al suelo a nivel de subrasante. Los datos fueron sometidos a análisis estadístico para comparar y comprender los resultados.

Para, Chura Dueñas, (2022) su investigación titulada "Aplicación de ceniza de boñiga para el mejoramiento de la subrasante en la avenida Aviación, Puno - 2021", El objetivo principal de esta tesis de estudio es investigar el uso de cenizas de estiércol para mejorar la subrasante en la avenida de la aviación. Para potenciar las características físico-



mecánicas del suelo, incluyendo su flexibilidad, compactación y resistencia, incorporaremos al suelo cenizas de estiércol en concentraciones del 4%, 8% y 12%. Esto se logrará apegándose estrictamente a parámetros predeterminados y regulaciones establecidas. La tesis sugiere utilizar un estilo de investigación cuasiexperimental con un enfoque práctico. La investigación se realiza a nivel explicativo, empleando una metodología cualitativa. La encuesta incluyó a personas categorizadas como 01+500, 02+500 y 03+500 progresistas. Los datos sugieren que el suelo consiste en una combinación de limo, arcilla, grava y arena, y está categorizado como GC GM según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS). Además, está clasificado como A-1-a(0) según la Asociación Estadounidense de Funcionarios Estatales de Carreteras y Transporte (AASHTO). La prueba CBR arrojó un resultado del 19,2% para la muestra estándar. Los valores de CBR crecen en proporción directa al 23,4%, 29,4% y 30,2% con incrementos consecutivos del 4%, 8% y 12% respectivamente. Según los estudios, el suelo es muy adecuado para su uso en caminos arcillosos. Los valores dados para el índice de plasticidad (IP) sugieren un nivel moderado de plasticidad. En términos de compactación, el contenido de humedad cae del 8,07% al 7,99%, mientras que la densidad máxima en seco aumenta de 1,909 g/cm<sup>3</sup> a 2,057 g/cm<sup>3</sup>. Los resultados indican que la ceniza de estiércol es un estabilizador de suelo excepcionalmente bueno y puede emplearse eficientemente en la construcción de caminos de arcilla.

## **2.2 Bases teóricas**

### **2.2.1 Estabilización de suelos**

La estabilización de suelos abarca una variedad de técnicas y procesos utilizados en ingeniería civil y construcción para mejorar las propiedades físicas, químicas y mecánicas del suelo. El objetivo de estos tratamientos es mejorar la capacidad del suelo para soportar peso, reducir su tendencia a comprimirse, limitar su capacidad de absorber líquidos y controlar su tendencia a expandirse y contraerse. La estabilización de suelos es



una técnica ampliamente utilizada para preparar el suelo para diversos usos de construcción, como cimientos, carreteras, aeropuertos y otras estructuras de soporte. La siguiente parte ofrece una explicación detallada de la metodología y los enfoques empleados: (Angulo Roldan & Zavaleta Papa, 2021)

Los métodos de estabilización del suelo implican el uso de estabilización mecánica, que emplea técnicas físicas para preservar o restablecer la estabilidad en un sistema o estructura.

Implica el uso de técnicas físicas para alterar la estructura y composición del suelo manteniendo sus cualidades químicas. La compactación es una técnica empleada para aumentar la densidad del suelo y reducir su contenido de aire. Esto mejora la capacidad de carga del suelo y reduce su susceptibilidad a los daños relacionados con el agua. Otro método en mecánica es la fusión de varios tipos de suelo para lograr características específicas, como la fusión de suelos arenosos y arcillosos para reducir su liquidez.

La estabilización química es la aplicación de compuestos químicos para mejorar la estabilidad o durabilidad de un material o sustancia, haciéndolo más resistente a los cambios o la desintegración.

La técnica implica el empleo de aditivos químicos para mejorar la estabilidad del suelo. Estos aditivos, como la cal, el cemento, las cenizas volantes o las resinas, reaccionan químicamente con los minerales del suelo para formar moléculas más estables y menos susceptibles a los cambios provocados por la humedad. Por ejemplo, la aplicación de cal al suelo arcilloso puede reducir su plasticidad y mejorar su resistencia, mientras que el cemento se puede utilizar para crear una mezcla consistente y robusta similar al hormigón.

El uso de polímeros sintéticos o naturales está ganando popularidad como medio para mejorar las características del suelo. Los polímeros poseen la capacidad de aumentar la adhesión y longevidad de las partículas del suelo mediante la creación de conexiones



moleculares entre ellas. Este método es particularmente ventajoso en suelos arenosos o granulares, ya que la unión inherente entre partículas suele ser débil.

La estabilización biológica es el acto de alcanzar una condición de estabilidad dentro de un sistema biológico.

Este enfoque utiliza plantas y microorganismos para mejorar y proteger el suelo. Las raíces de las plantas contribuyen a la estabilización del suelo, mientras que los microorganismos tienen el poder de modificar la composición química del suelo, mejorando así su estabilidad. Este método es ecológicamente ventajoso y se utiliza ampliamente para controlar la erosión en laderas y riberas de ríos.

- La estabilización de suelos es una técnica comúnmente empleada en la construcción de carreteras y autopistas. La estabilización mejora la capacidad del suelo para soportar los impactos del tráfico intenso y cargas estructurales sin experimentar deformación.
- Los suelos estabilizados proporcionan una base duradera y duradera para la construcción de edificios.
- Control de erosión: Reduce el desplazamiento del suelo en áreas propensas a la erosión eólica o hídrica.
- La remediación ambiental implica la aplicación de técnicas estabilizadoras para restringir el movimiento de contaminantes y obstaculizar su propagación en regiones que están contaminadas.
- Cuando se trata de múltiples factores, es importante evaluar cuidadosamente la situación y abordar de manera eficiente cualquier obstáculo que surja.
- La elección del método de estabilización apropiado depende de varios factores, incluida la composición del suelo, el uso planificado de la estabilización, las condiciones ambientales existentes y la rentabilidad del procedimiento. Además, es crucial considerar las repercusiones ambientales de los aditivos químicos y



garantizar que los procedimientos de estabilización no contaminen las aguas subterráneas ni tengan impactos perjudiciales en los ecosistemas cercanos.

En resumen, la estabilización de suelos es una tecnología esencial en la ingeniería civil que transforma suelos con propiedades desfavorables en materiales capaces de dar soporte a diversas construcciones y propósitos. Esto garantiza la seguridad, durabilidad y permanencia de los proyectos de construcción.

### **2.2.1.1 Definición y Objetivos de la Estabilización de Suelos**

La estabilización del suelo es un método esencial en la ingeniería civil que implica alterar las características físicas, químicas o biológicas del suelo para mejorar su capacidad para absorber cargas, soportar presiones, mantener la estabilidad y aumentar la durabilidad. La técnica busca modificar el suelo para cumplir con los requisitos particulares de construcción o uso del suelo, garantizando que cumpla con los criterios esenciales para ofrecer estabilidad estructural y soportar condiciones ambientales desfavorables. En este documento, proporcionamos una explicación detallada de la definición y los objetivos de la estabilización del suelo. (Aguilar Zambrano & Cardenas Diego, 2023)

La estabilización de suelos se refiere al proceso de mejorar las características mecánicas del suelo para mejorar su eficacia en aplicaciones de ingeniería civil. Esto se logra modificando la estructura física del suelo, introduciendo productos químicos estabilizadores o empleando procedimientos que afecten su capacidad de carga o su capacidad de respuesta a los cambios ambientales. Los métodos pueden variar desde la compactación básica hasta la implementación de complejos aditivos químicos o tratamientos biotecnológicos.

- Los objetivos principales de la estabilización del suelo son diversos y dependen de las circunstancias particulares del proyecto, pero comúnmente abarcan lo siguiente:



- Mejorar la capacidad de carga: aumenta la capacidad del suelo para soportar presiones externas ejercidas por edificios, automóviles o tráfico peatonal, evitando así hundimientos y otros tipos de colapso del suelo.
- Manejar la hinchazón y la contracción del suelo: Mitigar la vulnerabilidad del suelo a las fluctuaciones en los niveles de humedad, particularmente en suelos arcillosos que exhiben una propensión a la expansión y la contracción.
- Mejorar la resistencia al corte: reforzar el suelo para mejorar su capacidad de resistir las fuerzas horizontales que podrían provocar deslizamientos de tierra o colapsos de la superficie, especialmente en pendientes o en escenarios como cimientos de edificios y lechos de carreteras.
- Disminuir la permeabilidad: disminuir la velocidad a la que el agua atraviesa el suelo para controlar la erosión, evitar el agotamiento de partículas pequeñas y mejorar la estabilidad general del suelo.
- Mejorar la durabilidad: Mejorar la longevidad del suelo como material de construcción reforzando su capacidad para soportar ciclos de congelación/descongelación, erosión química y abrasión física.
- Fomentar la sostenibilidad ambiental: implementar métodos de estabilización que mitiguen el daño ambiental, como la reutilización de materiales en el sitio y la inclusión de aditivos ecológicos para disminuir la dependencia de la extracción de recursos frescos y minimizar la producción de desechos.
- Agilizar el proceso de tratamiento y utilización de suelos contaminados o por debajo del estándar en las iniciativas constructivas para fomentar su reutilización. Este método minimiza la necesidad de eliminación en vertederos y aboga por métodos de construcción ambientalmente sostenibles. Ambientalmente sustentable.

La estabilización del suelo es un proceso esencial que convierte suelos con cualidades menos que ideales en materiales apropiados para fines de construcción. Este método reduce los peligros y mejora la eficiencia y seguridad de las operaciones de



ingeniería. Al lograr estos objetivos, se garantiza que los pisos tratados puedan satisfacer los estándares estructurales y ambientales de los avances contemporáneos.

### **2.2.1.2 Métodos Tradicionales de Estabilización**

Los métodos tradicionales de estabilización de suelos son procedimientos utilizados en ingeniería civil y construcción para mejorar las propiedades mecánicas y la durabilidad de los suelos, haciéndolos más adecuados para la construcción y otros fines estructurales. Estos métodos dependen de alterar el suelo mediante técnicas físicas, químicas o mecánicas para mejorar su capacidad para soportar peso, resistir fuerzas cortantes, reducir la permeabilidad y gestionar las variaciones de volumen. A continuación, se muestran algunos métodos tradicionales comúnmente utilizados para la estabilización del suelo: (Torres Caceres, 2021)

#### **Compresión de datos**

Esta técnica reduce los espacios vacíos entre las partículas del suelo, mejorando así su capacidad de carga y reduciendo su compresibilidad y permeabilidad. La compactación es un procedimiento esencial en la construcción de cimientos, caminos y presas porque garantiza que el suelo utilizado tenga una mínima probabilidad de sedimentarse o erosionarse. (Zapana Bustincio, 2022)

#### **Utilización de cemento para mejorar la estabilidad.**

La estabilización con cemento es el método de mezclar suelos, específicamente aquellos con un contenido notable de arcilla, utilizando cemento Portland. Al incorporar cemento al suelo, se mejora su capacidad para soportar peso y se aumenta su capacidad para resistir fuerzas de deslizamiento. Esto se logra mediante la estimulación de reacciones químicas que producen moléculas con propiedades similares a las del cemento.



### **La estabilización con cal es una técnica que mejora la estabilidad y resistencia del suelo u otros materiales mediante el uso de cal.**

Este proceso es similar a la estabilización con cemento, ya que implica la adición de cal (ya sea óxido de calcio o hidróxido de calcio) al suelo. La combinación de minerales calizos y arcillosos en el suelo conduce a la creación de silicatos y aluminatos de calcio, que exhiben propiedades similares a las del cemento. Este método es extremadamente eficaz para reducir la plasticidad y expansión de los suelos arcillosos, mejorando así su estabilidad, reduciendo la susceptibilidad al agua y aumentando la resistencia a las fuerzas de corte. (Champi Lunasco & Garcia Angulo, 2022)

### **Estabilización del Asfalto**

La estabilización del asfalto implica la mezcla del suelo con asfalto líquido o emulsiones asfálticas. Este método es extremadamente eficaz para suelos que requieren una mejora significativa en su capacidad para resistir el flujo de agua y mantener su integridad. El asfalto actúa como un material cohesivo, mejorando la capacidad del suelo para resistir el agua y fortaleciendo su capacidad de carga. Se utiliza comúnmente en la construcción de cimientos y subcimientos de carreteras. (Bobadilla Peña et al., 2022)

### **Incorporación de Agregados**

Este método consiste en añadir componentes particulados, como grava, arena o escoria, a suelos que no poseen suficientes propiedades mecánicas. Al asimilar estos conglomerados se puede mejorar la granulometría del suelo, fortalecer su resistencia estructural y reducir su susceptibilidad al agua. Este método es particularmente ventajoso para suelos con una alta concentración de partículas, ya que son muy propensos a la compresión y tienen una capacidad restringida para soportar cargas. (Quispe Huarilloclla & Torres Valencia, 2023)

### **Eliminación de desechos líquidos**

Mejorar el drenaje de un área no es una forma completa de estabilización, pero puede estabilizar eficazmente el suelo al reducir la saturación de agua y, como resultado, la presión hidrostática interna. Esto se puede lograr implementando sistemas de drenaje subterráneo o empleando materiales geotécnicos que faciliten la evacuación del agua.

La eficacia de estos métodos tradicionales para la estabilización de suelos se ha demostrado con el tiempo y siguen siendo esenciales en muchos proyectos modernos de ingeniería civil. Sin embargo, es crucial seleccionar el método apropiado en función de las características individuales del suelo, los requisitos del proyecto y las condiciones ambientales del lugar. (Calamani Flores & Quispe Yujra, 2023)

### **Uso de Cemento y Cal**

La incorporación de cemento y cal en la estabilización de subrasantes es una parte vital de las principales técnicas utilizadas en la ingeniería de carreteras y construcción de pavimentos. Estos materiales se utilizan para mejorar las propiedades mecánicas del suelo en las capas de subrasante, que proporcionan el soporte fundamental para la subbase y las capas de base antes de aplicar el pavimento. Aquí está la implementación exacta del cemento y la cal:

La utilización de cemento en subrasantes implica la aplicación de cemento Portland, que es una sustancia ampliamente utilizada con el fin de estabilizar subrasantes. mejorando así la cohesión y la resiliencia del suelo.

El mecanismo estabilizador implica la aparición de interacciones químicas entre el cemento y el suelo de la subrasante, lo que resulta en la formación de silicatos y aluminatos de calcio hidratados. Estos compuestos presentan propiedades comparables a las del cemento. Este enfoque mejora la capacidad del suelo para resistir fuerzas de compresión y corte, al mismo tiempo que reduce su permeabilidad y aumenta su longevidad.

### **Aplicaciones y beneficios:**



El cemento mejora la resistencia duradera y la capacidad de la capa inferior de una carretera para soportar el peso de los vehículos sin cambiar de forma. Reducir la hinchazón y la contracción: esto es especialmente importante en suelos arcillosos que son susceptibles a cambios de volumen causados por variaciones en los niveles de humedad.

### **Utilización de cal en subrasantes**

La definición y calidad de un tema determinado están determinadas por sus características y atributos únicos. La estabilización de la subrasante se puede lograr utilizando cal viva (óxido de calcio) o cal hidratada (hidróxido de calcio). Este material alcalino modifica la composición química de los suelos arcillosos, reduciendo su capacidad para sufrir cambios de forma y mejorando su resistencia.

El proceso de estabilización implica una reacción química entre la cal y los minerales arcillosos del suelo, particularmente los abundantes en sílice y aluminio. Esta reacción química produce la creación de nuevos compuestos cristalinos, como silicatos y aluminatos de calcio hidratados. Estos compuestos mejoran la adhesión de las partículas del suelo, reforzándolas y disminuyendo su susceptibilidad a la absorción de agua.

#### **Aplicaciones y beneficios:**

La cal contrarresta eficientemente la expansión volumétrica de los suelos arcillosos, disminuyendo así deformaciones y fisuras en la vía.

Mejora de las condiciones de compresión: Al incorporar cal al suelo, es posible conseguir una mejor compactación del suelo con menos humedad, aumentando así la eficiencia del proceso constructivo.

#### **Selección de materiales:**

La elección entre cemento y cal para la estabilización de la subrasante depende de las propiedades del suelo. Los suelos con un alto contenido de arcilla suelen tener una respuesta más favorable a la cal, mientras que los suelos que son más granulares o requieren mayor resistencia pueden obtener mejores ventajas del cemento.

#### **Implementación:**

Ambos procesos necesitan una preparación cuidadosa y exhaustiva, así como una mezcla precisa del suelo y el estabilizador. Para garantizar la integridad estructural de la subrasante, es fundamental distribuir uniformemente el cemento o la cal en el suelo, evitando así la formación de puntos débiles.

#### **Ramificaciones ecológicas:**

Tanto el cemento como la cal tienen consecuencias ambientales asociadas a su producción y uso. Es imperativo considerar estos factores y hacer esfuerzos para minimizar el impacto mediante el establecimiento de prácticas sostenibles y la optimización de la utilización de recursos.

En resumen, la utilización de cemento y cal con el fin de estabilizar subrasantes es una técnica extremadamente eficiente para mejorar las propiedades de los suelos que funcionan como base para infraestructura crucial como carreteras y aeropuertos. Este método garantiza estabilidad, durabilidad y la capacidad de soportar un peso considerable.

#### **Estabilización Mecánica**

La estabilización mecánica de suelos es un método utilizado en ingeniería para mejorar las propiedades físicas y estructurales de los suelos. Este enfoque no incluye ninguna alteración química del suelo. En cambio, da prioridad a modificaciones físicas como comprimir, mezclar y alterar la distribución del suelo mediante la inclusión de agregados. El objetivo es aumentar la capacidad del suelo para soportar peso, fortalecer su capacidad para resistir deslizamientos y minimizar los cambios de volumen inducidos por factores externos como la humedad y la temperatura. Este documento proporciona una elucidación exhaustiva de los elementos esenciales de la estabilidad mecánica.

#### **La estabilización mecánica abarca un conjunto de técnicas metódicas.**

La compactación es la técnica principal utilizada en la estabilización mecánica. Este proceso implica aplicar presión mecánica al suelo mediante rodillos compactadores, vibradores o apisonadores. La compactación aumenta la densidad del suelo al reducir la presencia de aire entre sus partículas, mejorando así su capacidad para soportar peso y resistir la deformación. Además, un suelo adecuadamente compactado presenta una



permeabilidad reducida, lo que reduce el riesgo de erosión interna y mejora su resistencia a la saturación de agua.

La mejora de la gradación del suelo implica modificar los tamaños de las partículas del suelo combinando diferentes tamaños de partículas del suelo o introduciendo agregados externos para optimizar la distribución de los tamaños de las partículas. Un suelo óptimamente clasificado se caracteriza por su disposición eficiente de partículas, lo que resulta en espacios vacíos reducidos y una integridad estructural mejorada. Este método es bastante eficaz para mejorar la resistencia y estabilidad del suelo y fortalecer su capacidad para drenar el agua.

El refuerzo geosintético es un método utilizado para estabilizar mecánicamente estructuras mediante la utilización de materiales sintéticos como geotextiles, geomallas o geoceldas. Estos materiales se aplican al piso para aumentar su longevidad, distribuir el peso de manera uniforme y mejorar la estabilidad del suelo. Los geosintéticos son particularmente ventajosos en condiciones caracterizadas por suelos altamente inestables o en regiones donde son necesarias acciones adicionales para prevenir la erosión y la sedimentación.

### **Usos prácticos de la estabilización mecánica.**

La construcción de carreteras y pavimentos implica el proceso de preparación de las capas subyacentes de las carreteras, conocidas como subrasante y bases, para mejorar su durabilidad y capacidad para soportar el peso del tráfico.

Aspectos fundacionales de la estructura: Mejora la capacidad del suelo para soportar cargas estructurales sin deformaciones o asentamientos significativos.

El control de la erosión generalmente implica implementar técnicas de compactación y mejorar la gradación del suelo para gestionar con éxito la erosión del suelo en áreas como laderas y riberas de ríos.



La sostenibilidad es la capacidad de defender o sostener algo durante un período prolongado, específicamente en términos de aspectos ambientales, sociales y económicos. Emplea un procedimiento libre de químicos, minimizando así el daño ambiental en comparación con los métodos de estabilización química.

La eficiencia económica se refiere a la capacidad de un sistema económico para asignar recursos de una manera que maximice la producción de bienes y servicios, minimizando al mismo tiempo el desperdicio y la ineficiencia. Generalmente, esta técnica es más eficiente económicamente en comparación con otros métodos de estabilización porque requiere menos recursos adicionales.

La idoneidad del suelo para la estabilización mecánica varía según su tipo, especialmente si contiene una cantidad importante de arcilla o materia orgánica.

Control de Calidad: Es fundamental implementar estrictas medidas de control de calidad durante la fase de ejecución para asegurar una compactación y mezclado adecuado y consistente.

La estabilización mecánica es una técnica crucial en ingeniería geotécnica que permite la modificación de suelos con características subóptimas en materiales adecuados para la construcción y otros tipos de soporte. Esta estrategia garantiza la estabilidad y eficacia duraderas de estos suelos.

### **2.2.1.3 Métodos Alternativos y Sostenibles de Estabilización**

La demanda de tecnologías de estabilización de suelos que sean a la vez eficaces y respetuosas con el medio ambiente ha dado lugar a la creación e implementación de soluciones alternativas y sostenibles en el campo de la ingeniería civil. Estos programas tienen como objetivo mejorar las características del suelo para la construcción y otros fines, al tiempo que reducen el daño ambiental y fomentan la utilización de materiales renovables o reciclados. A continuación, se presentan varias técnicas respetuosas con el medio ambiente para estabilizar el suelo: (Rios Vilca & Neyra Vasquez, 2020)

### **Utilización de polímeros biodegradables para la estabilización**

Este método implica la utilización de polímeros orgánicos o biodegradables para mejorar la capacidad del suelo para soportar peso y resistir fuerzas de corte. Los polímeros biodegradables, a diferencia de los polímeros sintéticos tradicionales, sufren un proceso de descomposición progresiva en sustancias no tóxicas que no dañan el medio ambiente. Estos polímeros se pueden obtener a partir de plantas o residuos agrícolas y son particularmente ventajosos en situaciones que requieren estabilidad temporal, como obras de construcción o rehabilitación de paisajes.

### **Utilización de subproductos industriales reutilizados**

La estabilización del suelo se ha logrado mediante la utilización de materiales como cenizas volantes, escoria de acería y vidrios rotos. Las cenizas volantes son un subproducto que queda después de quemar carbón en las centrales eléctricas, la escoria de acería es un subproducto secundario de la producción de acero y el vidrio molido se obtiene mediante el reciclaje de botellas. Estos artefactos aparentemente insignificantes contienen componentes que pueden interactuar con el suelo, mejorando su composición y capacidad para soportar peso. Su utilización ayuda a mitigar el agotamiento de los recursos naturales y minimizar la cantidad de residuos eliminados en los vertederos.

### **Técnicas electroquímicas de estabilización.**

La estabilización electroquímica es la aplicación de corriente eléctrica al suelo con el fin de modificar sus características químicas y físicas. Este proceso puede disminuir la maleabilidad del suelo y mejorar su resiliencia sin la necesidad de aditivos químicos. Esta solución es especialmente adecuada para suelos con una alta concentración de arcilla. Puede servir como una opción sostenible al evitar la necesidad de materiales adicionales que podrían agotar los recursos naturales.

### **Estabilización con el uso de encalado.**

Si bien el uso de cal es un enfoque habitual, puede considerarse sostenible cuando se emplea cal fabricada de forma ecológica. La cal mejora la capacidad de carga del suelo al tiempo que disminuye su flexibilidad e hinchazón. La utilización de cal generada

mediante técnicas de mitigación de emisiones de carbono o recuperada de procesos industriales anteriores puede mejorar la sostenibilidad de esta estrategia.

### **Flora y Técnicas de Bioingeniería**

La utilización de vegetación y métodos de bioingeniería para la estabilización del suelo es un enfoque notablemente natural y ambientalmente benigno para mejorar la estabilidad del suelo. Plantar algunas especies de plantas puede mitigar eficazmente la erosión, mejorar la composición del suelo y regular el agua superficial aprovechando sus sistemas de raíces. Además, la presencia de vegetación puede potenciar el atractivo visual del terreno y ofrecer entornos adecuados para la fauna autóctona.

### **Geo celdas y Geo sintéticos Ecológicos**

Las geo celdas son dispositivos tridimensionales empleados para restringir los suelos y mejorar su desempeño cuando se someten a fuerzas externas. Las geo celdas, fabricadas con materiales reciclados o biodegradables, ofrecen un enfoque ecológico para la estabilización del suelo. Los geo sintéticos fabricados a partir de materiales reciclados u orgánicos, conocidos por su respeto al medio ambiente, se adoptan cada vez más como sustituto sostenible de los productos sintéticos convencionales.

Estas soluciones sostenibles no sólo cumplen con los requisitos estructurales y de ingeniería de los proyectos, sino que también contribuyen a la conservación de recursos, la reducción de la contaminación y la promoción de hábitos ecológicamente saludables.

### **Introducción a Materiales Alternativos**

Los materiales alternativos en la construcción son aquellos que brindan una opción más sostenible, rentable o funcionalmente superior en comparación con los materiales tradicionales. Estos materiales pueden adquirirse de fuentes no convencionales, como subproductos de otros procesos industriales, o producirse utilizando tecnologías contemporáneas que se esfuerzan por minimizar el impacto ambiental de la construcción y mejorar la efectividad y durabilidad de las estructuras.

- Los materiales alternativos son ampliamente valorados por su sostenibilidad, que es una característica vital. Esto incluye materiales reutilizados, como plástico o



vidrio transformado, así como materiales orgánicos y respetuosos con el medio ambiente, como el bambú o el cáñamo.

- Eficiencia energética: algunos materiales alternativos específicos ofrecen una mayor eficiencia energética, reduciendo así la cantidad de energía necesaria para calentar y enfriar un edificio.
- Los materiales alternativos suelen contribuir a mitigar el impacto medioambiental de la construcción. Esto se puede lograr reduciendo las emisiones de carbono, absteniéndose del uso de recursos no renovables o minimizando la generación de residuos.
- Atributos mejorados: Varios materiales ofrecen atributos mejorados, incluida una mayor resistencia al fuego, la humedad, el moho y los insectos. Estas características tienen la capacidad de aumentar la vida útil de las estructuras y reducir los costos asociados con el mantenimiento.
- Varias categorizaciones de sustancias
- Los materiales reciclados se refieren al uso de residuos industriales, como las cenizas volantes en el hormigón, o artículos posconsumo, como neumáticos reciclados para pavimento.
- Algunos ejemplos de materiales naturales son el bambú, el cáñamo, la paja y la madera obtenida de forma sostenible. La selección de materiales se basa en su mínimo impacto ambiental y sus excepcionales propiedades aislantes.
- Los materiales compuestos, que comprenden polímeros reforzados con fibras naturales o sintéticas, exhiben una resistencia y durabilidad excepcionales a la vez que son livianos.
- Las tecnologías innovadoras implican el uso de materiales que demuestran una respuesta sensible a estímulos externos, como pinturas que poseen cualidades purificadoras del aire o concreto que puede repararse a sí mismo.
- Desafíos en la implementación de materiales alternativos



- Precio y accesibilidad: aunque muchos materiales alternativos pueden ofrecer ventajas en términos de viabilidad económica a largo plazo, sus altos costos iniciales y su disponibilidad restringida pueden impedir su implementación generalizada.
- La incorporación de materiales novedosos puede enfrentar desafíos como resultado de leyes de construcción anticuadas que no consideran las propiedades y eficacia de estos materiales de vanguardia.
- Falta de experiencia y educación formal: los arquitectos y constructores pueden enfrentar desafíos al intentar incluir materiales alternativos en sus diseños debido a su insuficiente conocimiento y experiencia en el trabajo con dichos materiales.

La disciplina de "Introducción a materiales alternativos" es un área de investigación y aplicación en rápida evolución que es crucial para promover métodos de construcción sostenibles y conscientes del medio ambiente. La industria de la construcción adoptará progresivamente materiales alternativos como medio para reducir su impacto ambiental y adoptará métodos innovadores.

### **Beneficios Ambientales y Económicos**

La implementación de estrategias, regulaciones, tecnologías o medidas para salvaguardar el medio ambiente y generar beneficios económicos para individuos, empresas, comunidades o economías enteras conduce a mejoras tangibles tanto en el medio ambiente como en la economía. Estos beneficios son cruciales para fomentar un desarrollo sostenible (Linares Chavez, 2019).

### **Ventajas ecológicas**

Las ventajas ambientales se refieren a mejoras en la calidad y robustez del entorno natural, incluida la atmósfera, los cuerpos de agua, el suelo, la flora y la fauna. Los beneficios antes mencionados se pueden lograr mediante la implementación de medidas



de conservación, la utilización de tecnologías limpias, la aplicación de la legislación de protección ambiental y la implementación de técnicas de gestión de recursos.

### **Elementos esenciales:**

Mejora de la calidad del aire: Disminución de los contaminantes en el aire y los gases de efecto invernadero, lo que conduce a una mejor salud pública y esfuerzos para combatir el cambio climático.

La conservación del agua implica mejorar la eficacia de su utilización y proteger los cuerpos de agua de la contaminación.

La gestión sostenible del suelo implica la implementación de métodos que mitiguen eficazmente la erosión, mejoren la fertilidad del suelo y fomenten la adopción de prácticas de utilización de la tierra más sostenibles.

La reducción de desechos implica la aplicación de métodos de reciclaje, reutilización y reducción de desechos para limitar la cantidad de basura producida y disminuir sus consecuencias ambientales.

### **Ventajas en términos económicos**

Los beneficios económicos se refieren a las ganancias financieras y operativas que surgen de prácticas, legislación o tecnologías sostenibles que también son eficientes en términos de costos. Los beneficios asociados con este contexto pueden incluir reducciones tangibles de costos, generación de oportunidades de empleo, promoción de la expansión económica y mejora de la ventaja competitiva.

### **Elementos esenciales:**

Se pueden lograr ahorros de costos disminuyendo los gastos operativos mediante la implementación de métodos energéticamente eficientes, reduciendo el consumo de recursos y optimizando la gestión de la cadena de suministro.

La creación de empleo implica la generación de oportunidades de empleo en sectores como las energías renovables, la construcción sostenible y la gestión de residuos.

Los proyectos que pueden mostrar beneficios ambientales reciben acceso a incentivos fiscales y subsidios, fomentando así la inversión en tecnologías limpias.

Las empresas pueden mejorar su imagen de marca y obtener una ventaja competitiva en el mercado global implementando prácticas sostenibles, mejorando así su competitividad.

El avance de la innovación implica destinar recursos a la creación de tecnologías ecológicamente sostenibles y duraderas que tengan el potencial de crear nuevos mercados y perspectivas comerciales.

La relación entre beneficios ambientales y recompensas económicas.

La relación entre los beneficios ambientales y económicos está estrechamente entrelazada, particularmente en el marco del desarrollo sostenible. La adopción de tecnologías limpias y prácticas sostenibles puede dar lugar a mejoras sustanciales tanto en la economía como en el medio ambiente. Invertir en energía solar ofrece múltiples beneficios, como reducir la dependencia de combustibles fósiles y minimizar las emisiones de CO<sub>2</sub>. Además, tiene la capacidad de generar ahorros sustanciales en los costos de energía a largo plazo y promover la expansión del empleo en el sector de las energías renovables.

Para promover la adopción de prácticas sostenibles y ambientalmente responsables entre empresas, gobiernos y comunidades, es esencial fomentar una amplia conciencia de los beneficios interrelacionados que ofrecen.

### **2.2.2 Materiales Utilizados en la Estabilización de Suelos**

La estabilización de suelos es un método esencial en ingeniería civil que mejora las propiedades mecánicas de los suelos, haciéndolos adecuados para la construcción y otros fines estructurales. Para este propósito se utilizan varios materiales, cada uno de los cuales tiene cualidades únicas que ayudan a estabilizar el suelo mediante diferentes enfoques. A continuación, se ofrece una explicación detallada de los principales componentes utilizados en la estabilización de suelos: (Torres Caceres, 2021)



- El cemento, concretamente el cemento Portland, se utiliza habitualmente para la estabilización del suelo. La sustancia comprende compuestos de calcio, sílice, aluminio y hierro que reaccionan químicamente con el agua y otros elementos del suelo, dando lugar a la creación de sustancias similares al cemento.
- Mecanismo de acción: La incorporación de cemento al suelo mejora su capacidad para soportar peso y reduce su capacidad para ser moldeado o penetrado por agua a través de reacciones químicas que producen un compuesto duradero y duradero.
- Aplicaciones: Se utiliza principalmente para fortalecer subrasantes.
- La forma de acción de la cal se basa en su interacción química con los minerales arcillosos del suelo. Esta reacción provoca un cambio en la composición química del suelo, lo que lleva a una reducción de su flexibilidad y una mejora de su resistencia y estabilidad.
- Aplicaciones: Ideal para mejorar las propiedades de suelos arcillosos, utilizado en la construcción de infraestructuras viarias y particularmente eficaz para prevenir la erosión.
- El asfalto, también conocido como betún, es un compuesto de hidrocarburo utilizado en estado líquido y emulsionado con el fin de estabilizar el suelo.
- Modo de operación: Actúa como aglomerante que mejora la cohesión del suelo y reduce su permeabilidad.
- Aplicaciones: Este material se utiliza en suelos que necesitan ser resistentes al agua y estables ante fuertes cargas de tráfico, especialmente en la construcción de cimentaciones de carreteras.
- Los polímeros, ya sean sintéticos o naturales, se utilizan cada vez más debido a su capacidad para mejorar la durabilidad y la vida útil de los productos.
- Mecanismo de acción: Estos compuestos promueven la creación de una estructura que mejora la unión de las partículas del suelo, aumentando así su resistencia y reduciendo la erosión.



- Aplicaciones: Esta solución exhibe una eficacia excepcional en diversas composiciones de suelo, especialmente en áreas con circunstancias ambientales desafiantes.
- El proceso implica la reacción química entre sílice y aluminio, junto con cal y otras sustancias, dando como resultado la formación de compuestos cementosos.
- Aplicaciones: Ampliamente empleado para estabilizar suelos y cimientos de carreteras, facilitando así la reutilización de residuos industriales.

### **Residuos industriales y objetos diversos**

- Actualmente, los científicos están examinando otras sustancias, como escorias de acero, desechos de vidrio y plásticos recuperados, para determinar su viabilidad en el proceso de estabilización del suelo.
- Mecanismo de acción: estos compuestos se emplean con frecuencia para aumentar la dispersión de las partículas del suelo o conferir ciertos atributos, como una mayor resiliencia o una permeabilidad reducida.
- Casos de uso: Participado en proyectos de investigación y experimentales centrados en la exploración de técnicas sostenibles para la estabilización de suelos.

En resumen, cada uno de estos materiales ofrece ventajas únicas para diferentes tipos de suelo y situaciones. La elección del material adecuado depende de varios factores, como el estilo específico del suelo.

#### **2.2.2.1 Ceniza de Tallo de Banano**

La ceniza del tallo del plátano es el residuo orgánico que se produce cuando se queman los tallos de las plantas de plátano. Históricamente, los tallos de plátano se han eliminado como desechos agrícolas una vez que se ha recolectado la fruta. Sin embargo, mediante la aplicación de un procedimiento de combustión regulada se puede adquirir una cantidad importante de cenizas que contienen abundantes minerales y elementos



químicos. Esta ceniza se puede utilizar eficazmente en diversas aplicaciones, concretamente en los ámbitos de la construcción y la agricultura. Este documento ofrece un examen exhaustivo de la ceniza del tallo del plátano, abarcando sus características, técnicas de fabricación y posibles aplicaciones: (Contreras García, 2022)

- Los componentes principales de la ceniza del tallo del plátano incluyen concentraciones elevadas de potasio (K), sílice ( $\text{SiO}_2$ ), así como otros minerales como calcio (Ca), magnesio (Mg) y fósforo (P). La composición de los plátanos puede variar según la región geográfica de cultivo, las prácticas agrícolas y el método de combustión empleado.
- Características físicas: La ceniza resultante generalmente exhibe una textura elegante y parece tener un tono gris o blanco. La textura de la sustancia puede variar desde un polvo fino hasta una consistencia más gruesa, dependiendo de la temperatura y el tiempo de combustión.
- El procedimiento para la incineración de cenizas de tallos de plátano durante la fabricación: El método comienza con la recolección de los tallos de plátano después de la cosecha de la fruta. Luego, los tallos se deshidratan mediante secado solar o secado en horno para disminuir su contenido de humedad. Posteriormente, los materiales son sometidos a una incineración regulada para garantizar una combustión completa, lo que conduce a la generación de cenizas como producto secundario.
- La Garantía de Calidad (QA) es esencial para mantener un control preciso sobre la temperatura y los niveles de oxígeno durante el proceso de combustión. Este control es fundamental para producir cenizas de calidad superior y prevenir el desarrollo de carbono no deseado. La eficacia e idoneidad de la ceniza pueden verse muy influenciadas por su calidad cuando se utiliza para diversos fines.

### **Posibles usos agrícolas de la ceniza del tallo del plátano:**

Debido a sus elevados niveles de potasio, la ceniza del tallo del plátano sirve como un poderoso fertilizante orgánico que mejora el desarrollo de las plantas y mejora la fertilidad del suelo.

La ceniza posee características que pueden repeler plagas específicas, lo que la convierte en un pesticida natural eficaz en el campo del control de plagas.

### **Actualmente en construcción:**

Al incluir ceniza como adición al hormigón, se puede mejorar la resistencia y durabilidad del material facilitando una reacción química entre la sílice y el potasio presentes en la ceniza y los componentes del cemento.

Producción de ladrillos: la incorporación de ceniza a la mezcla de materiales utilizados en la fabricación de ladrillos puede mejorar la textura y la longevidad de los ladrillos. (Liendo Cruz, 2023)

### **Manejo de la erosión del suelo:**

La utilización de cenizas de tallo de plátano para la construcción de barreras erosivas ha demostrado ser particularmente efectiva en el manejo de la erosión del suelo en áreas vulnerables.

### **Factores ambientales**

Al emplear cenizas de tallo de plátano, no sólo fomentamos la utilización de residuos agrícolas, reduciendo así la cantidad de desechos en los vertederos, sino que también proporcionamos un sustituto ecológicamente racional de los fertilizantes y aditivos químicos en otras industrias. La producción y utilización de esta sustancia puede facilitar significativamente la implementación de conceptos de economía circular y prácticas sostenibles en los campos de la agricultura y la construcción. (Carrasco Lozano, 2022)

En conclusión, la ceniza de tallo de plátano es una sustancia altamente adaptable que tiene numerosos usos posibles, aportando ventajas tanto a nivel económico como



medioambiental. La utilización creativa de este subproducto agrícola ofrece una clara oportunidad de convertirlo en un activo rentable.

### **Propiedades Químicas y Físicas**

La ceniza de tallo de plátano, que se obtiene al quemar tallos de plantas de plátano, es rica en minerales y tiene varias propiedades físicas y químicas notables que pueden utilizarse eficazmente en diferentes campos, como la agricultura y la ingeniería civil. Las propiedades físicas y químicas de la ceniza del tallo del plátano se pueden describir mediante las siguientes características y características distintas: (Quispe Muñoz, 2023)

El color de las cenizas del tallo del plátano varía de gris claro a blanco, dependiendo de la temperatura y la duración del proceso de combustión. La textura puede variar desde extremadamente fina y polvorienta hasta moderadamente granular.

#### **Densidad:**

Las cenizas generalmente poseen una baja densidad, lo que contribuye a sus características livianas y porosas. Este atributo los hace altamente compatibles para su incorporación en mezclas de baja densidad, como sustratos de crecimiento u concreto liviano.

La solubilidad de varios componentes de la ceniza difiere según su composición química. Específicamente, los componentes de potasio exhiben un grado notable de solubilidad en agua, lo que los hace muy adecuados para su utilización en aplicaciones de fertilización.

#### **Características químicas:**

El potasio (K) es un componente importante del residuo derivado de los tallos del plátano y puede usarse como fertilizante para mejorar la salud de las plantas y estimular el crecimiento.

El silicio (Si) es un material elemental. El uso de ceniza, que contiene sílice ( $\text{SiO}_2$ ), mejora la durabilidad y vida útil de los materiales de construcción.



### Nivel de acidez:

El pH alcalino de las cenizas del tallo del plátano se debe principalmente a la presencia de óxidos de calcio y potasio. Este puede emplearse para modificar el nivel de pH del suelo, específicamente en suelos ácidos, mejorando así su calidad.

Aunque la capacidad de intercambio catiónico de la ceniza del tallo del plátano no es tan alta como la del biocarbón o el compost específico, se considera moderada. Esto le permite retener y liberar nutrientes de manera eficiente en el suelo, mejorando así su fertilidad.

- Debido a su importante contenido de potasio y la presencia de otros minerales esenciales, funciona como fertilizante.
- La enmienda del suelo se emplea para alterar el nivel de pH y mejorar la estructura y fertilidad del suelo.
- La construcción se refiere al proceso de construcción o erección de estructuras e infraestructura.
- Utilizado como aditivo en la fabricación de cementos y hormigones para aumentar su longevidad y resistencia frente a sustancias químicas.
- Los ladrillos ecológicos se producen con la intención de mejorar sus propiedades ligeras y su capacidad de aislamiento térmico.
- La remediación ambiental es el enfoque sistemático de resolver los problemas ambientales, es decir, los causados por la polución y la contaminación, con el fin de restaurar y salvaguardar el medio ambiente natural.
- Las capacidades de intercambio catiónico y adsorción de las cenizas del tallo del plátano las hacen muy apropiadas para inmovilizar contaminantes en suelos y cursos de agua.

Los atributos distintivos de la ceniza del tallo del plátano la hacen excepcionalmente prometedora para una amplia gama de aplicaciones sostenibles. Aprovechando este



subproducto agrícola, que de otro modo se descartaría, podemos apoyar activamente la economía circular y promover la sostenibilidad ambiental.

### **Uso y Aplicaciones en la Ingeniería Civil**

La explotación e inclusión de materiales, procesos y tecnologías son esenciales en la ingeniería civil para la producción y mantenimiento de infraestructura, incluidos edificios, carreteras, puentes, túneles, presas y otros proyectos arquitectónicos. La ingeniería estructural utiliza principios de la mecánica, la hidráulica, la geotecnia y los materiales de construcción. (Averos, 2019)

Desarrollo y despliegue de infraestructura y sistemas tangibles El proceso de construcción de estructuras implica la organización, planificación y construcción metódicas de edificios residenciales, comerciales e industriales utilizando diversos materiales como hormigón, acero, madera y vidrio. El énfasis principal está puesto en garantizar la integridad estructural y la eficiencia energética de los edificios.

Carreteras y Puentes: Procedimiento de construcción y elevación de carreteras y puentes utilizando materiales como asfalto, hormigón y acero. Esto implica considerar factores como la topografía, el movimiento vehicular y las circunstancias biológicas de la vecindad.

Represas y Sistemas Hidráulicos abarcan el proceso de construcción de represas para regular eficientemente los recursos hídricos, abarcando la creación de infraestructura para la mitigación de inundaciones, producción de energía hidroeléctrica y redes de riego.

Los túneles son construcciones subterráneas diseñadas específicamente para el transporte de agua. Estas construcciones se construyen utilizando técnicas avanzadas de excavación y refuerzo estructural para garantizar la seguridad.

El tema de la mecánica de suelos y su utilización en proyectos de ingeniería. Esta disciplina se centra en los elementos estratégicos y prácticos involucrados en sentar las bases para la construcción de edificios. Implica analizar el comportamiento del suelo y la



roca para mitigar posibles hundimientos no deseados. Los cimientos podrán consistir en pilotes, zapatas y losas.

El control de la erosión comprende la implementación de técnicas específicamente dirigidas a detener el desplazamiento gradual del suelo y estabilizar pendientes en actividades de construcción y paisajismo. Esto implica la utilización de geotextiles, muros de contención y vegetación.

**Saneamiento y Drenaje:** La instalación de sistemas de drenaje para regular eficientemente el movimiento de aguas superficiales y subterráneas, reduciendo así la probabilidad de inundaciones y salvaguardando estructuras en áreas urbanas y rurales.

**Análisis de la Ingeniería del Transporte** La planificación del tráfico implica el desarrollo sistemático de redes viales efectivas y seguras en regiones urbanas y rurales para optimizar el flujo de vehículos y garantizar la seguridad de conductores y peatones.

La infraestructura de transporte aéreo y ferroviario se refiere al desarrollo y despliegue de las estructuras y sistemas físicos necesarios para aeropuertos y trenes. Esto abarca la construcción de pistas, estaciones y sistemas de señalización.

La ingeniería ambiental aplica principios de ingeniería para abordar desafíos y problemas ambientales. La Gestión de Residuos es la creación de sistemas para regular y supervisar el manejo de residuos tanto sólidos como líquidos. Esto abarca una variedad de actividades, incluido el reciclaje, el compostaje y el tratamiento de aguas residuales.

La remediación ambiental es el proceso de utilizar métodos físicos, químicos y biológicos para limpiar el entorno contaminado. El objetivo es restaurar y revitalizar zonas que han sido afectadas por actividades industriales o accidentes.

### Progreso y desarrollo de la tecnología

**Materiales Avanzados:** Implementación de materiales de última generación que incluyen concreto de alta resistencia, polímeros y nanomateriales para mejorar las propiedades estructurales y reducir el impacto ambiental.

**BIM,** acrónimo de Building Information Modeling, abarca la utilización de la tecnología BIM en todas las fases de los proyectos de construcción, abarcando la



planificación, el diseño, la construcción y el mantenimiento. El objetivo es mejorar la cooperación entre diversos campos de estudio y maximizar el uso eficiente de los recursos.

Los sistemas de información geográfica (SIG) se utilizan para evaluar datos espaciales en los ámbitos de la planificación urbana y la gestión de infraestructuras.

Los diversos sectores mencionados ejemplifican el amplio alcance y la influencia significativa de la ingeniería civil en términos de sus aplicaciones tangibles. Este tema incluye no sólo la construcción de infraestructura esencial, sino también el deber de garantizar que estos proyectos se lleven a cabo con experiencia, integridad ética y sostenibilidad ecológica. Implica lograr un equilibrio pacífico entre las exigencias del avance humano y la conservación del ecosistema natural.

### **2.2.2.2 Fibras de Bambú**

Las fibras de bambú se obtienen del tallo de la planta de bambú y se clasifican como fibras naturales. Estas fibras proporcionan atributos excepcionales, como resistencia a la tracción, flexibilidad y durabilidad excepcionales, lo que las hace adecuadas para numerosas aplicaciones industriales y de construcción. El bambú, un tipo de pasto perenne, demuestra un crecimiento rápido y es bien conocido por su capacidad para regenerarse sin necesidad de replantar con frecuencia. Este atributo lo convierte en un recurso renovable y sostenible. (Rodríguez & González, 2019)

Los principales componentes de las fibras de bambú son la celulosa, la hemicelulosa y la lignina. La celulosa tiene la función de proporcionar a las fibras estabilidad estructural y rigidez, mientras que la hemicelulosa y la lignina contribuyen a la unión y la flexibilidad. Estas fibras se pueden adquirir por medios mecánicos o químicos, siendo la vía mecánica más respetuosa con el medio ambiente.

Las fibras de bambú tienen una fina estructura compuesta por fibrillas alineadas longitudinalmente, lo que les confiere una notable capacidad para absorber energía y soportar tensiones. Esta estructura también facilita una adhesión robusta con matrices

compuestas de diversos materiales, como cemento y polímeros, lo que los hace indispensables en la fabricación de compuestos reforzados.

Las fibras de bambú se emplean no sólo en la construcción sino también en la fabricación de textiles, papel y productos biodegradables. La industria textil valora mucho las fibras de bambú por su notable suavidad, propiedades antibacterianas y rápida absorción de la humedad. Estos atributos los convierten en una excelente opción para producir prendas y productos de cuidado personal.

En resumen, las fibras de bambú son un material versátil y ecológico que puede utilizarse en una amplia gama de industrias y proyectos de construcción. Son muy reconocidos por su naturaleza robusta y duradera, así como por sus atributos ecológicos.

### **Propiedades Mecánicas y Físicas**

Las fibras de bambú incluyen diversas características mecánicas y físicas que las hacen muy adecuadas para un amplio espectro de usos industriales y de construcción. Las siguientes son las principales características mecánicas y físicas de las fibras de bambú: (Colchado Contreras, 2023)

Características físicas y reacciones a estímulos mecánicos.

Las hebras de bambú poseen una resistencia a la tracción excepcional, lo que les permite soportar importantes presiones de estiramiento sin fracturarse. La resistencia a la tracción de las fibras de bambú suele oscilar entre 140 y 230 MPa, y este rango está influenciado por factores como la especie de bambú particular y el método de procesamiento empleado.

Las fibras de bambú poseen un módulo de elasticidad excepcionalmente alto, lo que significa su robusta rigidez y su notable capacidad para soportar tensiones sin distorsiones severas. Los números suelen oscilar entre 10 y 40 gigapascales (GPa).

La tenacidad se refiere a la notable resistencia de las hebras de bambú, lo que les permite absorber energía sin romperse. La calidad inherente del bambú lo convierte en una



excelente opción para aplicaciones que exigen materiales capaces de soportar impactos y cargas dinámicas.

Resistencia a la compresión: a pesar de que la resistencia a la compresión de las fibras de bambú es menor que su resistencia a la tracción, juega un papel vital en la mejora de la capacidad de carga de las estructuras reforzadas con estas fibras.

Los atributos físicos son cualidades discernibles o cuantificables de la materia que no modifican su composición química.

La densidad de las fibras de bambú es relativamente baja, oscilando a menudo entre 0,6 y 1,1 g/cm<sup>3</sup>. La baja densidad de estas fibras mejora la naturaleza liviana de los materiales compuestos derivados de ellas, lo que las hace ventajosas para aplicaciones que priorizan la reducción de peso.

Las fibras de bambú poseen una notable capacidad para absorber la humedad debido a su composición de celulosa. Este atributo puede resultar beneficioso en situaciones que requieran regulación de la humedad, pero también puede presentar dificultades en cuanto a mantener el tamaño y la robustez en ambientes húmedos.

Las fibras de bambú poseen una resistencia inherente a la biodegradación y la infestación de insectos como resultado de la presencia de lignina y otros químicos naturales, lo que las hace excepcionalmente duraderas. Sin embargo, es vital garantizar el cuidadoso mantenimiento de las fibras para asegurar su longevidad en escenarios de uso prolongado.

Las hebras de bambú poseen una baja conductividad térmica, lo que las hace beneficiosas en situaciones donde el aislamiento térmico es crucial. Esto resulta ventajoso en la construcción de estructuras residenciales y comerciales cuando es necesario regular la temperatura interior.

La estabilidad dimensional se refiere a la capacidad de las fibras de bambú para mantener su tamaño y forma. Si bien exhiben una estabilidad dimensional aceptable en entornos secos, pueden experimentar alteraciones de tamaño y forma cuando se exponen



a fluctuaciones de humedad. Este elemento debe considerarse tanto durante el proceso de instalación como durante el de administración.

Las fibras de bambú proporcionan una textura lujosa y un aspecto orgánico visualmente atractivo, lo que las hace muy buscadas por su valor estético en la producción de muebles y artículos ornamentales.

En resumen, las fibras de bambú proporcionan una combinación distintiva de características mecánicas y físicas que las hacen versátiles y útiles para una amplia gama de aplicaciones. Debido a su excepcional resistencia a la tracción, flexibilidad, baja densidad y durabilidad, son muy adecuados para su incorporación en materiales compuestos y productos sostenibles en una amplia gama de industrias, incluida la construcción.

### **Usos y Beneficios en la Estabilización de Suelos**

La utilización de fibras de bambú y ceniza de tallo de plátano ha demostrado su eficacia como materiales para la estabilización del suelo, proporcionando numerosas ventajas en términos de mejorar las características del suelo y promover la sostenibilidad ambiental. Este artículo ofrece una explicación elaborada de las aplicaciones y ventajas de varios materiales en el proceso de estabilización de suelos. (Calamani Flores & Quispe Yujra, 2023)

- **Refuerzo del suelo:** La adición de fibras de bambú al suelo mejora su capacidad para soportar tensiones y soportar cargas pesadas. A través de la integración de estas fibras, se forma una estructura reforzada que dispersa eficazmente las cargas de una manera más uniforme, lo que resulta en una menor deformación y una mayor estabilidad del suelo.
- **Cohesión mejorada:** la utilización de ceniza de tallo de plátano como agente aglutinante mejora las propiedades adhesivas del suelo. Cuando se combina con el suelo, esta ceniza sirve para ocupar los espacios vacíos entre las partículas del suelo, mejorando así la densidad y la resistencia a la compresión del suelo estabilizado.



- **Mitigación de la hinchazón:** Los suelos arcillosos y otros tipos de suelo propensos a la expansión pueden experimentar cambios sustanciales en el volumen debido a las fluctuaciones en los niveles de humedad, lo que podría provocar daños estructurales a los edificios construidos sobre ellos. Al incorporar ceniza de tallo de plátano y fibras de bambú, se puede reducir la tendencia del suelo a expandirse, mejorando así su estabilidad dimensional.
- **Control de la erosión:** La adición de fibras de bambú mejora la capacidad del suelo para resistir fuerzas de corte, lo que lo hace particularmente ventajoso en regiones propensas a la erosión, como las pendientes. Estas fibras sirven como refuerzo inherente, asegurando las partículas del suelo y disminuyendo la erosión del suelo causada por el agua y el viento.
- **La estabilización del suelo promueve la sostenibilidad ambiental** mediante la utilización de recursos naturales y renovables como fibras de bambú y cenizas de tallo de plátano. Esto promueve la adopción de métodos de construcción que sean ecológicamente sustentables. Estos materiales poseen un impacto ambiental reducido en comparación con los estabilizantes tradicionales como el cemento y la cal, y además son capaces de descomponerse de forma natural.
- **Reducción de costos:** La presencia de tallos de bambú y plátano cerca puede ahorrar en gran medida gastos relacionados con suministros y transporte. Esto es particularmente crucial en áreas donde abundan estos recursos, ya que permite un enfoque rentable para la estabilización del suelo.
- **Como resultado, esto da como resultado un piso más robusto y duradero** que puede soportar cargas más pesadas y condiciones desafiantes.
- **Resiliencia mejorada:** Los suelos suplementados con ceniza de tallo de plátano y fibras de bambú tienen una capacidad mejorada para soportar condiciones climáticas severas y variaciones en los niveles de humedad. Esto mejora la longevidad de las

- estructuras construidas en estos suelos, disminuyendo así la necesidad de mantenimiento y reparaciones frecuentes.
- Los materiales tienen la capacidad de emplearse en una amplia gama de tipos de suelo y situaciones geotécnicas debido a su versatilidad y multifuncionalidad. Debido a su alta adaptabilidad, son muy adecuados para proyectos de infraestructura en muchos entornos, como caminos rurales y el fortalecimiento de cimientos y subrasantes en carreteras.
  - Beneficios sociales y económicos: la utilización de estos recursos puede estimular el crecimiento económico dentro de la comunidad al generar un mercado para productos agrícolas y de bambú. Esto puede promover la creación de oportunidades de empleo y fortalecer los recursos financieros de las comunidades locales, fomentando así el progreso socioeconómico a largo plazo.
  - Disminución de la huella de carbono: Al integrar cenizas de tallo de plátano y fibras de bambú en la construcción, se reduce la dependencia de materiales que consumen mucha energía como el cemento. Se sabe que la producción de cemento emite cantidades importantes de CO<sub>2</sub>. Esto fomenta el avance de proyectos de infraestructura más sostenibles y la reducción de su huella ecológica.

### **2.2.3 Propiedades Mecánicas de la Subrasante**

Provocan una disminución de volumen sin colapsar; su resistencia a la tracción, que indica su resistencia a fuerzas que intentan estirarlo o alargarlo; y su módulo de elasticidad, que mide su rigidez y su capacidad para deformarse elásticamente bajo carga. (Laura Hanco, 2022)

Mientras que el asentamiento se refiere a los desplazamientos verticales que ocurren como consecuencia. La permeabilidad es la capacidad del suelo para permitir que el agua viaje a través de él, lo que afecta aspectos como la presión de los poros y la estabilidad. Estos rasgos son esenciales para el diseño y la construcción de infraestructura,



ya que garantizan que la Tierra pueda desempeñar eficazmente su función de proporcionar apoyo.

### **2.2.3.1 Resistencia a la Compresión**

Específicamente las presiones que comprimen la sustancia. El atributo al que se hace referencia se denomina resistencia última a la compresión, que representa la cantidad máxima de tensión de compresión que el material puede soportar antes de colapsar o experimentar una deformación permanente. La resistencia a la compresión es una propiedad vital de diversos materiales, incluidos el hormigón, la piedra y otros materiales de construcción. Evalúa su capacidad para soportar pesos y presiones compresivas sin fracturarse. (Amorós Morote & Bendezú Ulloa, 2019)

### **2.2.3.2 Resistencia a la Tracción**

Representa la tensión máxima que puede soportar antes de romperse. El atributo discutido es crucial para los materiales empleados en aplicaciones que requieren la capacidad de estirarse o alargarse, como metales, polímeros y fibras. La resistencia a la tracción es la capacidad de un material para resistir tensiones de tracción sin romperse. Este rasgo es crucial al desarrollar y evaluar estructuras y componentes que sufren tensiones de tracción. (Flores Ruiz & Romero Mendo, 2023)

### **2.2.3.3 Estabilidad y Durabilidad**

La estabilidad y durabilidad de los materiales y las construcciones tienen un impacto significativo en su rendimiento y vida útil, lo que los convierte en atributos cruciales.

La estabilidad se refiere a la capacidad de un edificio o sustancia para mantener su forma y propósito a pesar de enfrentar cargas fluctuantes y circunstancias ambientales, sin sufrir fallas o distorsiones notables. En ingeniería y construcción civil, la estabilidad se refiere a la capacidad de una estructura para soportar movimientos y fuerzas externas,

como viento, terremotos, cargas de tráfico y asentamientos del suelo, sin comprometer su integridad o rendimiento estructural. (Angulo Roldan & Zavaleta Papa, 2021)

La durabilidad se refiere a la capacidad de una sustancia o estructura para resistir la erosión, la descomposición y el deterioro resultantes de factores ambientales y operativos dentro de un período de tiempo específico. La resiliencia es la capacidad de resistir y no verse afectada por condiciones como la humedad excesiva, la degradación causada por reacciones químicas, la exposición a sustancias peligrosas, los efectos nocivos de la radiación ultravioleta y los cambios de temperatura. Un material duradero se define por su capacidad para conservar sus propiedades mecánicas y físicas durante un período prolongado, reduciendo así la necesidad de reparaciones frecuentes y prolongando la vida útil del edificio.

La estabilidad y la durabilidad son características esenciales para que un edificio soporte diversas cargas y circunstancias durante un período prolongado de tiempo. Estas características aseguran confiabilidad, eficiencia y ventajas de costos con respecto a los gastos asociados con los cargos de mantenimiento y reemplazo.

#### **2.2.3.4 Permeabilidad y Control de la Erosión**

La permeabilidad y el control de la erosión son elementos cruciales en el ámbito de la ingeniería del suelo y la gestión de la tierra. La permeabilidad se refiere a la propiedad inherente de una sustancia, como el suelo, que permite que los fluidos la atraviesen. La característica mencionada depende de la porosidad de la sustancia, que está determinada por las dimensiones e interconexión de los huecos o áreas vacías dentro del suelo. La permeabilidad se evalúa comúnmente en función de la velocidad a la que el agua fluye a través del suelo y es crucial en múltiples situaciones, como la gestión de aguas subterráneas, el diseño de sistemas de drenaje y el control de inundaciones. Un suelo con alta permeabilidad permite un rápido movimiento del agua, reduciendo así la acumulación de agua y la saturación del suelo. Sin embargo, también puede acelerar un agotamiento



significativo del agua, lo que quizás genere dificultades en algunas situaciones agrícolas y de construcción. (López & Ignacio, 2021)

El control de la erosión se refiere a las técnicas y enfoques utilizados para reducir el agotamiento del suelo debido al agua, el viento o las actividades humanas. La erosión del suelo puede provocar el agotamiento de la capa superior del suelo fértil, el deterioro de la tierra y daños a la infraestructura. Las medidas de control de la erosión implican el uso de cubiertas vegetales, barreras físicas, terrazas, zanjas de infiltración y la estabilización de suelos mediante la aplicación de materiales como geotextiles y mantos vegetales. En determinadas circunstancias se pueden incorporar sustancias estabilizantes como fibras de bambú o ceniza de tallo de plátano. Estas técnicas facilitan la reducción de la velocidad del agua superficial, promueven la infiltración de agua en el suelo y preservan la integridad del suelo para mitigar la erosión. En última instancia, esto mejora la estabilidad y durabilidad de terrenos y estructuras.

La permeabilidad es un factor vital en el flujo de agua a través del suelo, que es extremadamente importante para la gestión del agua y la estabilidad del suelo. Sin embargo, es esencial aplicar métodos de gestión de la erosión para minimizar la degradación del suelo y proteger la infraestructura y las tierras agrícolas. Ambos principios son cruciales en los ámbitos de la ingeniería civil, la gestión ambiental y la agricultura sostenible.

## **2.3 Marco conceptual**

### **2.3.1. Contenido de humedad**

El contenido de humedad hace referencia a la proporción de agua presente en una sustancia, como el suelo. Generalmente, se expresa como el porcentaje del peso de un objeto cuando se encuentra completamente seco. La porosidad del suelo es una propiedad fundamental que influye considerablemente en sus características físicas y mecánicas, tales como densidad, cohesión y capacidad de soporte. El contenido de humedad de un



material puede ser determinado a través de métodos como el secado en horno. (Aparicio & Andrés, 2020)

### **2.3.2. CBR**

El índice de capacidad de carga de California (CBR) es un método numérico que evalúa la resistencia a la penetración de suelos o materiales granulares bajo condiciones específicas. Actúa como un indicador de la capacidad portante del suelo. Expresado en porcentaje, permite medir la resistencia del terreno en relación con un material de referencia compactado. El CBR es un parámetro clave en el diseño y construcción de pavimentos y caminos, proporcionando información esencial sobre la resistencia del suelo subyacente y los materiales de base y subbase, que deben soportar cargas. (Cruzado de la Cruz & Rivera Chuñe, 2019)

### **2.3.3. Ceniza**

La ceniza es el residuo inorgánico que queda tras la combustión completa de material orgánico, como madera, carbón o plantas. La sustancia se compone principalmente de minerales, como silicatos, carbonatos y óxidos metálicos. La ceniza tiene características químicas y físicas que la hacen adecuada para una variedad de usos, como enmienda agrícola, material de construcción y estabilización de suelos. (Estupiñán & Caballero, 2020)

### **2.3.4. Estabilización**

La estabilización es el proceso de mejorar las propiedades físicas y mecánicas del suelo mediante la adición de productos químicos estabilizadores como cemento, cal, ceniza u otras sustancias. Este proceso mejora la capacidad del suelo para soportar peso, reduce su flexibilidad, controla la expansión y aumenta su longevidad, lo que lo hace más apropiado para la construcción de infraestructura como carreteras y edificios. (Pérez & Fernando, 2016)

### **2.3.5. Granulometría**

La granulometría se refiere a la organización y distribución del tamaño de las partículas dentro de un material, como tierra, arena, grava o limo. La determinación se logra analizando las partículas constituyentes de la sustancia y cuantificando la proporción en peso que aporta cada fracción al total. La granulometría es de suma importancia en la ingeniería civil, la geología y las ciencias del suelo debido a su influencia significativa en propiedades como la permeabilidad, la capacidad de carga y la estabilidad del material. (Shimokawa & Antonio, 2020)

### **2.3.6. Límites de consistencia**

Las limitaciones de consistencia se refieren a las propiedades inherentes de los suelos que dictan su respuesta al agua y su capacidad para alterar su forma. El límite líquido, el límite plástico y el índice de plasticidad se emplean para la categorización y evaluación de suelos en el campo de la ingeniería geotécnica y civil. (Amorós Morote & Bendezú Ulloa, 2019)

### **2.3.7. Tallo de banano**

El tallo del banano es el constituyente principal de la planta del banano que crece de manera erguida desde el suelo y ofrece refuerzo estructural a las hojas y al racimo de frutos. La estructura en cuestión es un órgano herbáceo y carnoso con una disposición fibrosa interna que proporciona soporte estructural a la planta. (Barboza et al., 2021)

### **2.3.8. Fibras de bambú**

Las fibras de bambú se obtienen de la arquitectura celular del bambú, una planta de rápido crecimiento y muy resistente. Estos filamentos están compuestos de fibras orgánicas. Estas fibras se utilizan en diversas aplicaciones industriales y artesanales



debido a su resistencia, versatilidad y propiedades ambientalmente benignas. (Vilca Apaza, 2022)

### **2.3.9. Proctor modificado**

La prueba Proctor modificada es un método ampliamente utilizado en ingeniería civil y geotécnica para evaluar la compactación óptima del suelo. El experimento consiste en someter muestras de suelo a compresión utilizando un molde designado, al mismo tiempo que se manipulan los niveles de humedad y se aplica una fuerza regulada para la compactación. Las pruebas de suelo tienen como objetivo. (Chinguel Delgado, 2020)



## CAPÍTULO III

### METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

#### 3.1 Diseño de la investigación

El diseño de la investigación se refiere a la metodología sistemática y organizada empleada por un investigador para llevar a cabo un estudio. Este enfoque implica la utilización de diversas herramientas y metodologías para investigar de forma exhaustiva y sistemática una cuestión o tema de investigación. (Amorós Morote & Bendezú Ulloa, 2019)

Este diseño permitirá comparar los resultados obtenidos con diferentes porcentajes de los materiales mencionados, para establecer si mejoran las características de la subrasante en términos de resistencia, durabilidad y capacidad de carga. El diseño experimental incluye la manipulación de variables independientes (porcentajes de ceniza y fibras) y el control de factores externos que puedan influir en los resultados, asegurando así que las diferencias observadas se deban exclusivamente a la intervención experimental. Esta metodología permitirá identificar las proporciones más adecuadas de estos materiales para su aplicación en futuras obras viales.

### 3.2 Método de la investigación

Los enfoques de investigación se refieren al punto de vista o la estructura teórica empleada para investigar un tema o una pregunta de investigación en un estudio o proyecto, según lo dilucidado. La elección de la metodología de investigación puede variar dependiendo del campo académico, el tema investigado y los objetivos específicos de la investigación. (Reyes, 2022)

El método utilizado en este estudio será de tipo experimental, ya que implica la modificación directa de las condiciones del suelo (subrasante) mediante la adición de diferentes proporciones de ceniza de tallo de banano y fibras de bambú. A través de la realización de pruebas controladas en laboratorio y en campo, se evaluarán las propiedades mecánicas de la subrasante, tales como la resistencia al corte, la capacidad de carga y la estabilidad. Este método permitirá obtener datos concretos y medibles sobre el impacto de estos materiales en la mejora del suelo, generando resultados que pueden ser replicables y válidos para su aplicación en contextos similares.

### 3.3 Nivel y tipo de la investigación

#### 3.3.1 Nivel de la investigación

Los títulos académicos significan el grado de comprensión y profundidad de la investigación necesaria para abordar un tema que requiere investigación y/o resolución. La diversidad de un estudio puede variar según los objetivos de la investigación y las características del tema. (Reyes, 2022)

El nivel de la investigación es explicativo, ya que no solo se busca describir el comportamiento de la subrasante con la inclusión de los materiales mencionados, sino también explicar el porqué de los cambios observados en sus propiedades. Este nivel de investigación permite establecer relaciones causales entre los porcentajes de ceniza de tallo de banano y fibras de bambú y las mejoras en las características del suelo. Al ser una investigación de carácter explicativo, se pretende entender a profundidad los mecanismos

por los cuales estos materiales influyen en la estabilidad y resistencia del pavimento, proporcionando bases para futuras recomendaciones en el uso de materiales alternativos en la construcción de carreteras.

### **3.3.2 Tipo de la investigación**

El tipo de investigación es cuantitativo, dado que se trabajará con datos numéricos obtenidos a través de experimentos de laboratorio y pruebas de campo. Se medirán variables como la resistencia al esfuerzo cortante, la densidad, y el módulo resiliente de la subrasante, tanto con cómo sin la adición de los materiales alternativos. A través de estas mediciones se podrán realizar comparaciones objetivas y determinar el impacto de los distintos porcentajes de ceniza de banano y fibras de bambú en las propiedades del suelo. El enfoque cuantitativo garantiza la precisión y la objetividad en los resultados, lo cual es fundamental para validar las hipótesis planteadas.

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

### **3.4.1 Población**

La población se refiere al conjunto completo de individuos, entidades o sucesos que poseen una característica compartida dentro de una región o situación geográfica específica. Desde el punto de vista demográfico, la población se define como el conjunto de individuos que viven actualmente en un lugar concreto en un momento determinado. Es el principal objeto de estudio en diversos campos como la sociología, la estadística y la epidemiología. (Ojeda, 2020)

La población en este estudio está compuesta por el suelo de subrasante de la carretera Arapa – Azángaro, abarcando todo el tramo que será sometido a estudio. Este tramo de carretera presenta condiciones geotécnicas particulares que hacen relevante la inclusión de nuevos materiales como la ceniza de tallo de banano y fibras de bambú para mejorar su estabilidad. El estudio se focalizará en este tipo de suelo, cuyas características

iniciales serán evaluadas antes de realizar las modificaciones con los materiales experimentales. Al trabajar en esta carretera, se pretende generar conclusiones que puedan ser aplicadas en otras vías con suelos de similares características en la región.

### Figura 1

*Mapa ubicación del distrito de Azángaro*



#### 3.4.2 Muestra

Una muestra es un subconjunto de una población más amplia que se elige para representar y facilitar el proceso de estudio o investigación. El proceso de selección de la muestra debe realizarse de forma que represente con precisión las características y la variedad de la población de la que se extrae. Esto permitirá obtener conclusiones precisas y fiables sobre toda la población.

La muestra estará constituida por una selección de muestras de suelo extraídas de diferentes puntos representativos a lo largo del tramo de la carretera Arapa – Azángaro. Estas muestras serán sometidas a pruebas de laboratorio para evaluar sus propiedades físicas y mecánicas antes y después de la adición de los porcentajes variables de ceniza de tallo de banano y fibras de bambú. El tamaño de la muestra será determinado en función de la longitud del tramo y la homogeneidad del suelo, asegurando que sea lo

suficientemente representativa para obtener resultados concluyentes. Además, se seleccionarán tramos específicos donde se realizarán las intervenciones experimentales en campo, para evaluar el comportamiento del pavimento en condiciones reales.

**Tabla 2***Cantidad de muestras resistencia a la compresión*

| Descripción      | Granulometría | LL | LP | IP | Grado Compactación | CBR |
|------------------|---------------|----|----|----|--------------------|-----|
| SN               | 2             | 3  | 3  | 3  | 2                  | 2   |
| SN + 3%CTB y FB  | 2             | 3  | 3  | 3  | 2                  | 2   |
| SN + 5% CTB y FB | 2             | 3  | 3  | 3  | 2                  | 2   |
| SN + 7% CTB y FB | 2             | 3  | 3  | 3  | 2                  | 2   |

**Nota:** SN (suelo natural), CTB (ceniza de tallo de banano) y FB (fibra de bambú)

### 3.5 Técnicas e instrumentos

#### 3.5.1 Técnicas

La metodología de investigación hace referencia a los métodos y procesos específicos, los cuales incluyen herramientas y procedimientos especializados que un investigador utiliza para recolectar, analizar y aclarar información con el propósito de responder a preguntas de investigación o comprobar hipótesis. Las estrategias empleadas en la investigación juegan un rol clave dentro del proceso, ya que permiten a los investigadores obtener datos precisos y confiables. Estas estrategias son fundamentales para garantizar que la información recolectada sea válida y relevante para el estudio en curso. (Medina et al., 2023)

- Muestras de los materiales utilizados
- Ensayos realizados en laboratorio
- Elaboración de las unidades de albañilería
- Pruebas de roturas de especímenes

### **3.5.2 Instrumentos de recolección de datos investigación**

Los instrumentos de recolección de datos en una investigación son las herramientas o métodos utilizados para obtener información precisa y relevante sobre las variables estudiadas. Estos instrumentos permiten recopilar datos de manera sistemática y controlada, garantizando que la información obtenida sea representativa y adecuada para el análisis. En el contexto de investigaciones cuantitativas, los instrumentos pueden incluir encuestas, cuestionarios, pruebas estandarizadas, sensores o dispositivos de medición en laboratorio y campo. Por otro lado, en investigaciones cualitativas, se pueden emplear entrevistas, observación participante o registros visuales. La selección del instrumento adecuado depende del tipo de datos que se necesiten y del enfoque metodológico de la investigación.

En estudios geotécnicos como el análisis de la subrasante, los instrumentos de recolección de datos suelen incluir equipos de laboratorio que permiten medir características físicas del suelo, como su capacidad de carga, humedad y resistencia al corte. También pueden emplearse herramientas de campo para obtener muestras representativas del suelo, que luego serán analizadas en laboratorio. La correcta selección y uso de estos instrumentos es fundamental para garantizar que los datos recolectados sean precisos y útiles para validar las hipótesis planteadas en la investigación.

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

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

La validación de instrumentos es un proceso que garantiza que las herramientas de recolección de datos utilizadas en una investigación sean adecuadas para medir lo que realmente se pretende estudiar. Este proceso implica la verificación de la validez del instrumento, que se refiere a su capacidad para reflejar con precisión las características o fenómenos bajo estudio. La validación puede realizarse a través de varios enfoques, como la validez de contenido, donde se evalúa si los elementos del instrumento cubren de

manera completa el dominio de lo que se quiere medir; o la validez de criterio, que compara los resultados del instrumento con otras medidas reconocidas para confirmar su eficacia. La validación es crucial para evitar sesgos o errores que puedan comprometer los resultados.

En investigaciones geotécnicas, validar los instrumentos de medición es particularmente importante, ya que cualquier error en la medición de parámetros como la resistencia del suelo o su humedad puede llevar a conclusiones erróneas sobre la estabilidad de una subrasante o la efectividad de los materiales utilizados para su mejora. Por ello, se deben utilizar procedimientos rigurosos para asegurar que los equipos y técnicas empleados proporcionen datos confiables y consistentes con la realidad de las condiciones estudiadas.

### **3.6.2 Confiabilidad de instrumentos**

La confiabilidad de los instrumentos de recolección de datos se refiere a su capacidad para proporcionar resultados consistentes cuando se utilizan repetidamente bajo las mismas condiciones. Un instrumento es confiable si, al aplicarse en varias ocasiones sobre el mismo fenómeno o variable, produce resultados similares o idénticos. La confiabilidad se puede evaluar a través de diversas técnicas, como el test-retest, donde el instrumento se aplica dos veces a los mismos sujetos y se comparan los resultados, o el análisis de consistencia interna, que verifica si los diferentes ítems del instrumento miden coherentemente la misma variable.

En estudios geotécnicos, como los relacionados con el comportamiento de la subrasante en carreteras, la confiabilidad de los instrumentos de medición es esencial para garantizar que los datos obtenidos en diferentes pruebas o condiciones sean replicables. Un instrumento que no es confiable puede llevar a variaciones en los resultados que no reflejan las verdaderas condiciones del suelo, comprometiendo la validez del estudio y las

decisiones de diseño basadas en esos datos. Por lo tanto, garantizar la confiabilidad es un paso fundamental para cualquier investigación rigurosa.

### 3.7. Procedimientos de Recolección de Datos

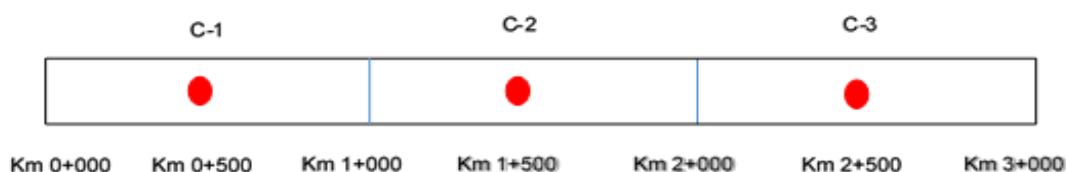
#### 3.7.1. Selección de Calicatas

La selección de calicatas en una investigación geotécnica es un proceso clave que implica la determinación de los puntos estratégicos donde se realizarán excavaciones para obtener muestras de suelo. Las calicatas son pequeñas excavaciones que permiten acceder a las capas más profundas del suelo, facilitando el análisis de sus propiedades físicas y mecánicas. Para seleccionar las calicatas, es fundamental considerar factores como la homogeneidad del suelo, la extensión del área de estudio y las condiciones geotécnicas específicas de la zona. Este proceso debe planificarse cuidadosamente para asegurar que las muestras obtenidas sean representativas del terreno en su totalidad.

El número y ubicación de las calicatas dependerán del tamaño del área de estudio y de la variabilidad esperada del suelo. En una investigación comparativa sobre subrasantes mejoradas con ceniza de banano y fibras de bambú, la correcta selección de calicatas permitirá evaluar cómo las diferentes zonas de la carretera reaccionan ante estos materiales, proporcionando datos cruciales para el diseño de pavimentos. Es importante que las calicatas se ubiquen en lugares que representen diferentes condiciones de la subrasante, para obtener una visión completa del comportamiento del suelo en toda el área de estudio.

#### Figura 2

*Marcación de los puntos de exploración*



**Tabla 3***Datos estructurales de las calicatas*

| Calicata | Tramo             | Km     | Margen    |
|----------|-------------------|--------|-----------|
| 01       | 00 + 000 – 01+000 | 00+500 | Derecho   |
| 02       | 01+ 000 – 02+000  | 01+500 | Izquierdo |
| 03       | 02+000 – 03+000   | 02+500 | Derecha   |

La tabla delinea la ubicación de tres pozos, incluida la sección, el kilómetro y el margen de cada uno. El foso 01 está situado en el tramo 00+000 – 01+000, precisamente en el kilómetro 00+500, en el margen derecho de la calzada. El pozo 02 está situado en el tramo 01+000 – 02+000, en el kilómetro 01+500, en el margen izquierdo. El pozo 03 está situado en el tramo 02+000 – 03+000, en el kilómetro 02+500, en la margen derecha. Esta distribución delinea la posición exacta de cada pozo en varias partes y límites de la carretera, lo que facilita evaluaciones geotécnicas confiables. La incorporación de datos de las orillas derecha e izquierda aclara la posición lateral de los tajos en relación con la carretera, lo cual es crucial para la planificación de las actividades de exploración y evaluación del terreno.

**Tabla 4***Detalles de puntos de exploración*

| Exploración | Estratos         | Profundidad                | Este      | Este       |
|-------------|------------------|----------------------------|-----------|------------|
| C - 1       | E – 01<br>E – 02 |                            |           |            |
| C - 2       | E – 01<br>E – 02 | 0.00 – 0.60<br>0.60 – 1.50 | 380506.20 | 8289442.00 |
| C - 3       | E – 01<br>E – 02 | 0.00 – 0.40<br>0.90 – 1.70 | 360411.30 | 8285474.50 |

La tabla describe los sitios de exploración, incluidas las profundidades y coordenadas de los estratos en tres ubicaciones específicas: C-1, C-2 y C-3. En C-1, el primer estrato (E-

01) oscila entre 0,00 y 0,80 m de profundidad, mientras que el siguiente estrato (E-02) oscila entre 0,80 y 1,50 m. Las coordenadas pertinentes son 379819,00 (Este) y 8288711,60 (Norte). En C-2, el primer estrato alcanza una profundidad de 0,60 m, mientras que el siguiente estrato alcanza una profundidad de 1,50 m, ubicado entre las coordenadas 380506.20 (Este) y 8289442.00 (Norte). En C-3, el primer estrato alcanza una profundidad de 0,40 m, mientras que el siguiente estrato desciende hasta 1,70 m, situado entre las coordenadas 360411.30 (Este) y 8285474.50 (Norte). Esta información es crucial para identificar los estratos del suelo y sus posiciones exactas, permitiendo evaluaciones exhaustivas de las características geotécnicas del terreno en cada área de exploración.

### Figura 3

*Punto de emplazamiento de la calicata 01*



**Figura 4**

*Punto de emplazamiento de la calicata 02*



**Figura 5**

*Punto de emplazamiento de la calicata 03*



### 3.7.2. Toma de muestras

El muestreo es el procedimiento de adquirir segmentos representativos de un material, sustancia o medio para proporcionar una investigación o evaluación integral. Este enfoque es esencial en varios campos, incluida la ingeniería, la geología y la ciencia de los materiales, ya que facilita la evaluación de las características físicas y químicas del tema bajo investigación sin necesidad de un análisis exhaustivo de todo el material. Para garantizar la confiabilidad y generalización de los hallazgos, la muestra debe reflejar con precisión las características de la población de la que se deriva.

Existen diversas estrategias de muestreo, dependiendo del tipo de material y los objetivos de la investigación. En el ámbito geotécnico se utilizan técnicas como la extracción de muestras tanto modificadas como no afectadas. El primer grupo comprende entidades que pueden experimentar alteraciones en sus características a lo largo del proceso de recolección, mientras que la segunda categoría mantiene sus atributos originales. El enfoque elegido dependerá del análisis realizado, incluida la compactación, el contenido de humedad o la resistencia al corte, entre otras variables.

El muestreo sistemático y eficiente es esencial para garantizar la calidad y confiabilidad de los datos recopilados. En consecuencia, es fundamental cumplir con estrictas directrices que garanticen la coherencia del proceso y eviten cualquier contaminación o modificación de las muestras. La gestión y el almacenamiento eficaces de estas muestras son cruciales para mantener sus características hasta que se realice el examen de laboratorio.

### 3.7.3. Ensayos de Laboratorio

#### i. Análisis granulométrico

El análisis granulométrico es un método crucial en ingeniería civil y geotecnia que evalúa la distribución del tamaño de las partículas del suelo o agregado. Esta evaluación es crucial para comprender las características físicas del suelo, incluido su potencial de compactación, permeabilidad e integridad estructural. La granulometría influye



significativamente en el comportamiento del suelo bajo diversas circunstancias de carga, y sirve como un elemento crucial en el diseño de proyectos de infraestructura como carreteras, pavimentos, edificios y presas.

El procedimiento se ejecuta utilizando dos técnicas principales: tamizado e hidrometría. Las partículas del suelo se separan haciéndolas pasar a través de tamices con diferentes aperturas y se documentan los pesos de las fracciones obtenidas en cada tamiz. El análisis hidrométrico clasifica las partículas finas evaluando su velocidad de sedimentación en un medio líquido, permitiendo así clasificar tamaños que no son separables por tamices. Este enfoque genera una curva granulométrica que ilustra la distribución acumulativa de tamaños de partículas, proporcionando información esencial para la categorización del suelo y su uso para diversos fines.

El análisis granulométrico es crucial en la construcción de carreteras para el diseño de pavimentos y capas de subrasante, ya que una distribución adecuada del tamaño de las partículas mejora la compactación y la resistencia del suelo, que son vitales para la longevidad de la estructura.

## ii. **Contenido de humedad**

El porcentaje se calcula evaluando el contenido de agua en una muestra de suelo o material y comparándolo con el peso de la sustancia anhidra. Este aspecto es crucial para evaluar las cualidades mecánicas y físicas del suelo, ya que la humedad influye en la cohesión, la flexibilidad, la capacidad de carga y la propensión del material a expandirse o contraerse.

El contenido de humedad afecta profundamente la compactación y la estabilidad del suelo, que son consideraciones esenciales en la construcción de carreteras, pavimentos y muchos tipos de infraestructura. La humedad excesiva del suelo puede provocar inestabilidad, aumentando el riesgo de asentamiento diferencial y reduciendo la capacidad de carga. Los niveles de humedad insuficientes pueden dificultar la compactación adecuada del suelo, poniendo en peligro la integridad estructural del edificio

terminado. La evaluación precisa del contenido de humedad es esencial en el diseño y ejecución de cualquier proyecto de ingeniería civil.

El contenido de humedad a menudo se evalúa mediante el método de secado en horno, en el que se pesa una muestra de suelo antes y después del secado a una temperatura constante de 110 °C hasta lograr un peso estable. Este procedimiento asegura la completa evaporación del agua dentro de los poros del suelo, lo que resulta en una medición precisa. El buen control de este parámetro durante las fases de diseño y construcción garantiza la estabilidad de la estructura a largo plazo, minimizando el riesgo de averías asociadas a las variaciones de la humedad del suelo.

### iii. Límites de consistencia.

#### LL – limite liquido

El muestreo es el proceso de obtener porciones representativas de un material, sustancia o medio con el fin de realizar análisis o evaluaciones adicionales. Esta metodología es crucial en varias disciplinas, como la ingeniería, la geología y la ciencia de los materiales, ya que facilita la determinación de las propiedades físicas y químicas del tema que se examina sin requerir una evaluación exhaustiva de todo el material. Para garantizar que los resultados sean confiables y generalizables, la muestra debe ser representativa y reflejar fielmente las características de la comunidad de la que se extrae.

Existen numerosas técnicas de muestreo, dependiendo del tipo de material y los objetivos de la investigación. En el campo geotécnico se utilizan técnicas como la extracción de muestras alteradas y no alteradas. El primer grupo está formado por individuos que pueden sufrir cambios en sus características a lo largo del proceso de recolección, mientras que el segundo grupo conserva sus propiedades originales. El método seleccionado dependerá del análisis a realizar, incluida la compactación, el contenido de humedad o la resistencia al corte, entre otros factores.

El muestreo sistemático y preciso es crucial para garantizar la calidad y confiabilidad de los datos recopilados. Por ello, es fundamental seguir protocolos rigurosos

que aseguren la uniformidad del proceso y eviten cualquier contaminación o alteración de las muestras. El correcto manejo y conservación de estas muestras es fundamental para conservar sus características hasta el análisis de laboratorio.

### **LP – límite plástico**

Demostrando su maleabilidad sin fracturarse. El suelo tiene humedad suficiente para darle forma manteniendo su cohesión y sin presentar características líquidas. El límite plástico es esencial para comprender el comportamiento del suelo bajo carga y deformación en proyectos de ingeniería civil y geotécnica.

El límite plástico se determina en un laboratorio combinando una muestra de suelo con agua y moldeándola en un cilindro estrecho. El contenido de humedad al cual el suelo puede conservar una forma cilíndrica de aproximadamente 3 mm de diámetro sin desintegrarse se conoce como límite plástico. Esta cifra permite categorizar el suelo según su plasticidad y, al igual que el límite líquido, proporciona información crítica sobre la estabilidad del suelo y su capacidad de carga en diferentes condiciones de humedad.

Esta propiedad es esencial en la construcción de estructuras de cimientos, caminos y pavimentos, ya que los suelos con un límite plástico bajo exhiben una mayor fragilidad y susceptibilidad a fracturarse bajo tensión. Por el contrario, los suelos con un límite plástico alto tienen mayor flexibilidad; sin embargo, pueden experimentar deformaciones significativas bajo cargas, comprometiendo la integridad estructural de los edificios construidos sobre ellos. Comprender el límite plástico permite a los ingenieros predecir el comportamiento del suelo in situ y, por lo tanto, orientar los métodos de estabilización necesarios para evitar fallas estructurales.

### **Índice de plasticidad (IP).**

El índice de plasticidad (PI) es una métrica esencial en la caracterización del suelo, que se utiliza para evaluar la capacidad de un suelo de deformación plástica en diferentes



condiciones de humedad. Este índice delinea el rango de contenido de agua que permite que el suelo se moldee o altere sin fracturarse, demostrando así plasticidad. El índice de plasticidad se determina restando el límite plástico del límite líquido de un suelo, que son dos parámetros que definen los estados de consistencia del suelo según su contenido de humedad.

El valor del índice de plasticidad ofrece información crítica sobre la composición mineral del suelo y su capacidad de retención de agua. Los suelos con un alto índice de plasticidad suelen tener una mayor concentración de minerales arcillosos, lo que mejora su capacidad para almacenar agua y mantener la cohesión bajo niveles fluctuantes de humedad. Estos suelos suelen ser más flexibles, aunque también son más propensos a sufrir deformaciones y asentamientos considerables bajo las cargas, poniendo así en peligro la estabilidad estructural de los edificios construidos sobre ellos. Un índice de plasticidad bajo indica que el suelo tiene una capacidad de deformación plástica limitada y demuestra una sensibilidad disminuida a una absorción significativa de agua, a menudo relacionada con suelos arenosos o limosos que son más frágiles y menos cohesivos.

El índice de plasticidad es fundamental en el diseño y estudio de construcciones geotécnicas, incluyendo caminos, cimentaciones y pavimentos, ya que refleja la capacidad del suelo para soportar deformaciones sin fallar. Los suelos con altos índices de plasticidad pueden necesitar métodos de estabilización especializados, como aditivos químicos o sistemas de drenaje, para mitigar los problemas relacionados con la expansión o contracción del suelo. Por el contrario, los suelos que exhiben índices de plasticidad bajos pueden necesitar mejoras para aumentar su cohesión y resistencia. Este índice ayuda a los ingenieros a tomar decisiones informadas sobre el tratamiento y la aplicación del suelo en proyectos de infraestructura, garantizando así la integridad y seguridad a largo plazo de las estructuras.



#### iv. **Proctor modificado**

La prueba Proctor modificada es un procedimiento de laboratorio que se utiliza para determinar la densidad seca máxima que puede alcanzar el suelo durante la compactación, junto con el contenido de humedad necesario para alcanzar esa densidad. Esta prueba es esencial en proyectos de ingeniería civil y geotécnicos, ya que identifica las condiciones óptimas de compactación para los suelos utilizados en la construcción de terraplenes, subrasantes, bases de carreteras y otras estructuras de cimientos. La compactación eficaz del suelo garantiza su capacidad de carga y su estabilidad duradera.

La prueba consiste en compactar tierra en capas dentro de un molde estándar con un martillo más pesado que el utilizado en la prueba Proctor convencional. En la prueba Proctor modificada, se deja caer un martillo de 4,5 kg desde una altura de 45 cm, lo que provoca muchas colisiones con cada capa. Esta energía de compactación aumentada reproduce circunstancias más extremas como las que se observan en proyectos de infraestructura a gran escala. La prueba se realiza a varios niveles de humedad para determinar el punto de máxima densidad seca.

Los resultados de la prueba Proctor modificada son esenciales para el diseño e implementación de técnicas de compactación en campo, ya que proporcionan los requisitos necesarios para garantizar una compactación adecuada del suelo en entornos regulados. Esto mitiga el riesgo de asentamiento, mejora la estabilidad y aumenta la capacidad de carga del suelo, esencial para la seguridad y longevidad de las infraestructuras.

#### v. **CBR**

El California Bearing Ratio (CBR) es una evaluación que cuantifica la capacidad de carga de suelos y materiales granulares en circunstancias reguladas. Esta evaluación fue creada por el Departamento de Transporte de California y se utiliza ampliamente en el diseño de pavimentos para carreteras y aeropuertos.

El proceso implica comprimir una muestra de suelo y luego aplicar una carga regulada mediante un pistón cilíndrico. La resistencia del suelo se evalúa comparándola con un material de referencia de alto rendimiento, a menudo piedra triturada o suelo bien compactado. El resultado de la prueba se presenta como un porcentaje, con un índice de carga de California (CBR) del 100%, lo que significa que el suelo tiene una resistencia equivalente a la del material de referencia. Lecturas reducidas, como 5% o 10%, indican que el suelo tiene una capacidad de carga disminuida, lo que requiere estabilización o mayor espesor en las capas de pavimento para acomodar el tráfico.

Los valores de California Bearing Ratio (CBR) son esenciales para el diseño y la construcción de pavimentos, ya que determinan el espesor requerido de las capas estructurales, incluidas la subbase y la base, garantizando así la resistencia y el rendimiento de la carretera. Un CBR bajo puede necesitar mejorar el suelo mediante técnicas de compactación o el uso de estabilizadores como cal, cemento o cenizas para aumentar su resistencia y asegurar la estabilidad a largo plazo.

## vi. Compactación

La compactación es el proceso de mejorar la densidad del suelo disminuyendo su volumen de aire mediante la aplicación de energía externa, como impactos, vibraciones o presión estática.

Durante la compactación, aumenta la densidad seca del suelo, definida como la masa de partículas sólidas con respecto a todo el volumen del suelo, excluyendo el agua y el aire. La eficacia de la compactación depende del tipo de suelo, el contenido de humedad y la técnica utilizada. Los suelos granulares, como arenas y gravas, tienen una mayor capacidad de respuesta a la compactación vibratoria, mientras que los suelos cohesivos, como las arcillas, necesitan impacto o presión estática para alcanzar la densidad adecuada.

El nivel de compactación apropiado se establece mediante pruebas de laboratorio, incluidas las pruebas Proctor estándar y Proctor modificada, que evalúan la relación ideal



entre el contenido de humedad y la densidad seca máxima. Una compactación efectiva garantiza que el suelo pueda soportar cargas estructurales sin deformaciones o asentamientos significativos, asegurando así la durabilidad y seguridad de la infraestructura construida sobre él.

### **3.8. Procesamiento y Análisis de la Información**

Comprende el procesamiento y análisis de datos pertenecientes a las diversas tareas técnicas y metodológicas ejecutadas para organizar, depurar, interpretar y dilucidar la información adquirida del estudio.

El procesamiento de la información comienza con la recopilación de datos brutos de pruebas de laboratorio y de campo, mediante los cuales se evalúan las propiedades de la subrasante antes y después de la incorporación de ceniza de tallo de plátano y fibras de bambú. Estos datos, incluida la resistencia, la humedad, la compactación y otras propiedades mecánicas, se organizan sistemáticamente en tablas y bases de datos, excluyendo valores atípicos o números erróneos para mantener la calidad. Este procesamiento garantiza que la información esté preparada para un examen exhaustivo, lo que facilita la generación de hallazgos confiables.

Por el contrario, la evaluación de la información requiere el uso de métodos estadísticos y de comparación para conocer la influencia de diferentes porcentajes de material sobre las características de la subrasante. El análisis revela patrones, tendencias y diferencias notables entre las muestras que contienen cenizas y fibras y aquellas que no las contienen. Este estudio nos permite determinar las cantidades de estos componentes que mejoran de manera más efectiva la capacidad de carga, la resistencia a la deformación y otras cualidades críticas del suelo. Los hallazgos analíticos validan los supuestos propuestos y brindan sugerencias para el uso de estos materiales en futuros esfuerzos de construcción de carreteras.



## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1 Resultados alcanzados a través de los estudios

Los resultados obtenidos de los estudios se refieren a los descubrimientos y conclusiones generados por las investigaciones, experimentos o análisis realizados en una disciplina académica concreta. Estos hallazgos significan el resultado final del procedimiento de recopilación y análisis de datos y son cruciales para abordar las preguntas de investigación que se plantearon inicialmente al principio de la investigación.

Los resultados pueden incluir avances científicos, nuevas ideas, pruebas empíricas, relaciones entre variables, estadísticas descriptivas o inferenciales, patrones observables, interpretaciones de datos y conclusiones relacionadas con la hipótesis o los objetivos del estudio.

##### 4.1.1 *Propiedades del suelo encontrado en la vía Arapa – Azángaro*

Los datos visualizados en este capítulo nos dan a conocer una serie de datos concernientes a las propiedades de los suelos que están ubicados en la zona de Arapa hacia Azángaro.

### a. Presencia de humedad

**Tabla 5**

*Distribución de humedad en el terreno*

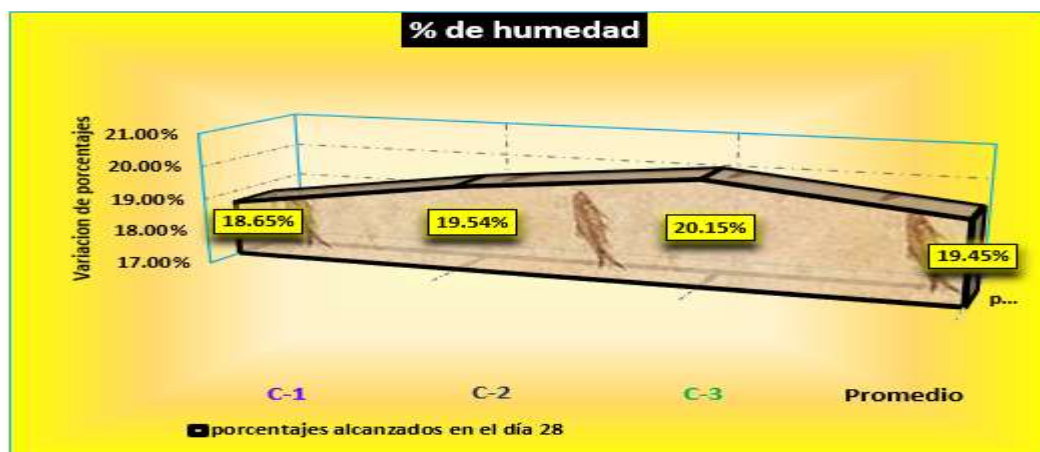
| humedad (%)  |              |
|--------------|--------------|
| Calicata     | (%) Humedad  |
| CI           | 18.65        |
| CII          | 19.54        |
| CIII         | 20.15        |
| <b>Media</b> | <b>19.45</b> |

La tabla muestra la distribución de humedad en tres calicatas ubicadas en un terreno específico. Los valores de humedad (%) obtenidos en cada calicata son los siguientes: en la Calicata I (CI), la humedad es del 18.65%; en la Calicata II (CII), se registra un valor de 19.54%; mientras que la Calicata III (CIII) presenta el porcentaje más alto, con un 20.15%.

La tabla también incluye el promedio de humedad de las tres calicatas, que es de 19.45%. Este promedio proporciona una referencia general sobre el contenido de humedad del terreno estudiado, permitiendo comparaciones con otras áreas o condiciones del suelo. La variación en los valores de humedad entre las calicatas puede deberse a diferencias locales en la capacidad de retención de agua, la composición del suelo o las condiciones ambientales. Estos datos son importantes para entender el comportamiento del suelo y su preparación para obras de infraestructura.

**Figura 6**

*Monitoreo del nivel de humedad en las calicatas*



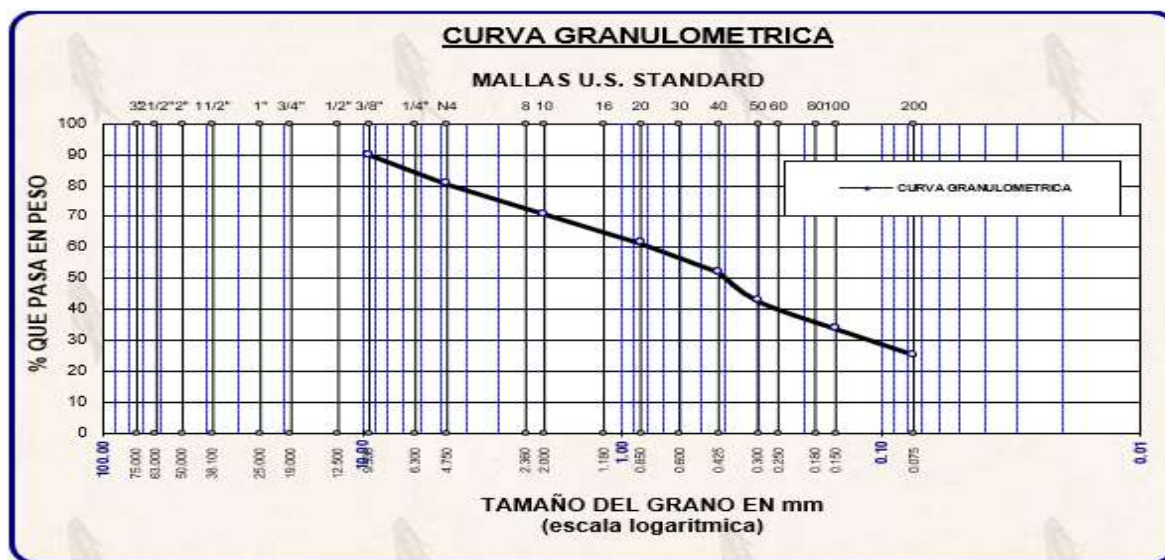
El gráfico ilustra la variación de los porcentajes de humedad en tres calicatas (C-1, C-2 y C-3), junto con el valor promedio alcanzado. Los porcentajes de humedad registrados en el día 28 son los siguientes: C-1 muestra un porcentaje de 18.65%, C-2 presenta 19.54%, y C-3 tiene el valor más alto, con 20.15%. El promedio general de las tres calicatas es de 19.45%.

Este gráfico tridimensional destaca la variación en los niveles de humedad entre las calicatas y visualiza cómo las condiciones del suelo afectan la retención de agua. La línea que conecta los valores muestra una tendencia ascendente desde C-1 a C-3, lo que sugiere una posible diferencia en las propiedades del suelo o en la absorción de agua entre las áreas muestreadas. El promedio de 19.45% proporciona un valor de referencia útil para comparaciones adicionales en el análisis del comportamiento del suelo en diferentes condiciones.

### b. Análisis granulométrico

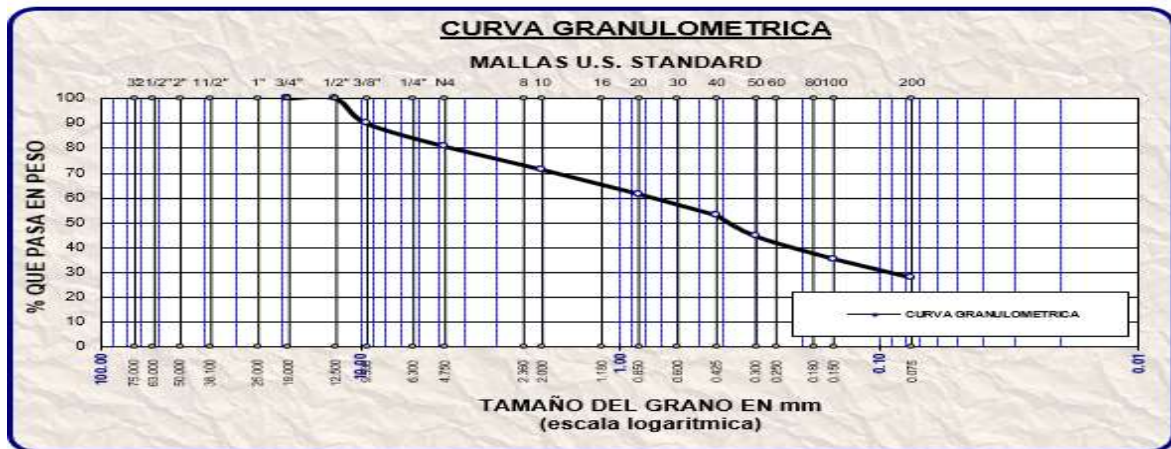
Figura 7

*Evaluación de tamaños de partículas en calicata 1*



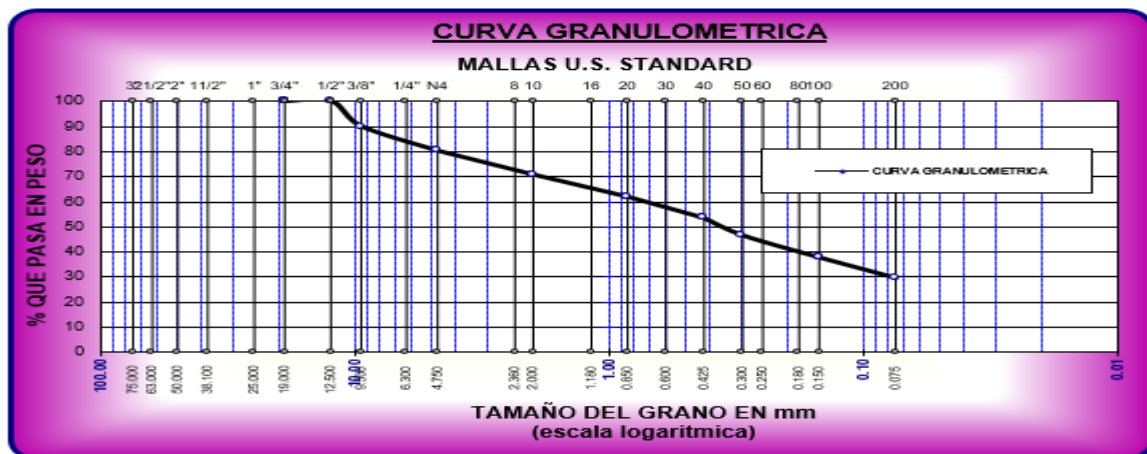
**Figura 8**

*Evaluación de tamaños de partículas en calicata 2*



**Figura 9**

*Evaluación de tamaños de partículas en calicata 3*



**c. Índice de plasticidad**

**Tabla 6**

*Caracterización plástica de muestras naturales*

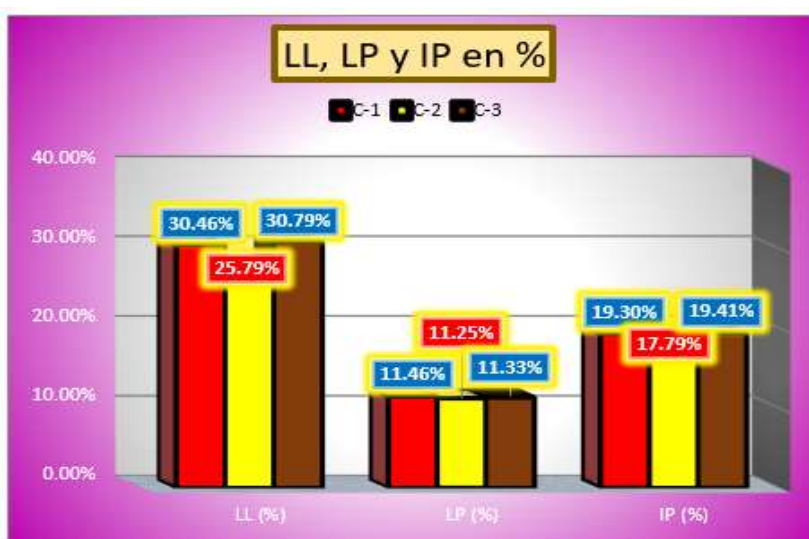
| Calicata     | Límites-Subrasante |        |               |
|--------------|--------------------|--------|---------------|
|              | LL (%)             | LP (%) | IP (%)        |
| C-1          | 30.46%             | 11.46% | 19.30%        |
| C-2          | 25.79%             | 11.25% | 17.79%        |
| C-3          | 30.79%             | 11.33% | 19.41%        |
| <b>Media</b> | -                  | -      | <b>19.39%</b> |

La tabla presenta la caracterización plástica de muestras naturales obtenidas de tres calicatas (C-1, C-2 y C-3) en términos de sus límites de consistencia, específicamente el límite líquido (LL), límite plástico (LP) y el índice de plasticidad (IP).

El promedio del índice de plasticidad (IP) entre las tres calicatas es de 19.39%, lo que refleja la capacidad del suelo de deformarse plásticamente dentro de ese rango de humedad. Los valores de los límites plásticos y líquidos proporcionan información clave para la clasificación del suelo y la toma de decisiones en cuanto a su uso y tratamiento en proyectos de construcción, permitiendo determinar la estabilidad y la capacidad de carga de la subrasante en el área de estudio.

### Figura 10

*Determinación del índice plástico de muestras nativas*



El gráfico compara los valores del límite líquido (LL), límite plástico (LP) y índice de plasticidad (IP) en porcentaje (%) para tres calicatas: C-1, C-2 y C-3. En el eje de las ordenadas se presenta el porcentaje, mientras que en el eje de las abscisas se muestran los tres parámetros (LL, LP e IP).

Para el límite líquido (LL), las calicatas C-1 y C-3 tienen valores muy similares, con 30.46% y 30.79% respectivamente, mientras que C-2 presenta un valor más bajo, de 25.79%. En

cuanto al límite plástico (LP), los valores son más cercanos entre las tres calicatas, con C-1 en 11.46%, C-2 en 11.25% y C-3 en 11.33%.

En lo que respecta al índice de plasticidad (IP), las calicatas C-1 y C-3 tienen valores similares, con 19.30% y 19.41% respectivamente, mientras que C-2 presenta el valor más bajo con 17.79%. Este gráfico facilita la visualización de cómo varían estos tres parámetros entre las calicatas, proporcionando una representación clara de las diferencias en las propiedades plásticas del suelo en las áreas estudiadas. Estos valores son cruciales para la evaluación de la estabilidad y comportamiento del suelo en proyectos de construcción.

#### d. Grado de compactación

**Tabla 7**

*Evaluación técnica de compactación en subrasante*

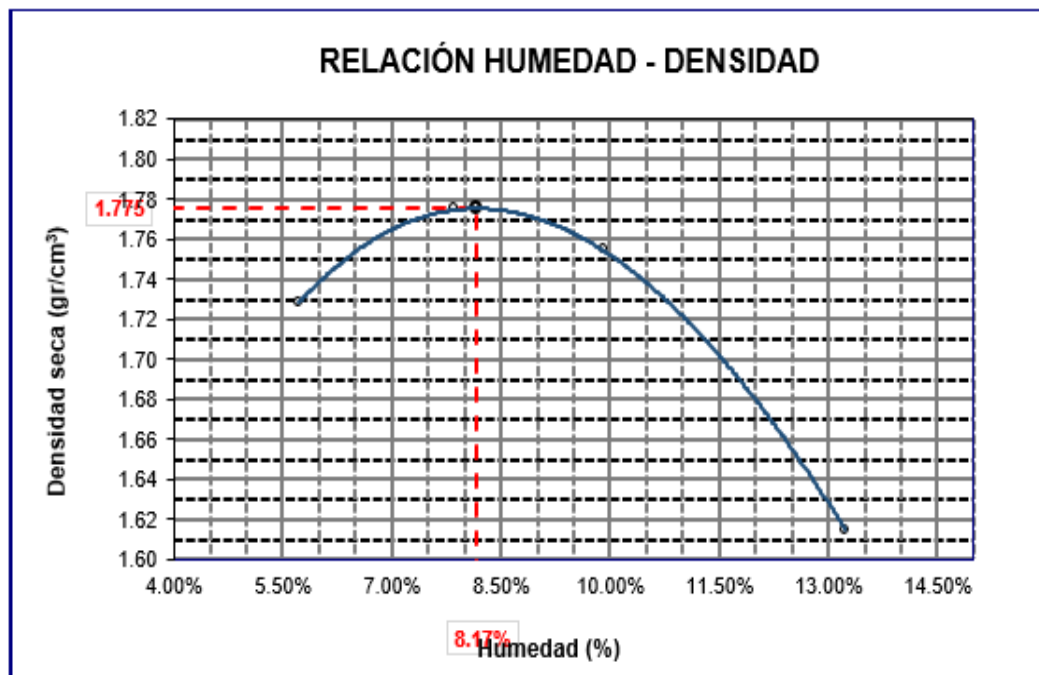
| Calicata     | Subrasante   |              |
|--------------|--------------|--------------|
|              | MDS (gr/cc)  | OCH (%)      |
| CI           | 1.775        | 8.17         |
| CII          | 1.780        | 8.37         |
| CIII         | 1.792        | 7.93         |
| <b>Media</b> | <b>1.782</b> | <b>8.157</b> |

La tabla muestra la evaluación técnica de compactación en subrasante para tres calicatas (CI, CII y CIII) mediante dos parámetros clave: la máxima densidad seca (MDS), expresada en gramos por centímetro cúbico (gr/cc), y el óptimo contenido de humedad (OCH), expresado en porcentaje (%). En la calicata CI, se obtuvo una MDS de 1.775 gr/cc y un OCH de 8.17%. Para la calicata CII, los valores son una MDS de 1.780 gr/cc y un OCH de 8.37%, siendo este el valor de humedad más alto entre las tres calicatas. En la calicata CIII, la MDS es la mayor de las tres con 1.792 gr/cc, y el OCH es el más bajo con 7.93%.

El promedio de la MDS para las tres calicatas es 1.782 gr/cc, mientras que el promedio del OCH es 8.157%. Estos valores proporcionan una visión global de las propiedades de compactación del suelo en las diferentes áreas estudiadas, datos cruciales para garantizar la estabilidad de la subrasante en proyectos de infraestructura.

**Figura 11**

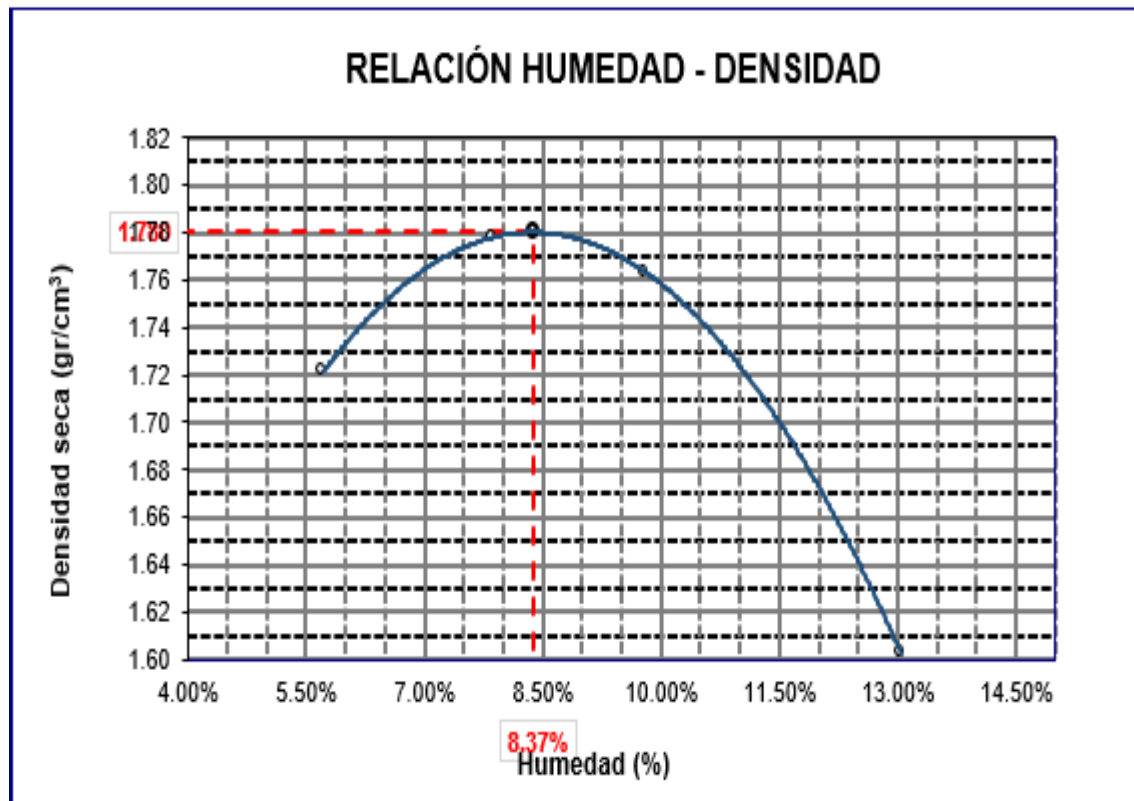
*Evaluación técnica de compactación en subrasante de C-1*



Podemos reconocer en la gráfica los valores recabados con instancias o concernientes a los valores de humedad de las calicatas estudiadas, en esta misma se puede divisar los comportamientos en lo que respecta a la densidad de la muestra seca y en el otro rango tendremos los valores de humedad en porcentajes, estos dos al ser juntados en la gráfica nos muestran la relación que existe o se genera entre la humedad y la densidad, siendo estos valores muy importantes para determinar las propiedades físicas de los suelos correspondientes a la carretera Ara – Azángaro. Como también para determinar las propiedades de estos al ser expuestos a los aditivos ya mencionados.

**Figura 12**

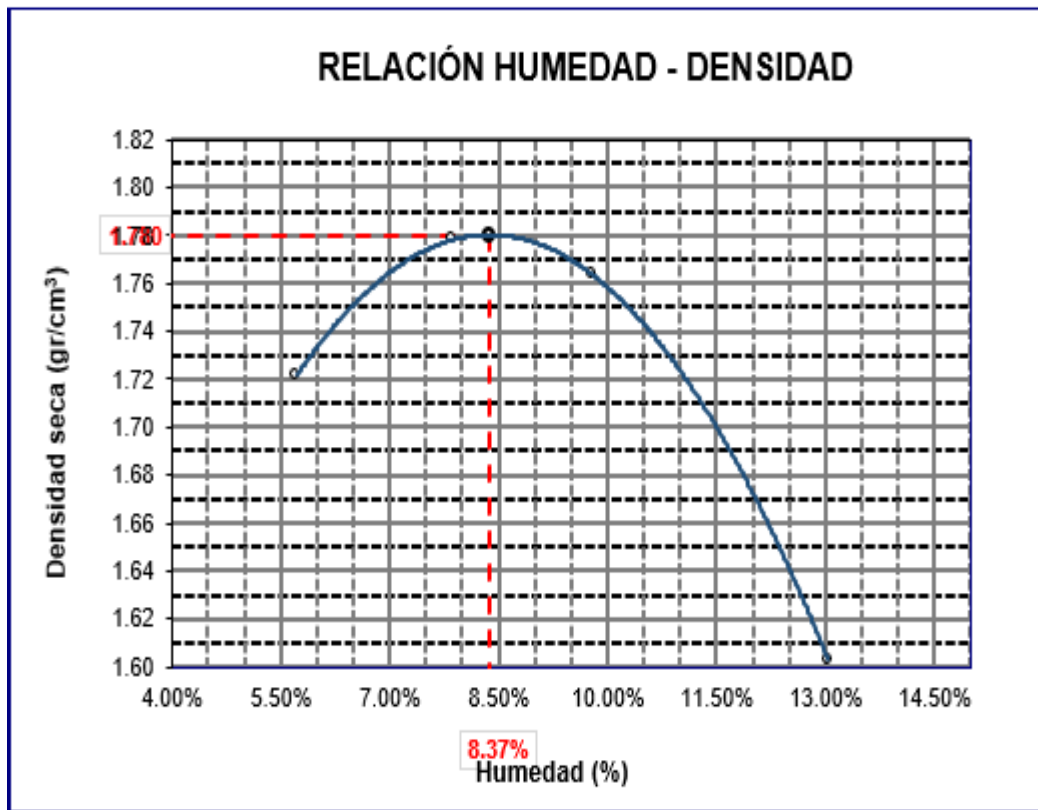
*Evaluación técnica de compactación en subrasante de C-2*



Podemos reconocer en la gráfica los valores recabados con instancias o concernientes al los valores de humedad de las calicatas estudiadas, en esta misma se puede divisar los comportamientos en lo que respecta densidad de la muestra seca y en el otro rango tendremos los valores de humedad en porcentajes, estos dos al ser juntados en la gráfica nos muestran la relación que existe o se genera entre la humedad y la densidad, siendo estos valores muy importantes para determinar las propiedades físicas de los suelos correspondientes a la carretera Ara – Azángaro. Como también para determinar las propiedades de estos al ser expuestos a los aditivos ya mencionados.

**Figura 13**

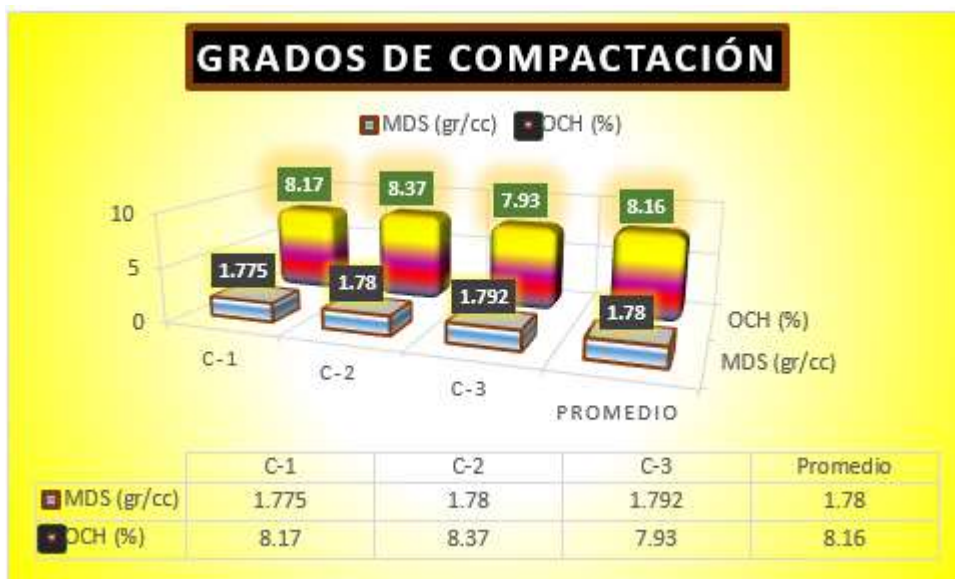
*Evaluación técnica de compactación en subrasante de C-3*



Podemos reconocer en la gráfica los valores recabados con instancias o concernientes a los valores de humedad de las calicatas estudiadas, en esta misma se puede divisar los comportamientos en lo que respecta a la densidad de la muestra seca y en el otro rango tendremos los valores de humedad en porcentajes, estos dos al ser juntados en la gráfica nos muestran la relación que existe o se genera entre la humedad y la densidad, siendo estos valores muy importantes para determinar las propiedades físicas de los suelos correspondientes a la carretera Ara – Azángaro. Como también para determinar las propiedades de estos al ser expuestos a los aditivos ya mencionados.

**Figura 14**

*Informe de comparación de compactación en la subrasante*



El gráfico presenta un informe comparativo de compactación en la subrasante, mostrando los valores de máxima densidad seca (MDS) en gramos por centímetro cúbico (gr/cc) y el óptimo contenido de humedad (OCH) en porcentaje (%) para tres calicatas (C-1, C-2 y C-3), así como el promedio general.

En la calicata C-1, la MDS es de 1.775 gr/cc y el OCH es de 8.17%. Para la calicata C-2, la MDS aumenta a 1.780 gr/cc, y el OCH es el más alto de los tres, con 8.37%. La calicata C-3 presenta la mayor MDS, con 1.792 gr/cc, mientras que el OCH es el más bajo, con 7.93%. El gráfico también muestra los valores promedio para las tres calicatas, donde la MDS promedio es de 1.782 gr/cc y el OCH promedio es de 8.16%.

**e. Capacidad de soporte**

**Tabla 8**

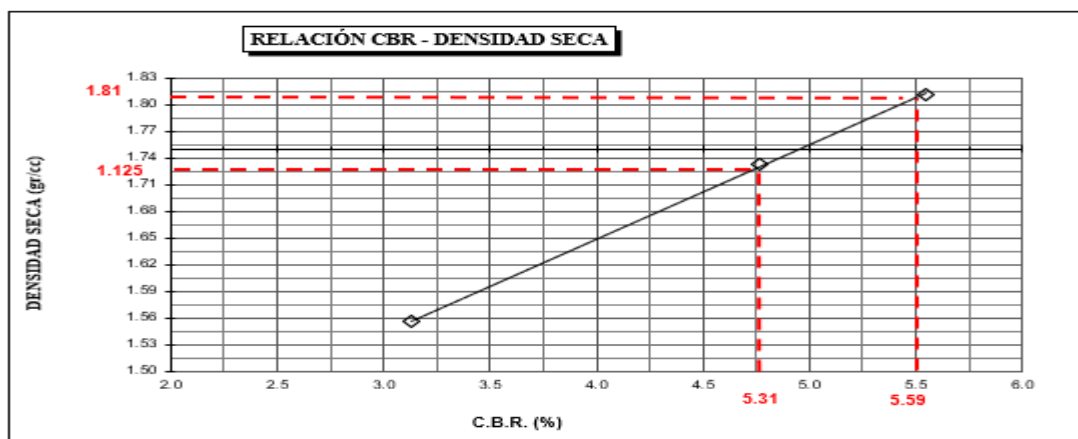
*Evaluación de la capacidad portante mediante CBR en calicatas*

| Exploración-Calicata | CBR         |             |
|----------------------|-------------|-------------|
|                      | CBR - 100%  | CBR - 95%   |
| CI                   | 5.59        | 5.31        |
| CII                  | 5.61        | 5.33        |
| CIII                 | 5.70        | 5.41        |
| <b>Media</b>         | <b>5.63</b> | <b>5.35</b> |

La tabla muestra la evaluación de la capacidad portante de la subrasante mediante el índice CBR (California Bearing Ratio) en tres calicatas (CI, CII y CIII), tanto al 100% como al 95% de compactación. En la calicata CI, el CBR al 100% es de 5.59 y al 95% es de 5.31. Para la calicata CII, el CBR al 100% es de 5.61 y al 95% es de 5.33. En la calicata CIII, los valores de CBR al 100% y al 95% son 5.70 y 5.41, respectivamente, siendo los más altos entre las tres calicatas. El promedio del CBR al 100% de compactación es 5.63, mientras que al 95% es de 5.35. Estos resultados permiten evaluar la capacidad del suelo para soportar cargas, siendo un parámetro crucial para el diseño de pavimentos y la estabilidad de la infraestructura en el área de estudio. La ligera variación entre los porcentajes de compactación indica una buena consistencia en las condiciones del suelo.

**Figura 15**

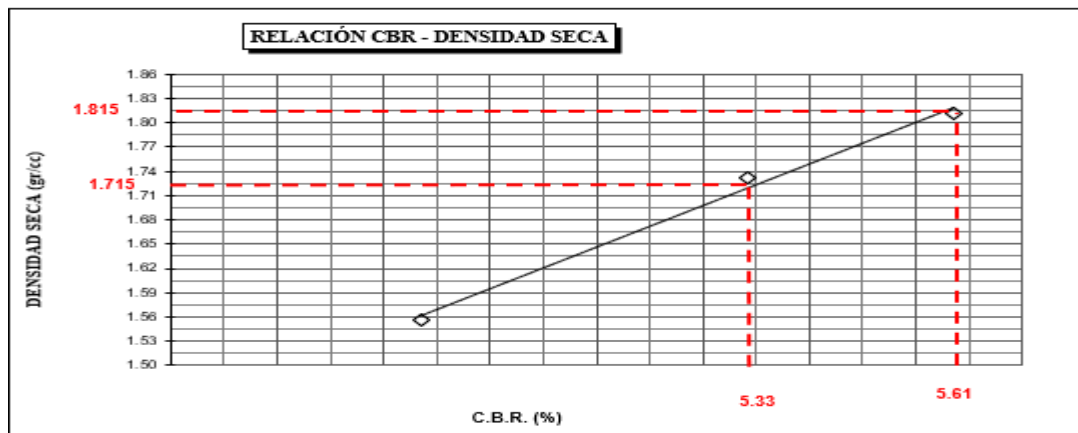
*Informe técnico de CBR en calicata 1*



Podemos reconocer en la gráfica los valores recabados con instancias o concernientes a los valores de humedad de las calicatas estudiadas, en esta misma se puede divisar los comportamientos en lo que respecta densidad de la muestra seca y en el otro rango tendremos los valores de humedad en porcentajes, estos dos al ser juntados en la gráfica nos muestran la relación que existe o se genera entre la humedad y la densidad, siendo estos valores muy importantes para determinar las propiedades físicas de los suelos correspondientes a la carretera Ara – Azángaro. Como también para determinar las propiedades de estos al ser expuestos a los aditivos ya mencionados.

**Figura 16**

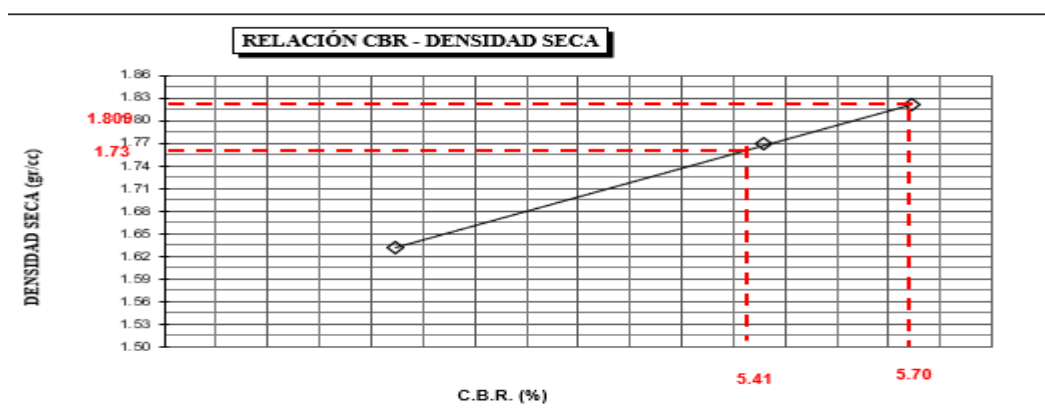
*Informe técnico de CBR en calicata 2*



Podemos reconocer en la gráfica los valores recabados con instancias o concernientes a los valores de humedad de las calicatas estudiadas, en esta misma se puede divisar los comportamientos en lo que respecta a la densidad de la muestra seca y en el otro rango tendremos los valores de humedad en porcentajes, estos dos al ser juntados en la gráfica nos muestran la relación que existe o se genera entre la humedad y la densidad, siendo estos valores muy importantes para determinar las propiedades físicas de los suelos correspondientes a la carretera Ara – Azángaro. Como también para determinar las propiedades de estos al ser expuestos a los aditivos ya mencionados.

**Figura 17**

*Informe técnico de CBR en calicata 3*

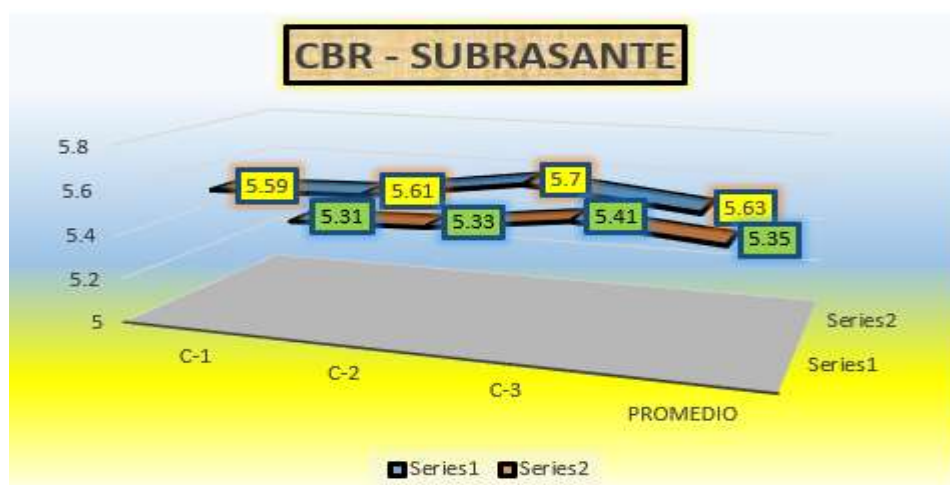


Podemos reconocer en la gráfica los valores recabados con instancias o concernientes a los valores de humedad de las calicatas estudiadas, en esta misma se puede divisar los

comportamientos en lo que respecta densidad de la muestra seca y en el otro rango tendremos los valores de humedad en porcentajes, estos dos al ser juntados en la gráfica nos muestran la relación que existe o se genera entre la humedad y la densidad, siendo estos valores muy importantes para determinar las propiedades físicas de los suelos correspondientes a la carretera Ara – Azángaro. Como también para determinar las propiedades de estos al ser expuestos a los aditivos ya mencionados.

**Figura 18**

*Compendio de valores CBR en calicatas*



El gráfico muestra la comparación de los valores del índice CBR (California Bearing Ratio) para la subrasante en tres calicatas (C-1, C-2 y C-3), tanto al 100% como al 95% de compactación. En el eje vertical se presenta el valor del CBR, mientras que en el eje horizontal se encuentran las calicatas y el promedio. Para la calicata C-1, el valor de CBR al 100% es 5.59, mientras que al 95% es 5.31. En la calicata C-2, los valores son 5.61 al 100% y 5.33 al 95%. Finalmente, en la calicata C-3, los valores son 5.70 al 100% y 5.41 al 95%, siendo estos los más altos entre las tres calicatas.

El gráfico también incluye los valores promedio, con un CBR de 5.63 al 100% y 5.35 al 95%. Esta visualización ayuda a entender las diferencias de capacidad portante entre las calicatas bajo distintas condiciones de compactación, lo cual es fundamental para el diseño estructural y la estabilidad del suelo en proyectos viales.

#### 4.1.2 Influencia de la ceniza de tallo de banano y fibras de bambú fundido (3%,5% y 7%) en el índice de plasticidad

**Tabla 9**

Adición del 3% de CTB + FB medición del índice plástico en la subrasante

| Índice de plasticidad – S+3% de Cenizas + fibras de bambú |        |       |                  |
|---|--------|-------|------------------|
| Descripción   | IP (%) | Media | Variación en (%) |
| S-N   | 19.40  | -     | -                |
| + 3% de CTB+FB  | 18.48  |       |                  |
| + 3% de CTB+FB  | 19.65  | 19.07 | -1.67%           |
| + 3% de CTB+FB  | 19.03  |       |                  |

Nota: S-N (suelo natural), CTB+FB (ceniza de tallo de banano + fibras de bambú)

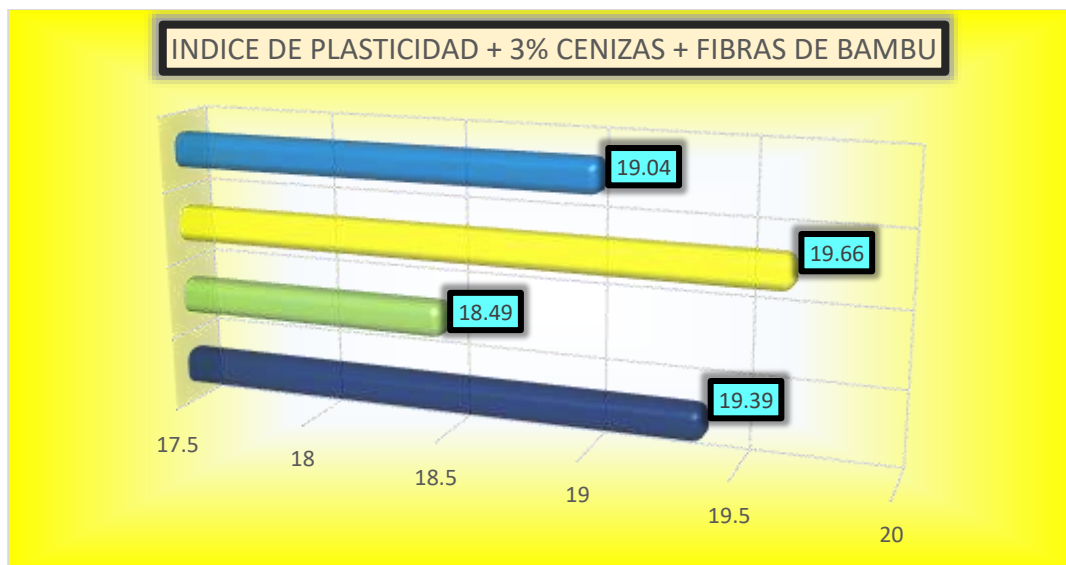
Se presentan los valores del suelo natural (S-N) y los valores obtenidos después de la modificación con el 3% de CTB+FB.

El índice de plasticidad del suelo natural (S-N) es de 19.40%. Con la adición del 3% de CTB+FB, los valores del IP varían: en el primer caso se reduce a 18.48%, en el segundo aumenta a 19.65%, y en el tercer caso vuelve a bajar a 19.03%. La media general del índice de plasticidad tras la adición de los materiales es de 19.07%, lo que refleja una variación total del -1.67% en relación con el valor inicial del suelo natural.

Este análisis permite evaluar cómo la incorporación de estos materiales influye en la plasticidad del suelo, afectando su capacidad de deformación y cohesión, lo que es relevante para mejorar el comportamiento del suelo en aplicaciones viales.

**Figura 19**

*Incorporación del 3% de cenizas + fibras de bambú – Índice plástico*



Se puede visualizar detalladamente los comportamientos, estos valores son procedentes de los ensayos de índice de plasticidad de las muestras estudiadas, estas muestras son procedentes de la carretera que une la provincia de Azángaro con el distrito de Arapa, estos ensayos nos dieron una media superior al 18% siendo así este un suelo trabajable y capaz de soportar cierto tipo de adiciones sobre la misma, la incorporación de los materiales mencionados, por último podemos mencionar que estas muestras presentaron variaciones en cuanto a su estudio relativamente variables.

**Tabla 10**

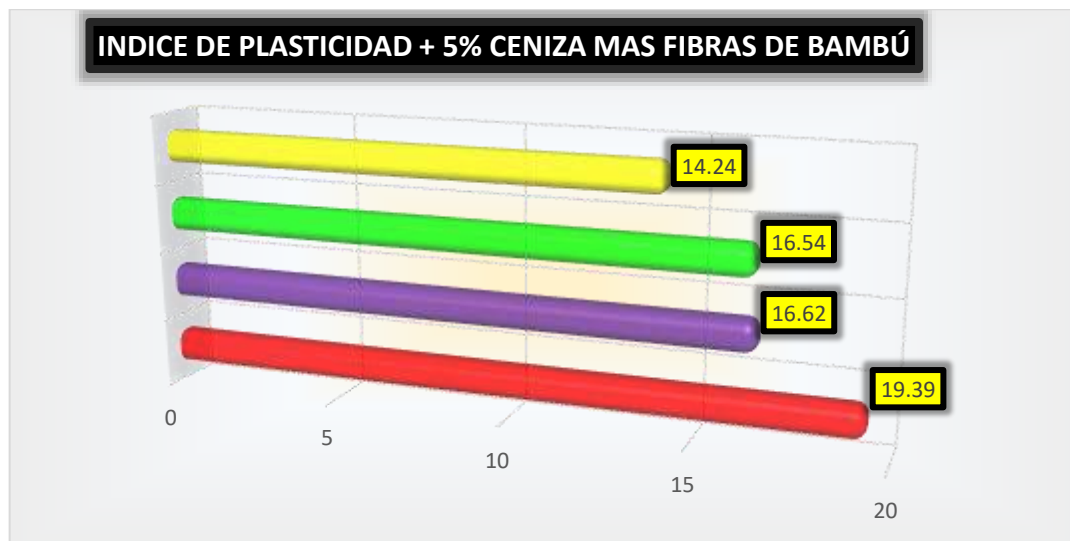
*Adición del 5% de ceniza + fibras de bambú – Índice plástico*

| Índice de plasticidad – S+5% de ceniza + fibras de bambú |        |       |                  |
|--|--------|-------|------------------|
| Descripción  | IP (%) | Media | Variación en (%) |
| S-N  | 19.39  | -     | -                |
| + 5% de CTB+FB   | 16.62  |       |                  |
| + 5% de CTB+FB   | 16.54  | 15.80 | -18.51%          |
| + 5% de CTB+FB   | 14.24  |       |                  |

La tabla muestra los resultados del índice de plasticidad (IP) tras la adición del 5% de ceniza y fibras de bambú en una mezcla de suelo. El valor inicial del índice plástico (S-N) sin adición de cenizas ni fibras de bambú es de 19.39%. Tras incorporar 5% de ceniza y fibras de bambú (CTB+FB), el IP disminuye a 16.62%. En un segundo caso, con la misma adición, el índice plástico es de 16.54%, obteniendo una media de 15.80%, lo que representa una variación del -18.51% en comparación con el suelo sin tratamiento. Finalmente, con la misma proporción de aditivos, el índice plástico disminuye aún más, alcanzando 14.24%. Estos resultados indican que la adición de ceniza y fibras de bambú reduce significativamente la plasticidad del suelo, lo que podría mejorar sus características geotécnicas.

### Figura 20

*Adición del 5% de ceniza + fibras de bambú – Índice plástico*



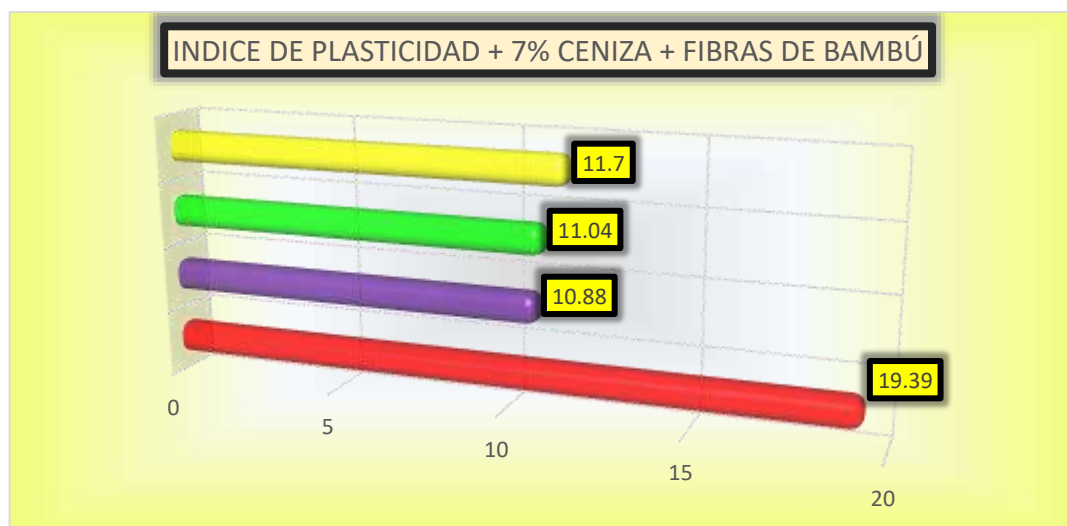
Se puede visualizar detalladamente los comportamientos, estos valores son procedentes de los ensayos de índice de plasticidad de las muestras estudiadas, estas muestras son procedentes de la carretera que une la provincia de Azángaro con el distrito de Arapa, estos ensayos nos dieron una media superior al 18% siendo así este un suelo trabajable y capaz de soportar cierto tipo de adiciones sobre la misma, la incorporación de los materiales mencionados, por último podemos mencionar que estas muestras presentaron variaciones en cuanto a su estudio relativamente variables.

**Tabla 11***Adición del 7% de ceniza + fibras de bambú – Índice plástico*

| <b>S+7% de cenizas más fibras de bambú</b> |        |       |                  |
|--|--------|-------|------------------|
| Descripción                                | IP (%) | Media | Variación en (%) |
| S-N  | 19.39  | -     | -                |
| + 7% de CTB+FB                             | 10.88  |       |                  |
| + 7% de CTB+FB                             | 11.04  | 11.21 | -42.20%          |
| + 7% de CTB+FB                             | 11.70  |       |                  |

El IP del suelo natural es de 19.39%, mientras que con la adición del 5% de CTB+FB, los valores del IP disminuyen de manera notable.

El primer valor con la adición del 5% de CTB+FB es de 16.62%, el segundo es de 16.54%, y el último es el más bajo, con 14.24%. La media general del índice de plasticidad después de la adición de estos materiales es de 15.80%, lo que representa una variación del -18.51% con respecto al valor inicial del suelo natural.

**Figura 21***Adición del 7% de ceniza + fibras de bambú – Índice plástico*

Se puede visualizar detalladamente los comportamientos, estos valores son procedentes de los ensayos de índice de plasticidad de las muestras estudiadas, estas muestras son

procedentes de la carretera que une la provincia de Azángaro con el distrito de Arapa, estos ensayos nos dieron una media superior al 18% siendo así este un suelo trabajable y capaz de soportar cierto tipo de adiciones sobre la misma, la incorporación de los materiales mencionados, por último podemos mencionar que estas muestras presentaron variaciones en cuanto a su estudio relativamente variables.

## Comparativa

**Tabla 12**

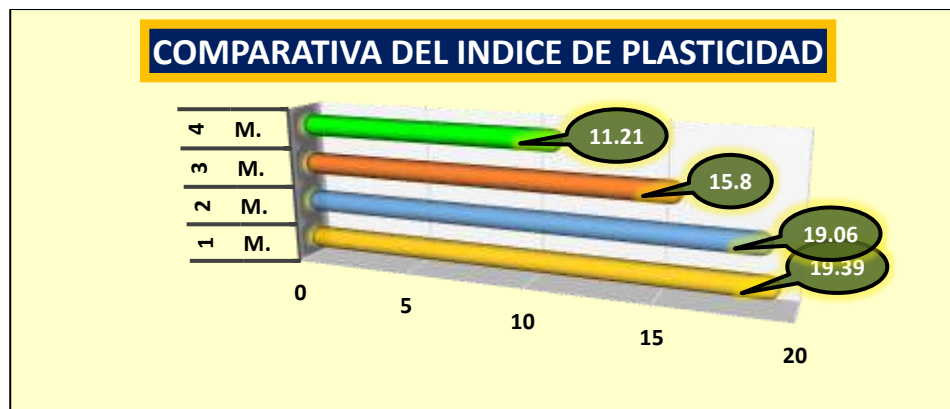
*Relación comparativa de plasticidad entre muestras*

| Índice de plasticidad – S+% de CTB+FB |        |                  |
|---------------------------------------|--------|------------------|
| Descripción                           | IP (%) | Variación en (%) |
| S-N                                   | 19.39  | -                |
| + 3% de CTB+FB                        | 19.06  | -1.68%           |
| + 5% de CTB+FB                        | 15.80  | -18.51%          |
| + 7% de CTB+FB                        | 11.21  | -42.20%          |

Esta tabla estará relatando de manera resumida las variaciones de medias porcentuales de las distintas muestras, estos valores serán concernientes a las variaciones que presenta los suelos con distintas dosificaciones de ceniza de tallo de banana y fibras de bambú, según nuestro estudio estos valores fueron decreciendo a medida que se les fue añadiendo el material incorporado, también tenemos que estos son valores negativos ya que al disminuir su plasticidad se reduce su capacidad de trabajabilidad de estas.

**Figura 22**

*Resumen sintetizada del índice de plasticidad*



Esta tabla estará relatando de manera resumida las variaciones de medias porcentuales de las distintas muestras, estos valores serán concernientes a las variaciones que presenta los suelos con distintas dosificaciones de ceniza de tallo de banana y fibras de bambú, según nuestro estudio estos valores fueron decreciendo a medida que se les fue añadiendo el material incorporado, también tenemos que estos son valores negativos ya que al disminuir su plasticidad se reduce su capacidad de trabajabilidad de estas.

Influencia de la ceniza de tallo de banana y fibras de bambú en el grado de compactación

**a) Máxima densidad seca (MDS)**

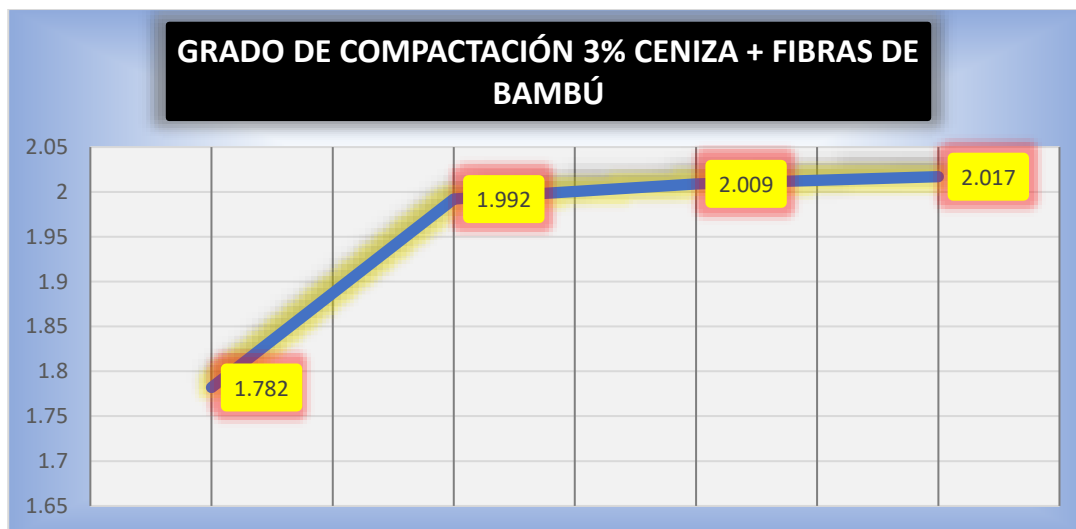
**Tabla 13**

*Aplicación del 3% de cenizas para optimización del suelo de tallo de banana + fibras de bambú - MDS*

| Grado de compactación-S+ 3% de cenizas + fibras de bambú |             |       |                |
|--|-------------|-------|----------------|
| Descripción  | MDS (gr/cc) | Media | Aumento en (%) |
| S-N  | 1.78        | -     | -              |
| + 3% de CTB+FB   | 1.99        |       |                |
| + 3% de CTB+FB   | 2.00        | 1.97  | 8.86%          |
| + 3% de CTB+FB   | 2.01        |       |                |

**Figura 23**

*Adición del 3% de ceniza + fibras de bambú*



El gráfico presenta la evolución del grado de compactación tras la adición del 3% de ceniza de tallo de banano y fibras de bambú en la subrasante. En el eje vertical se observa la densidad seca en gramos por centímetro cúbico (gr/cc), mientras que el eje horizontal refleja los puntos de análisis. El valor inicial de la subrasante, sin tratamiento adicional, es de 1.782 gr/cc. Luego de incorporar los materiales estabilizantes, la densidad seca muestra un aumento significativo, alcanzando primero 1.992 gr/cc. Posteriormente, la compactación continúa incrementándose a 2.009 gr/cc, y culmina en un valor máximo de 2.017 gr/cc.

Este comportamiento indica que la adición de ceniza y fibras mejora considerablemente las propiedades de la subrasante, optimizando su capacidad de compactación. El aumento progresivo de la densidad refleja una mayor cohesión y resistencia del suelo, lo que se traduce en una subrasante más estable y con mayor capacidad portante, ideal para soportar las cargas impuestas en proyectos de infraestructura vial. Los resultados sugieren que este tratamiento puede ser una estrategia eficaz para mejorar las condiciones del suelo en entornos de construcción.

**Tabla 14**

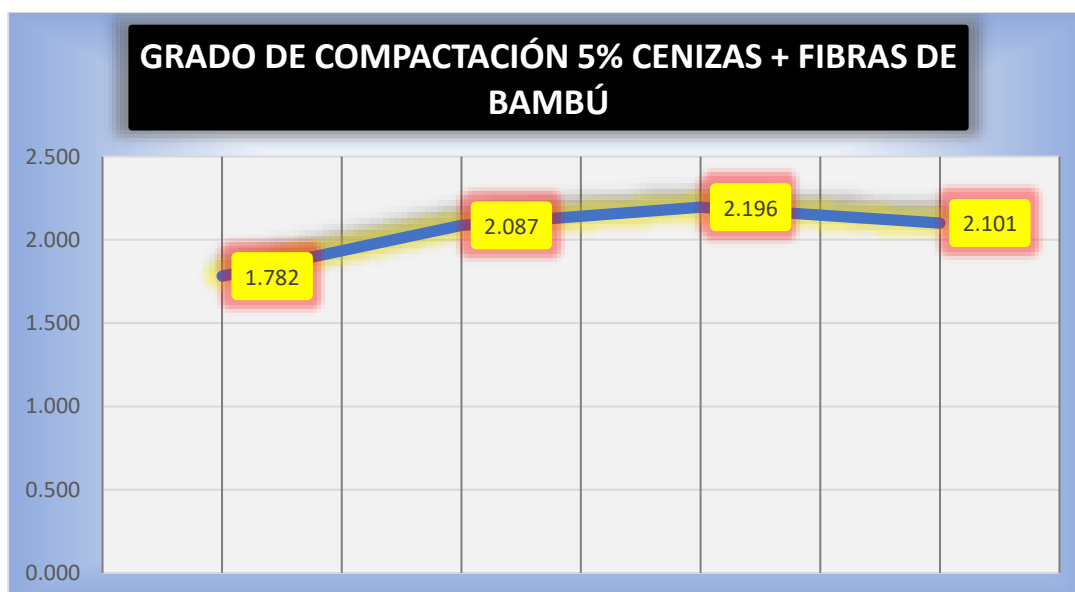
*Aplicación del 5% de cenizas para optimización del suelo +fibras de bambú - MDS*

| <b>Grado de compactación–S+ 5% de ceniza + fibras de bambú</b> |             |       |                |
|--|-------------|-------|----------------|
| Descripción  | MDS (gr/cc) | Media | Aumento en (%) |
| S-N  | 1.78        | -     | -              |
| + 5% de CTB+FB   | 2.08        |       |                |
| + 5% de CTB+FB   | 2.19        | 2.12  | 15.30%         |
| + 5% de CTB+FB   | 2.10        |       |                |

El valor inicial del índice plástico (S-N) sin adición de cenizas ni fibras de bambú es de 19.39%. Tras incorporar 5% de ceniza y fibras de bambú (CTB+FB), el IP disminuye a 16.62%. En un segundo caso, con la misma adición, el índice plástico es de 16.54%, obteniendo una media de 15.80%, lo que representa una variación del -18.51% en comparación con el suelo sin tratamiento. Finalmente, con la misma proporción de aditivos, el índice plástico disminuye aún más, alcanzando 14.24%. Estos resultados indican que la adición de ceniza y fibras de bambú reduce significativamente la plasticidad del suelo, lo que podría mejorar sus características geotécnicas.

**Figura 24**

*Aplicación del 5% de cenizas para optimización del suelo +fibras de bambú - MDS*



La grafica muestra los resultados del índice de plasticidad (IP) tras la adición del 5% de ceniza y fibras de bambú en una mezcla de suelo. El valor inicial del índice plástico (S-N) sin adición de cenizas ni fibras de bambú es de 19.39%. Tras incorporar 5% de ceniza y fibras de bambú (CTB+FB), el IP disminuye a 16.62%. En un segundo caso, con la misma adición, el índice plástico es de 16.54%, obteniendo una media de 15.80%, lo que representa una variación del -18.51% en comparación con el suelo sin tratamiento. Finalmente, con la misma proporción de aditivos, el índice plástico disminuye aún más, alcanzando 14.24%. Estos resultados indican que la adición de ceniza y fibras de bambú reduce significativamente la plasticidad del suelo, lo que podría mejorar sus características geotécnicas.

**Tabla 15**

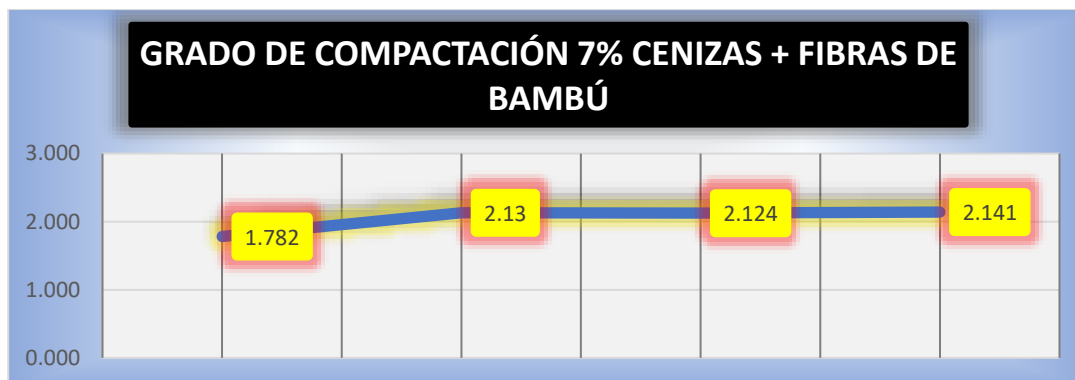
*Aplicación del 7% de cenizas para optimización del suelo con fibras de bambú - MDS*

| <b>Grado de compactación–S+ 7% de Cenizas +fibras de bambú</b> |             |       |                |
|--|-------------|-------|----------------|
| Descripción  | MDS (gr/cc) | Media | Aumento en (%) |
| S-N  | 1.78        | -     | -              |
| + 7% de CTB+FB   | 2.13        |       |                |
| + 7% de CTB+FB   | 2.12        | 2.130 | 19.53%         |
| + 7% de CTB+FB   | 2.14        |       |                |

La tabla detalla el grado de compactación en términos de máxima densidad seca (MDS) tras la adición del 7% de ceniza de tallo de banano (CTB) y fibras de bambú (FB) a la subrasante. El valor inicial de MDS para el suelo natural (S-N) es de 1.78 gr/cc. Con la incorporación del 7% de CTB+FB, se observa un incremento considerable en los valores de compactación. El primer valor registrado es de 2.13 gr/cc, seguido de 2.12 gr/cc y, finalmente, 2.14 gr/cc. La media general de MDS tras la adición de estos materiales es de 2.130 gr/cc, lo que representa un aumento del 19.53% en comparación con el suelo sin tratamiento. Este aumento significativo en la densidad indica que la adición del 7% de ceniza y fibras contribuye de manera efectiva a mejorar la compactación y estabilidad del suelo, lo que lo convierte en una opción viable para optimizar la capacidad portante en proyectos de infraestructura.

**Figura 25**

*Aplicación del 7% de cenizas para optimización del suelo +fibras de bambú - MDS*



La tabla detalla el grado de compactación en términos de máxima densidad seca (MDS) tras la adición del 7% de ceniza de tallo de banano (CTB) y fibras de bambú (FB) a la subrasante. El valor inicial de MDS para el suelo natural (S-N) es de 1.78 gr/cc. Con la incorporación del 7% de CTB+FB, se observa un incremento considerable en los valores de compactación. El primer valor registrado es de 2.13 gr/cc, seguido de 2.12 gr/cc y, finalmente, 2.14 gr/cc. La media general de MDS tras la adición de estos materiales es de 2.130 gr/cc, lo que representa un aumento del 19.53% en comparación con el suelo sin tratamiento. Este aumento significativo en la densidad indica que la adición del 7% de ceniza y fibras contribuye de manera efectiva a mejorar la compactación y estabilidad del suelo, lo que lo convierte en una opción viable para optimizar la capacidad portante en proyectos de infraestructura.

**Tabla 16**

*Comparativa de MDS*

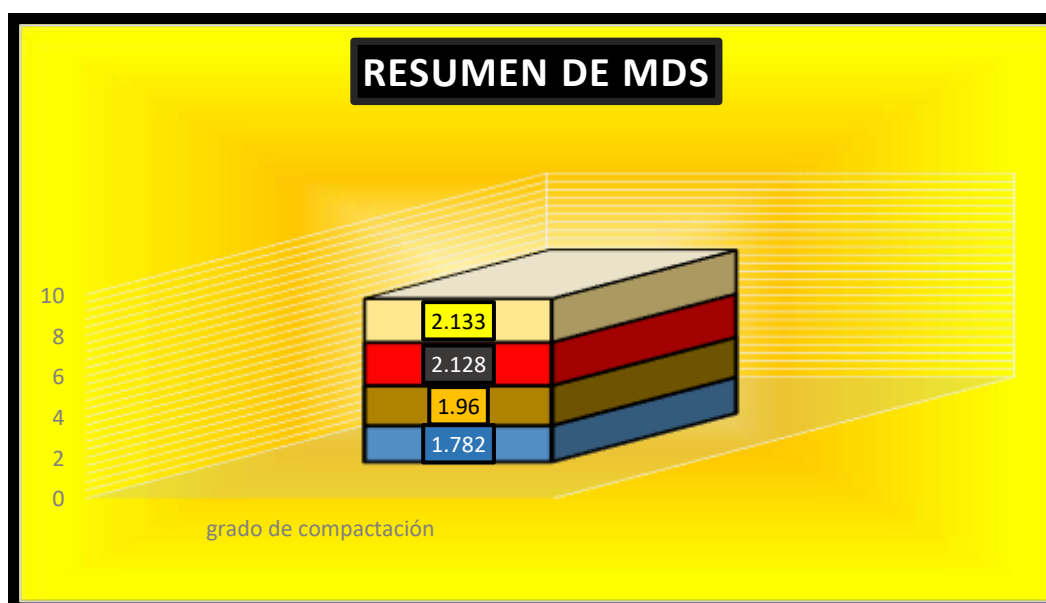
| Descripción    | % de cenizas +fibras de bambú |                  |
|----------------|-------------------------------|------------------|
|                | MDS (gr/cc)                   | Variación en (%) |
| S-N            | 1.78                          | -                |
| + 3% de CTB+FB | 1.96                          | 8.85%            |
| + 5% de CTB+FB | 2.12                          | 15.35%           |
| + 7% de CTB+FB | 2.13                          | 19.55%           |

La tabla presenta una comparativa del grado de compactación de la subrasante en términos de máxima densidad seca (MDS) tras la adición de diferentes porcentajes de

ceniza de tallo de banano (CTB) y fibras de bambú (FB). El valor de referencia para el suelo natural (S-N) es de 1.782 gr/cc. Con la adición del 3% de CTB+FB, la MDS aumenta a 1.96 gr/cc, lo que representa una variación del 8.84%. Al incrementar el porcentaje de adición al 5%, la MDS asciende a 2.128 gr/cc, con una variación del 15.30%. Finalmente, con la adición del 7% de CTB+FB, la MDS alcanza su valor más alto, 2.133 gr/cc, lo que supone un aumento del 19.53%.

**Figura 26**

*Comparativa de MDS*



La tabla presenta una comparativa del grado de compactación de la subrasante en términos de máxima densidad seca (MDS) tras la adición de diferentes porcentajes de ceniza de tallo de banano (CTB) y fibras de bambú (FB). El valor de referencia para el suelo natural (S-N) es de 1.782 gr/cc. Con la adición del 3% de CTB+FB, la MDS aumenta a 1.96 gr/cc, lo que representa una variación del 8.84%. Al incrementar el porcentaje de adición al 5%, la MDS asciende a 2.128 gr/cc, con una variación del 15.30%. Finalmente, con la adición del 7% de CTB+FB, la MDS alcanza su valor más alto, 2.133 gr/cc, lo que supone un aumento del 19.53%.

### b) Contenido óptimo de humedad

**Tabla 17**

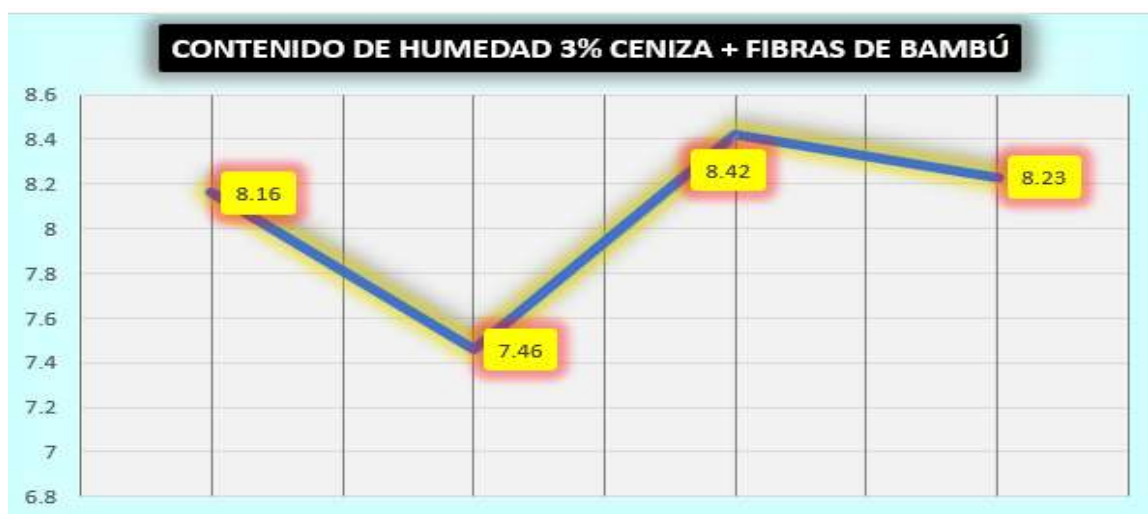
*Aplicación del 3% de cenizas para optimización del suelo +fibras de bambú -OCH*

| <b>Contenido de humedad óptimo – S+ 3% de Cenizas +fibras de bambú</b> |         |       |
|--|---------|-------|
| Descripción  | OCH (%) | Media |
| S-N  | 8.16    | -     |
| + 3% de CTB+FB   | 7.46    |       |
| + 3% de CTB+FB   | 8.42    | 8.04  |
| + 3% de CTB+FB   | 8.23    |       |

La tabla muestra el contenido de humedad óptimo (OCH) tras la aplicación del 3% de cenizas y fibras de bambú (CTB+FB) para la optimización del suelo. El valor inicial sin aditivos (S-N) presenta un contenido de humedad del 8.16%. Al adicionar un 3% de cenizas y fibras de bambú, el contenido de humedad disminuye a 7.46%. En una segunda prueba con la misma proporción de aditivos, el OCH aumenta a 8.42%, y en una tercera prueba, alcanza el 8.23%. La media del contenido de humedad tras las tres pruebas es de 8.04%, lo que sugiere una leve variabilidad en los resultados. Estos valores indican que la incorporación de cenizas y fibras de bambú afecta el contenido de humedad del suelo, lo que puede influir en su comportamiento y capacidad de compactación.

**Figura 27**

*Aplicación del 3% de cenizas para optimización del suelo +fibras de bambú - OCH*



La tabla muestra el contenido de humedad óptimo (OCH) tras la aplicación del 3% de cenizas y fibras de bambú (CTB+FB) para la optimización del suelo. El valor inicial sin aditivos (S-N) presenta un contenido de humedad del 8.16%. Al adicionar un 3% de cenizas y fibras de bambú, el contenido de humedad disminuye a 7.46%. En una segunda prueba con la misma proporción de aditivos, el OCH aumenta a 8.42%, y en una tercera prueba, alcanza el 8.23%. La media del contenido de humedad tras las tres pruebas es de 8.04%, lo que sugiere una leve variabilidad en los resultados. Estos valores indican que la incorporación de cenizas y fibras de bambú afecta el contenido de humedad del suelo, lo que puede influir en su comportamiento y capacidad de compactación.

**Tabla 18**

Aplicación del 5% de cenizas para optimización del suelo +fibras de bambú - OCH

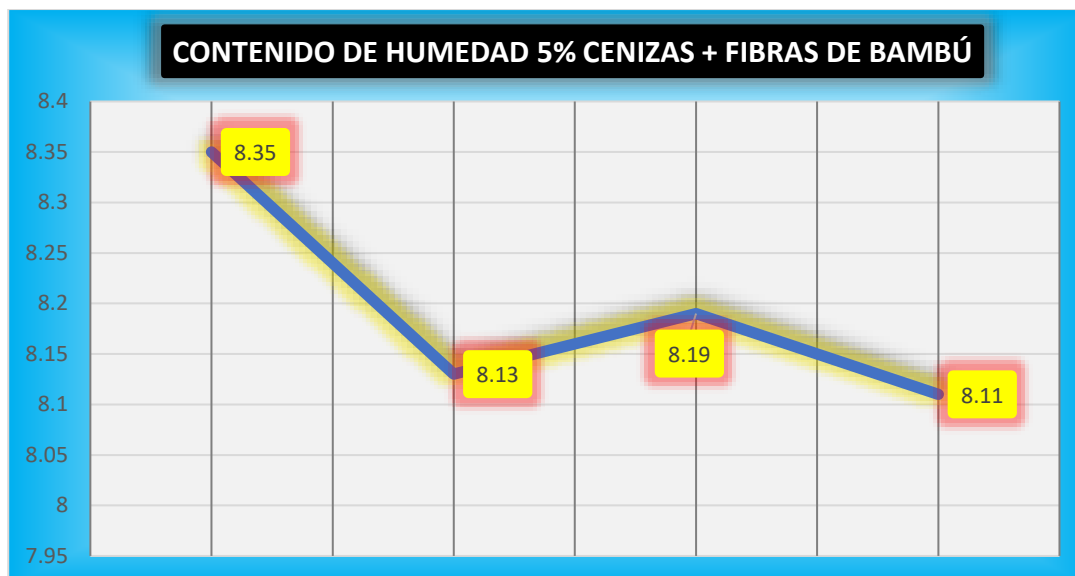
| <b>Contenido de humedad óptima –S+ 5% de Cenizas +fibras de bambú</b> |         |       |
|---|---------|-------|
| Descripción   | OCH (%) | Media |
| S-N   | 8.16    | -     |
| + 5% de CTB+FB  | 8.13    |       |
| + 5% de CTB+FB  | 8.19    | 8.14  |
| + 5% de CTB+FB  | 8.11    |       |

La tabla muestra el contenido de humedad óptima (OCH) de la subrasante tras la aplicación del 5% de ceniza de tallo de banano (CTB) y fibras de bambú (FB). El suelo natural (S-N) tiene un OCH del 8.16%. Después de la adición del 5% de CTB+FB, los valores de OCH presentan ligeras variaciones: el primer valor es de 8.13%, el segundo valor asciende a 8.19%, mientras que el último desciende a 8.11%. La media general del contenido de humedad óptima tras la adición de los materiales es de 8.14%.

Estas pequeñas variaciones en el OCH indican que la adición del 5% de ceniza y fibras no afecta de manera significativa el contenido de humedad del suelo, manteniéndose dentro de un rango similar al del suelo natural. Este comportamiento sugiere que la incorporación de estos materiales permite mejorar la compactación del suelo sin alterar drásticamente su capacidad para retener humedad, lo que es beneficioso para proyectos de infraestructura que requieren una subrasante estable y con buen control de humedad.

**Figura 28**

*Aplicación del 5% de cenizas para optimización del suelo +fibras de bambú - OCH*



La tabla muestra el contenido de humedad óptima (OCH) de la subrasante tras la aplicación del 5% de ceniza de tallo de banano (CTB) y fibras de bambú (FB). El suelo natural (S-N) tiene un OCH del 8.16%. Después de la adición del 5% de CTB+FB, los valores de OCH presentan ligeras variaciones: el primer valor es de 8.13%, el segundo valor asciende a 8.19%, mientras que el último desciende a 8.11%. La media general del contenido de humedad óptima tras la adición de los materiales es de 8.14%. Estas pequeñas variaciones en el OCH indican que la adición del 5% de ceniza y fibras no afecta de manera significativa el contenido de humedad del suelo, manteniéndose dentro de un rango similar al del suelo natural. Este comportamiento sugiere que la incorporación de estos materiales permite mejorar la compactación del suelo sin alterar drásticamente su capacidad para retener humedad, lo que es beneficioso para proyectos de infraestructura que requieren una subrasante estable y con buen control de humedad.

**Tabla 19**

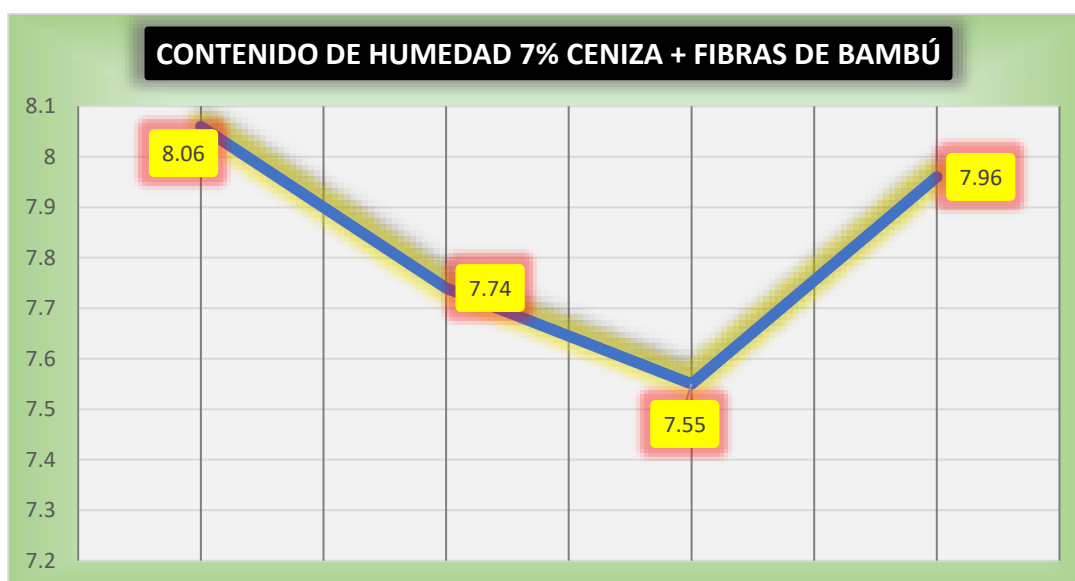
*Aplicación del 7% de cenizas para optimización del suelo +fibras de bambú - OCH*

| Contenido de humedad óptimo – S+ 7% de Cenizas +fibras de bambú |         |       |
|---|---------|-------|
| Descripción   | OCH (%) | Media |
| S-N   | 8.16    | -     |
| + 7% de CTB+FB  | 7.74    | 7.75  |
| + 7% de CTB+FB  | 7.55    |       |
| + 7% de CTB+FB  | 7.96    |       |

La tabla refleja el contenido de humedad óptima en la subrasante tras la adición de ceniza de tallo de banano y fibras de bambú. En comparación con el suelo natural, los valores muestran ligeras variaciones después de la incorporación de estos materiales. A pesar de los cambios observados, el promedio general del contenido de humedad se mantiene dentro de un rango muy similar al del suelo sin tratamiento. Estas pequeñas diferencias sugieren que la adición de ceniza y fibras no altera significativamente la capacidad del suelo para retener humedad. Este resultado es favorable para proyectos de infraestructura, ya que permite mejorar la compactación del suelo sin comprometer su equilibrio hídrico, lo cual es crucial para garantizar una subrasante estable y con propiedades adecuadas para el soporte de estructuras.

**Figura 29**

*Aplicación del 7% de cenizas para optimización del suelo +fibras de bambú - OCH*



La tabla refleja el contenido de humedad óptima en la subrasante tras la adición de ceniza de tallo de banano y fibras de bambú. En comparación con el suelo natural, los valores muestran ligeras variaciones después de la incorporación de estos materiales. A pesar de los cambios observados, el promedio general del contenido de humedad se mantiene dentro de un rango muy similar al del suelo sin tratamiento. Estas pequeñas diferencias sugieren que la adición de ceniza y fibras no altera significativamente la capacidad del suelo para retener humedad. Este resultado es favorable para proyectos de infraestructura, ya que permite mejorar la compactación del suelo sin comprometer su equilibrio hídrico, lo cual es crucial para garantizar una subrasante estable y con propiedades adecuadas para el soporte de estructuras.

#### **4.1.3 Influencia de cenizas de tallo de banano + fibras de bambú en la capacidad de soporte (CBR)**

**Tabla 20**

*CBR- adicionando el 3 % de cenizas +fibras de bambú*

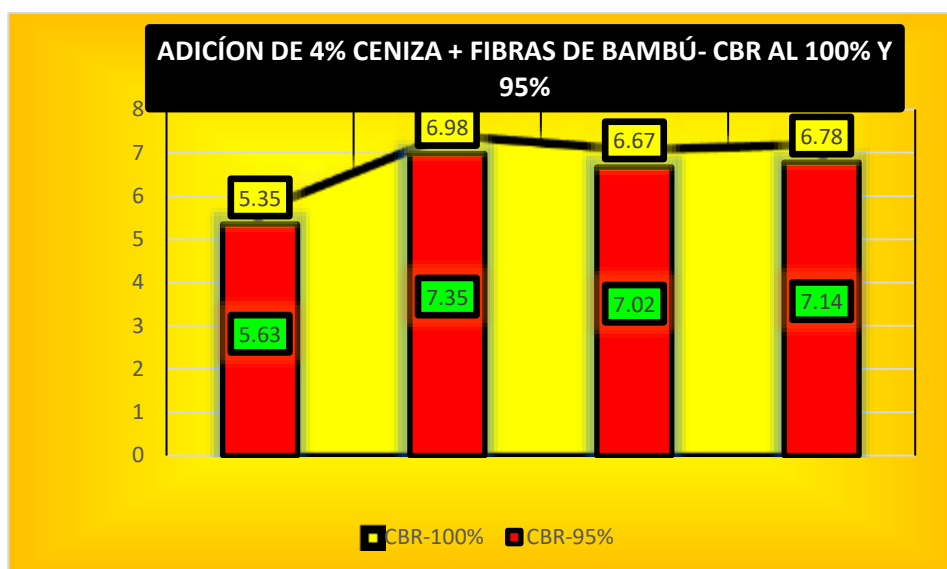
| <b>CBR – S+3% de Cenizas +fibras de bambú</b> |          |       |         |       |
|---|----------|-------|---------|-------|
| Descripción                                   | CBR-100% | Media | CBR-95% | Media |
| S-N   | 5.632    | -     | 5.354   | -     |
| + 3% de CTB+FB                                | 7.355    |       | 6.982   |       |
| + 3% de CTB+FB                                | 7.024    | 7.174 | 6.672   | 6.812 |
| + 3% de CTB+FB                                | 7.144    |       | 6.784   |       |

La tabla presenta los resultados del índice CBR (California Bearing Ratio) tras la adición del 3% de ceniza de tallo de banano (CTB) y fibras de bambú (FB) en la subrasante, evaluado al 100% y al 95% de compactación. Se compara el comportamiento del suelo natural (S-N) con el suelo tratado con las adiciones mencionadas. En general, la adición del 3% de CTB+FB muestra un incremento significativo en los valores de CBR, tanto al 100% como al 95% de compactación, en comparación con el suelo natural. Estos aumentos reflejan una mejora en la capacidad portante del suelo. Los promedios de CBR

para los suelos tratados también evidencian una mayor cohesión y resistencia, lo que resulta en una subrasante más estable y con mejor capacidad para soportar cargas estructurales. Este análisis resalta los beneficios de utilizar ceniza y fibras en el suelo, lo que sugiere su efectividad para optimizar la estructura del suelo en proyectos de infraestructura vial, mejorando tanto su resistencia como su durabilidad.

**Figura 30**

*CBR- adicionando el 3 % de cenizas +fibras de bambú*



Se compara el comportamiento del suelo natural (S-N) con el suelo tratado con las adiciones mencionadas. En general, la adición del 3% de CTB+FB muestra un incremento significativo en los valores de CBR, tanto al 100% como al 95% de compactación, en comparación con el suelo natural. Estos aumentos reflejan una mejora en la capacidad portante del suelo. Los promedios de CBR para los suelos tratados también evidencian una mayor cohesión y resistencia, lo que resulta en una subrasante más estable y con mejor capacidad para soportar cargas estructurales. Este análisis resalta los beneficios de utilizar ceniza y fibras en el suelo, lo que sugiere su efectividad para optimizar la estructura del suelo en proyectos de infraestructura vial, mejorando tanto su resistencia como su durabilidad.

**Tabla 21**

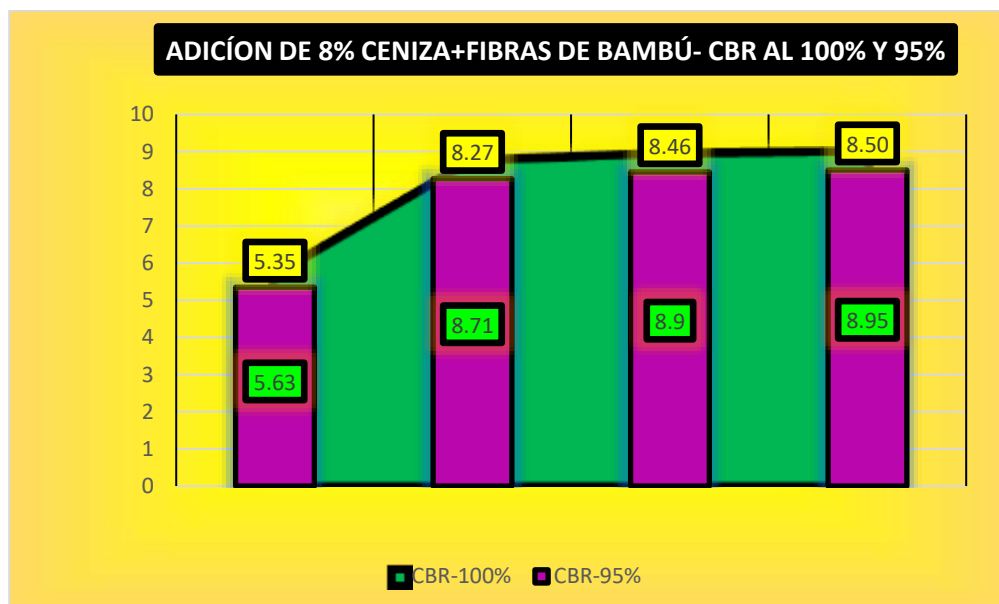
*CBR- adicionando el 5 % de cenizas +fibras de bambú*

| Descripción    | CBR – S+5% de Cenizas +fibras de bambú |       |         |       |
|----------------|--|-------|---------|-------|
|                | CBR-100%                               | Media | CBR-95% | Media |
| S-N            | 5.635                                  | -     | 5.354   | -     |
| + 5% de CTB+FB | 8.715                                  |       | 8.274   |       |
| + 5% de CTB+FB | 8.902                                  | 8.853 | 8.465   | 8.411 |
| + 5% de CTB+FB | 8.953                                  |       | 8.502   |       |

Se compara el comportamiento del suelo natural (S-N) con el suelo tratado con las adiciones mencionadas. En general, la adición del 3% de CTB+FB muestra un incremento significativo en los valores de CBR, tanto al 100% como al 95% de compactación, en comparación con el suelo natural. Estos aumentos reflejan una mejora en la capacidad portante del suelo. Los promedios de CBR para los suelos tratados también evidencian una mayor cohesión y resistencia, lo que resulta en una subrasante más estable y con mejor capacidad para soportar cargas estructurales. Este análisis resalta los beneficios de utilizar ceniza y fibras en el suelo, lo que sugiere su efectividad para optimizar la estructura del suelo en proyectos de infraestructura vial, mejorando tanto su resistencia como su durabilidad.

**Figura 31**

*CBR- adicionando el 5% de cenizas +fibras de bambú*





Se compara el comportamiento del suelo natural (S-N) con el suelo tratado con las adiciones mencionadas. En general, la adición del 3% de CTB+FB muestra un incremento significativo en los valores de CBR, tanto al 100% como al 95% de compactación, en comparación con el suelo natural. Estos aumentos reflejan una mejora en la capacidad portante del suelo. Los promedios de CBR para los suelos tratados también evidencian una mayor cohesión y resistencia, lo que resulta en una subrasante más estable y con mejor capacidad para soportar cargas estructurales. Este análisis resalta los beneficios de utilizar ceniza y fibras en el suelo, lo que sugiere su efectividad para optimizar la estructura del suelo en proyectos de infraestructura vial, mejorando tanto su resistencia como su durabilidad.

**Tabla 22**

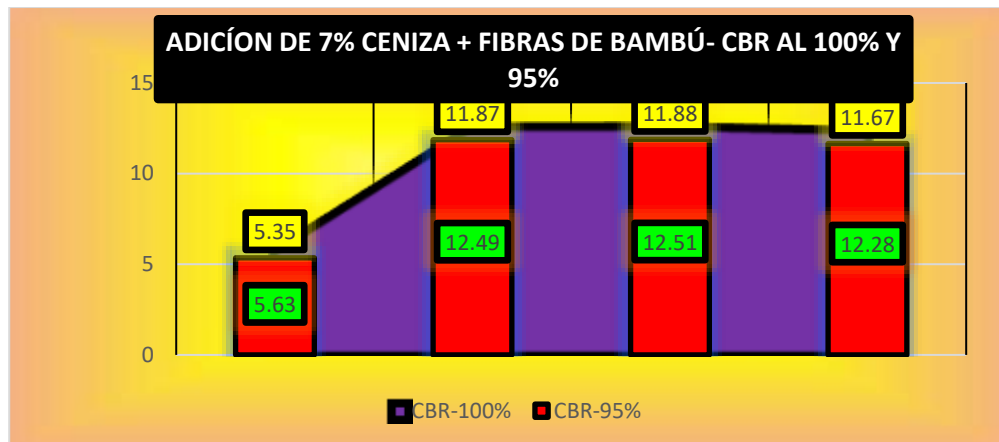
*CBR- adicionando el 7 % de cenizas +fibras de bambú*

| <b>CBR – S+7% de CTB+FB</b> |          |        |         |        |
|-----------------------------|----------|--------|---------|--------|
| Descripción                 | CBR-100% | Media  | CBR-95% | Media  |
| S-N                         | 5.632    | -      | 5.358   | -      |
| + 7% de CTB+FB              | 12.493   |        | 11.872  |        |
| + 7% de CTB+FB              | 12.512   | 12.434 | 11.883  | 11.811 |
| + 7% de CTB+FB              | 12.281   |        | 11.673  |        |

Se compara el comportamiento del suelo natural (S-N) con el suelo tratado con las adiciones mencionadas. En general, la adición del 3% de CTB+FB muestra un incremento significativo en los valores de CBR, tanto al 100% como al 95% de compactación, en comparación con el suelo natural. Estos aumentos reflejan una mejora en la capacidad portante del suelo. Los promedios de CBR para los suelos tratados también evidencian una mayor cohesión y resistencia, lo que resulta en una subrasante más estable y con mejor capacidad para soportar cargas estructurales. Este análisis resalta los beneficios de utilizar ceniza y fibras en el suelo, lo que sugiere su efectividad para optimizar la estructura del suelo en proyectos de infraestructura vial, mejorando tanto su resistencia como su durabilidad.

**Figura 32**

*CBR- adicionando el 7% de cenizas +fibras de bambú*



Se compara el comportamiento del suelo natural (S-N) con el suelo tratado con las adiciones mencionadas. En general, la adición del 3% de CTB+FB muestra un incremento significativo en los valores de CBR, tanto al 100% como al 95% de compactación, en comparación con el suelo natural. Estos aumentos reflejan una mejora en la capacidad portante del suelo. Los promedios de CBR para los suelos tratados también evidencian una mayor cohesión y resistencia, lo que resulta en una subrasante más estable y con mejor capacidad para soportar cargas estructurales. Este análisis resalta los beneficios de utilizar ceniza y fibras en el suelo, lo que sugiere su efectividad para optimizar la estructura del suelo en proyectos de infraestructura vial, mejorando tanto su resistencia como su durabilidad.

**Tabla 23**

*Evaluación resumen del CBR tras la aplicación de cenizas +fibras de bambú*

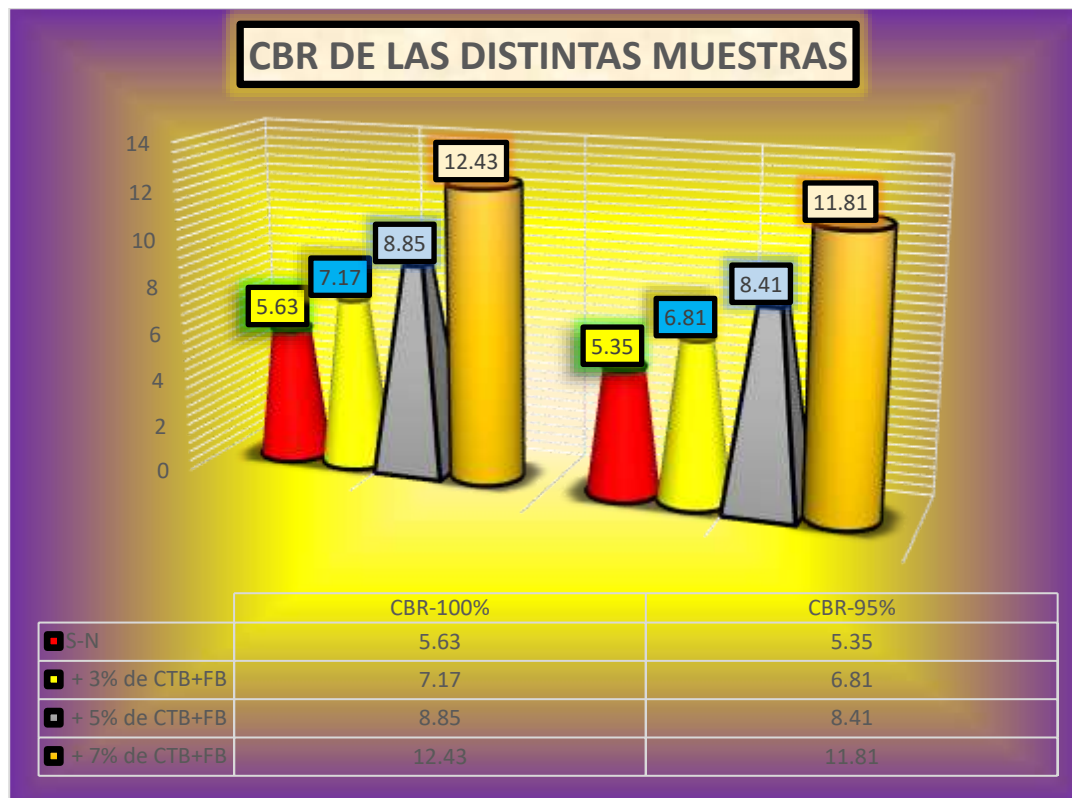
| CBR – S+% de cenizas +fibras de bambú |          |         |
|---------------------------------------|----------|---------|
| Descripción                           | CBR-100% | CBR-95% |
| S-N                                   | 5.632    | 5.354   |
| + 3% de CTB+FB                        | 7.172    | 6.811   |
| + 5% de CTB+FB                        | 8.851    | 8.412   |
| + 7% de CTB+FB                        | 12.434   | 11.813  |

Se compara el comportamiento del suelo natural (S-N) con el suelo tratado con las adiciones mencionadas. En general, la adición del 3% de CTB+FB muestra un incremento

significativo en los valores de CBR, tanto al 100% como al 95% de compactación, en comparación con el suelo natural. Estos aumentos reflejan una mejora en la capacidad portante del suelo. Los promedios de CBR para los suelos tratados también evidencian una mayor cohesión y resistencia, lo que resulta en una subrasante más estable y con mejor capacidad para soportar cargas estructurales. Este análisis resalta los beneficios de utilizar ceniza y fibras en el suelo, lo que sugiere su efectividad para optimizar la estructura del suelo en proyectos de infraestructura vial, mejorando tanto su resistencia como su durabilidad.

**Figura 33**

*Comparación de la capacidad portante según CBR*



Se compara el comportamiento del suelo natural (S-N) con el suelo tratado con las adiciones mencionadas. En general, la adición del 3% de CTB+FB muestra un incremento significativo en los valores de CBR, tanto al 100% como al 95% de compactación, en comparación con el suelo natural. Estos aumentos reflejan una mejora en la capacidad portante del suelo. Los promedios de CBR para los suelos tratados también evidencian



una mayor cohesión y resistencia, lo que resulta en una subrasante más estable y con mejor capacidad para soportar cargas estructurales. Este análisis resalta los beneficios de utilizar ceniza y fibras en el suelo, lo que sugiere su efectividad para optimizar la estructura del suelo en proyectos de infraestructura vial, mejorando tanto su resistencia como su durabilidad.

## 4.2 Discusión de resultados

En 2023, Quispe Muñoz realizó una investigación integral para evaluar la eficacia de las cenizas volantes como agente estabilizador de subrasante. Se utilizaron tres porcentajes distintos para evaluar el impacto de este aumento: 8%, 10% y 12%. La resistencia del suelo mejoró significativamente, como lo demuestra la prueba CBR del 95%. Tras la adición de un 4 % de cenizas volantes, el índice de carga de California (CBR) del suelo original aumentó del 14,13 % al 18,12 %. Se alcanzó un notable 25,27% tras un aumento del 9%, mientras que el CBR alcanzó el 21,33% tras un aumento del 6%. Las investigaciones indican que las cenizas volantes pueden mejorar la calidad del suelo, lo que tal vez afecte significativamente la estabilidad de las subrasantes. La prueba del grado de compactación indicó una variación significativa en la densidad máxima del suelo. La densidad máxima original del suelo natural era de 1,75 gramos por centímetro cúbico. La densidad aumentó hasta 1,77 g/cm<sup>3</sup> después de un aumento del 4%. La densidad máxima alcanzó 1,83 g/cm<sup>2</sup> con una concentración del 9%, mientras que midió 1,8 g/cm<sup>2</sup> con una concentración del 6%.

Nuestro estudio indica que las cenizas pueden influir en la densidad del suelo, un aspecto crucial para mejorar la resiliencia del suelo.

Chinguel Delgado (2020) realizó un estudio sobre el uso de ceniza para la estabilización de subrasante de la vía Chachapoyas. El experimento incluyó cantidades de ceniza del 15%, 20% y 25%. La investigación indicó que el contenido de humedad del suelo disminuyó de 12,45% a 8,45%, 9,74% y 7,14% con la adición de 15%, 20% y 25%,



respectivamente. Los datos del segundo pozo indicaron concentraciones de 9,35%, 9,78% y 10,25%. El tercer tajo arrojó resultados de 15,25%, 16,75% y 15,05%. En el primer experimento se registraron índices de plasticidad de 8%, 9% y 10% con la incorporación de 5%, 7% y 10% de ceniza y cal, respectivamente. El pozo número dos incluía porcentajes del 12%, 10%, 9% y 7%.



## CONCLUSIONES

**PRIMERO** Debido a que el suelo predominante en la zona es de tipo arcilloso, se observa un índice de plasticidad elevado, cercano al 19.39%. Además, el contenido óptimo de humedad es 5.157%, que se combina con una densidad seca máxima de 1.782 gr/cm<sup>3</sup>. Para determinar la capacidad de soporte del suelo, se ha calculado el índice CBR, obteniéndose valores de 5.63% y 5.35% al 100% y 95% de la MDS, respectivamente. Estos resultados no cumplen con las normas de DG-2018, lo que indica una capacidad portante insuficiente.

**SEGUNDO** La incorporación de ceniza de tallo de banano y fibras de bambú en proporciones del 3%, 5% y 7% tiene un efecto positivo en la reducción del índice de plasticidad. Se observa que, al incluir un 3% de ceniza y fibras, el índice de plasticidad disminuye de 19.39% a 19.06%. Al elevar la adición al 5%, el índice baja aún más, alcanzando el 15.80%, y con un 7% de incorporación, el índice se reduce a 11.21%.

**TERCERO** La adición de cenizas de tallo de banano y fibras de bambú en proporciones del 3%, 5% y 7% muestra un impacto favorable en el grado de compactación del suelo. Se evidencia un incremento en la densidad máxima, pasando de 1.78 gr/cm<sup>3</sup> a 1.96 gr/cm<sup>3</sup> con el 3% de adición. Con la inclusión del 5%, la densidad máxima sube a 2.128 gr/cm<sup>3</sup>. Finalmente, con el 7% de adición, se alcanza el valor más alto de densidad, 2.133 gr/cm<sup>3</sup>.

**CUARTO** La inclusión de ceniza de tallo de banano más fibras de bambú en las proporciones de 3%, 5% y 7% genera un efecto positivo en la capacidad de soporte del suelo, medida a través del CBR. Con un 3% de adición, se observa un aumento del CBR al 95% de 5.35% a 6.81%. Al agregar un 5%, se registra una mejora



adicional. Con un 7% de adición, el CBR llega a 11.81%, calificando el suelo como de buena capacidad portante.



## RECOMENDACIONES

**PRIMERO** Se recomienda implementar de manera regular la adición de ceniza de tallo de banano y fibras de bambú en proporciones entre 5% y 7% para la estabilización de suelos arcillosos, ya que este tratamiento ha demostrado mejorar significativamente tanto el índice de plasticidad como la capacidad portante del suelo, optimizando su rendimiento para proyectos viales.

**SEGUNDO** Dado que los resultados de la incorporación de cenizas y fibras de bambú superan las normas establecidas en DG-2018, se sugiere actualizar los estándares nacionales para incluir este tipo de materiales alternativos como métodos de mejora del suelo, favoreciendo el uso de soluciones más sostenibles y eficientes en la construcción de infraestructuras.

**TERCERO** Se recomienda realizar estudios longitudinales para monitorear el rendimiento a largo plazo de los suelos estabilizados con cenizas de tallo de banano y fibras de bambú, especialmente en términos de resistencia y durabilidad bajo diversas condiciones climáticas y cargas de tráfico.

**CUARTO** La utilización de materiales como las cenizas de tallo de banano y fibras de bambú en proyectos viales no solo mejora las propiedades del suelo, sino que también contribuye a la sostenibilidad ambiental. Se sugiere promover su uso a mayor escala en proyectos de infraestructura, destacando los beneficios ambientales y técnicos de estos materiales alternativos.



## REFERENCIAS

- Aguilar Zambrano, A., & Cardenas Diego, P. A. (2023). Estabilización de suelos arenosos mediante la adición de silicato de sodio en la subrasante de la alameda sur de Chorrillos. *Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC)*.  
<https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/667624>
- Akinwumi, I., Onyeiwu, M., Epelle, P., & Ajayi, V. (2023). Soil Improvement Using Blends of Coal Ash and Plantain Peel Ash as Road Pavement Layer Materials. *Resources*, 12(3), Article 3.  
<https://doi.org/10.3390/resources12030041>
- Amin, M. N., Ahmad, W., Khan, K., & Ahmad, A. (2022). Steel Fiber-Reinforced Concrete: A Systematic Review of the Research Progress and Knowledge Mapping. *Materials*, 15(17), Article 17. <https://doi.org/10.3390/ma15176155>
- Amorós Morote, C. E., & Bendezú Ulloa, J. C. (2019). Diseño de mezcla de concreto permeable para la construcción de la superficie de rodadura de un pavimento de resistencia de 210 kg/cm<sup>2</sup>. *Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC)*.  
<https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/626313>
- Angulo Roldan, M., & Zavaleta Papa, C. N. (2021). *ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS CON CAL PARA EL MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FISICO – MECÁNICAS COMO CAPA DE RODADURA EN LA PROLONGACIÓN NAVARRO CAUPER, DISTRITO SAN JUAN – MAYNAS – IQUITOS, 2019*.  
<http://repositorio.ucp.edu.pe/handle/UCP/1220>
- Aparicio, R., & Andrés, F. (2020). *Caracterización de las propiedades físicas y químicas de los agregados finos y gruesos con mayor demanda en la ciudad de Tunja* [Bachelor thesis].  
<https://repository.usta.edu.co/handle/11634/29821>
- Averos, S. del R. O. (2019). *Estudio Experimental sobre la Estabilización de una Subrasante Limo Arcillosa con RCD-concreto Fino (partículas < 2mm) para Aplicación en Pavimentos* [bachelorThesis]. <https://dspace.unila.edu.br/handle/123456789/5903>



- Barboza, A. E. C., Monja, J. L. M., & Pérez, S. P. M. (2021). Comportamiento Térmico y Estructural del Concreto Expuesto a Altas Temperaturas: Una Revisión de la Literatura. *INVESTIGATIO*, 16, Article 16. <https://doi.org/10.31095/investigatio.2021.16.7>
- Bobadilla Peña, J. R., Tigre Acosta, J. J., Tesen Muñoz, F. L., Muñoz Pérez, S. P., Bobadilla Peña, J. R., Tigre Acosta, J. J., Tesen Muñoz, F. L., & Muñoz Pérez, S. P. (2022). Uso de polímeros en asfalto: Una revisión. *Gaceta Técnica*, 23(1), 94-109. <https://doi.org/10.51372/gacetatecnica231.7>
- Calamani Flores, L., & Quispe Yujra, E. R. (2023). *Estabilización de suelo fino arcilloso (CL) con desechos de fibras de botellas PET y cemento IP-40, aplicado en una subrasante*. [Thesis]. <http://repositorio.umsa.bo/xmlui/handle/123456789/34266>
- Carrasco Lozano, B. L. (2022). Estabilización de la subrasante adicionando ceniza de cáscara de arroz en diseño del pavimento rígido en pampas de hospital, 2022. *Repositorio Institucional - UCV*. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/99690>
- Castillo Cortez, J. E., & Manrique Anticona, J. (2023). Mejoramiento de la subrasante adicionando ceniza de cáscara de arroz y hoja de plátano en la calle Camino Real, Santa, Ancash, 2023. *Repositorio Institucional - UCV*. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/131970>
- Champi Lunasco, K. G., & Garcia Angulo, J. (2022). Estabilización de subrasante con adición de ceniza de tusa de maíz y cáscara de maní en la carretera IC-1110171, Ica-2022. *Repositorio Institucional - UCV*. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/98857>
- Chayña Pineda, R. H. (2022). Análisis del uso de ceniza de totora en la estabilización de la subrasante en la trocha carrozable Ccota-Quipata, Puno, 2022. *Repositorio Institucional - UCV*. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/104462>
- Chinguel Delgado, R. L. R. (2020). Evaluación de las propiedades mecánicas del concreto en adoquines tipo III, utilizando ceniza de hoja de eucalipto y microsílíce con ceniza de hoja de eucalipto, Lima 2019. *Repositorio Institucional - UCV*. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/57298>



- Chura Dueñas, C. R. (2022). Aplicación de ceniza de boñiga para el mejoramiento de la subrasante en la avenida Aviación, Puno—2021. *Repositorio Institucional - UCV*. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/88748>
- Colchado Contreras, J. L. (2023). Influencia de geomallas de bambú en la subrasante para el diseño del pavimento flexible en la Avenida Los Rosales, Carabayllo 2023. *Repositorio Institucional - UCV*. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/140799>
- Contreras García, S. P. (2022). Mejoramiento de subrasante utilizando cenizas de cáscara de caña de azúcar y hoja de plátano en Calle 1 del AA.HH. Francisco Bolognesi, Ancash – 2022. *Repositorio Institucional - UCV*. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/112750>
- Cruzado de la Cruz, H. Y., & Rivera Chuñe, B. (2019). *Influencia de tipos de incorporador de aire sobre el asentamiento, aire total, absorción, peso unitario y compresión del concreto a bajas temperaturas*. <https://hdl.handle.net/20.500.14414/13159>
- Estupiñan, D. F. J., & Caballero, J. J. G. (2020). Importancia del concreto en el campo de la construcción. *Formación Estratégica*, 2(1), Article 1.
- Flores Ruiz, L. J., & Romero Mendo, C. A. R. (2023). Análisis correlacional entre el Índice de Penetración y el Índice CBR en el Módulo de Reacción de la subrasante de la ciudad de Pucallpa, Ucayali. *Universidad Ricardo Palma - Repositorio Institucional*. <https://repositorio.urp.edu.pe/handle/20.500.14138/7203>
- Gomez Rojas, N. G. (2020, febrero 4). «Metodología de la investigación, ¿para qué?: La producción de los datos y los diseños», Néstor Cohen, Gabriela Gómez Rojas (2020). *Portal de la Comunicación*. <https://incom.uab.cat/portalcom/books/libros/metodologia-de-la-investigacion-para-que-la-produccion-de-los-datos-y-los-disenos-nestor-cohen-gabriela-gomez-rojas-2020/>
- Laura Hanco, G. E. (2022). Estabilización de subrasante con fibra de carrizo en la Av. Independencia, distrito de Ilo, Moquegua—2022. *Repositorio Institucional - UCV*. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/91047>



- Liendo Cruz, O. D. (2023). Efecto de la ceniza de tallo de mostaza en las propiedades físico-mecánicas de la subrasante de un suelo arenoso arcilloso para la trocha carrozable, Alpaccollo – El Collao – Puno 2023. *Repositorio Institucional - UCV*.  
<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/132105>
- Linares Chavez, R. R. (2019). Estabilización de suelos arcillosos a nivel de subrasante con adición de bolsas de polietileno fundido, Chachapoyas, 2018. *Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza - UNTRM*.  
<https://repositorio.untrm.edu.pe/handle/20.500.14077/1800>
- López, V., & Ignacio, C. (2021). *Estudio de aplicación de concreto permeable en zonas urbanas*.  
<http://bdigital.dgse.uaa.mx:8080/xmlui/handle/11317/2084>
- Medina, M., Rojas, R., Bustamante, W., Loaiza, R., Martel, C., & Castillo, R. (2023). Metodología de la investigación: Técnicas e instrumentos de investigación. En *Instituto Universitario de Innovación Ciencia y Tecnología Inudi Perú*. Instituto Universitario de Innovación Ciencia y Tecnología Inudi Perú. <https://doi.org/10.35622/inudi.b.080>
- Ojeda, D. P. C. (2020). *Universo, población y muestra*.
- Olivares Guzmán, J. Y., & Urbina Silva, S. N. (2023). Propiedades Microestructurales y Mecánicas de Suelos Adicionando Cenizas de Cáscara de Arroz y Fibras de Plátano. *Repositorio Institucional - USS*. <http://repositorio.uss.edu.pe/handle/20.500.12802/11379>
- Olukanni, D. O., & Ijeh, C. G. (2021). Application of Treated Mixed Fruit Wastes in Soil Stabilization. En *Circular Economy in the Construction Industry*. CRC Press.
- Pérez, G., & Fernando, J. (2016). *Aprovechamiento de cenizas de carbón mineral producidas en la industria local como material conglomerante en la construcción* [masterThesis, Universidad de Medellín]. <https://repository.udem.edu.co/handle/11407/65>
- Quispe Huarilloclla, J. E., & Torres Valencia, R. A. (2023). Influencia del ámbar natural de ciprés sobre las propiedades físicas y mecánicas de la subrasante en la avenida San Martín— Circunvalación, Segundo Anillo, Juliaca 2021. *Universidad Continental*.  
<https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/13155>



- Quispe Muñoz, A. B. (2023). Diseño de espesor adecuado de estabilización y mejoramiento de subrasante con cenizas de cacao—Coco en carretera Marginal, Junín—2023. *Repositorio Institucional - UCV*. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/136201>
- Reyes, E. (2022). *Metodología de la Investigación Científica*. Page Publishing Inc.
- Rios Vilca, N. W., & Neyra Vasquez, A. M. (2020). Influencia de las cenizas de carbón mineral en las propiedades de una subrasante arcillosa en Huamachuco, La Libertad, 2020. *Repositorio Institucional - UCV*. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/59904>
- Rodríguez, E. J. S., & González, E. A. P. (2019). Análisis de los cambios en las propiedades mecánicas de materiales de subrasante por la adición de materiales poliméricos reciclados. *Ingeniería Solidaria*, 15(1), Article 1. <https://doi.org/10.16925/2357-6014.2019.01.01>
- Ruiz Chavez, M. T. (2021). Diseño de pavimento rígido agregando fibra de tallo de plátano—AAHH Campo Amor- Zarumilla—Tumbes—2021. *Repositorio Institucional - UCV*. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/115399>
- Shimokawa, L. M., & Antonio, L. (2020). *Medición del grado de humedad en agregados de concreto por medio de frecuencias de microondas*. <https://hdl.handle.net/11042/4492>
- Torres Caceres, J. F. (2021). Estabilización de subrasante adicionando bolsas de polietileno fundido en la trocha carrozable Moyocorral—Umaccata, Abancay, Apurímac 2021. *Repositorio Institucional - UCV*. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/63569>
- Vilca Apaza, E. (2022). Adición de ceniza reciclada de eucalipto de la pollería para mejorar las propiedades del concreto  $f'c=210\text{Kg/cm}^2$  en edificaciones, Puno 2022. *Repositorio Institucional - UCV*. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/102200>
- Zapana Bustincio, R. A. (2022). Estabilización de suelos arcillosos con polímeros reciclados a nivel de la subrasante de la carretera que une el C.P. de Santa María con la av. Circunvalación del distrito de San Miguel—San Román—Puno. *Universidad Continental*. <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/12316>



## ANEXOS



### Anexo 1. Matriz de Consistencia

| Problemas  | Objetivos   | Hipótesis  | Variables  | Inst. de Medición                           |
|--|---|--|--|---|
| <p><b>Problema General:</b></p> <p>¿Cuál es la variación de las propiedades de la capa de subrasante con inclusión de porcentajes variables de ceniza de tallo de banano y fibras de bambú en la carretera Arapa – Azángaro 2024?</p>  | <p><b>Objetivo General:</b></p> <p>Evaluar la variación de las propiedades de la capa de subrasante con inclusión de porcentajes variables de ceniza de tallo de banano y fibras de bambú en la carretera Arapa – Azángaro 2024.</p>  | <p><b>Hipótesis General:</b></p> <p>La variación de las propiedades de la capa de subrasante con inclusión de porcentajes variables de ceniza de tallo de banano y fibras de bambú en la carretera Arapa – Azángaro 2024, serán favorables, mejorarán las características del material.</p>  | <p><b>Variable Independiente</b></p> <p>CENIZA DE TALLO DE BANANO Y FIBRAS DE BAMBÚ</p>  | <p>Fichas y Herramientas de Laboratorio</p> |
| <p><b>Problemas Específicos</b></p> <p>¿Cuáles son las propiedades físicas y mecánicas de los materiales que compone el estrato de subrasante de la carretera Arapa – Azángaro 2024?</p> <p>¿Cuál es la incidencia de la incorporación de ceniza de tallo de banano y fibras de bambú en porcentajes variables sobre el índice de plasticidad del material de subrasante de la carretera Arapa – Azángaro 2024?</p> <p>¿Cuál es la influencia de la aplicación de ceniza de tallo de banano y fibras de bambú en porcentajes variables sobre el grado de compactación del material de subrasante de la carretera Arapa – Azángaro 2024?</p> <p>¿Cuál es el efecto de la adición de ceniza de tallo de banano y fibras de bambú en porcentajes variables sobre el CBR del material de subrasante de la carretera Arapa – Azángaro 2024?</p> | <p><b>Objetivos Específicos</b></p> <p>Determinar las propiedades físicas y mecánicas de los materiales que compone el estrato de subrasante de la carretera Arapa – Azángaro 2024.</p> <p>Determinar la incidencia de la incorporación de ceniza de tallo de banano y fibras de bambú en porcentajes variables sobre el índice de plasticidad del material de subrasante de la carretera Arapa – Azángaro 2024.</p> <p>Determinar la influencia de la aplicación de ceniza de tallo de banano y fibras de bambú en porcentajes variables sobre el grado de compactación del material de subrasante de la carretera Arapa – Azángaro 2024.</p> <p>Determinar el efecto de la adición de ceniza de tallo de banano y fibras de bambú en porcentajes variables sobre el CBR del material de subrasante de la carretera Arapa – Azángaro 2024.</p> | <p><b>Hipótesis Específicas</b></p> <p>Las propiedades físicas y mecánicas de los materiales que compone el estrato de subrasante de la carretera Arapa – Azángaro 2024, serán de resistencia y con alta plasticidad.</p> <p>La influencia de la aplicación de ceniza de tallo de banano y fibras de bambú en porcentajes variables aumentará el grado de compactación del material de subrasante de la carretera Arapa – Azángaro 2024.</p> <p>La influencia de la incorporación de ceniza de carbón mineral en la resistencia a la flexión del concreto convencional de <math>f'c=210</math> kg/cm<sup>2</sup> en el distrito de San Miguel, 2024, será positiva.</p> <p>El efecto de la adición de ceniza de tallo de banano y fibras de bambú en porcentajes variables incrementará el CBR del material de subrasante de la carretera Arapa – Azángaro 2024.</p> | <p><b>Dimensiones:</b></p> <p><i>Proporciones de adición de cenizas y fibras</i></p> <p>M+3% CTB + FB<br/>M+5% CTB + FB<br/>M+7% CTB + FB</p> <p><b>Variable Dependiente</b></p> <p>Propiedades de la Capa de Subrasante</p> <p><b>Dimensiones:</b></p> <p><i>Índice plástico</i><br/><i>Grado de compactación</i><br/><i>Capacidad de soporte</i></p> |   |



## Anexo 2. Certificados de laboratorio



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



**PROYECTO** : ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES DE LA CAPA DE SUBRASANTE CON INCLUSIÓN DE PORCENTAJES VARIABLES DE CENIZA DE TALLO DE BANANO Y FIBRAS DE BAMBÚ EN LA CARRETERA ARAPA - AZÁNGARO 2024

**SOLICITANTE** : BACHILLER FRANCO ROSYNALDO HUANCA TACA

**LUGAR** : LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS CONCRETO Y ASFALTO U.A.N.C.V - JULIACA

**MUESTRA** : CALICATA 1 - MUESTRA 1

**FECHA** : 17 DE JUNIO DEL 2024

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

|                      |    |       |
|----------------------|----|-------|
| SUELO HUMEDO + TARRO | gr | 91.74 |
| SUELO SECO + TARRO   | gr | 82.65 |
| PESO DEL TARRO       | gr | 24.40 |
| PESO DEL AGUA        | gr | 9.36  |
| PESO DEL SUELO SECO  | gr | 57.70 |
| HUMEDAD %            | %  | 18.65 |

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

| TARRO N°                  | LÍMITE LIQUIDO |              |       | LÍMITE PLÁSTICO            |       |              |
|---------------------------|----------------|--------------|-------|----------------------------|-------|--------------|
|                           | 1              | 2            | 3     | A                          | B     |              |
| SUELO HUMEDO + TARRO      | gr             | 29.68        | 29.75 | 29.69                      | 17.74 | 17.14        |
| SUELO SECO + TARRO        | gr             | 27.78        | 27.41 | 27.11                      | 15.39 | 15.25        |
| PESO DEL TARRO            | gr             | 21.00        | 21.00 | 21.00                      | 8.00  | 8.00         |
| PESO DEL AGUA             | gr             | 2.36         | 2.36  | 2.73                       | 1.29  | 1.27         |
| PESO DEL SUELO SECO       | gr             | 6.12         | 6.32  | 6.25                       | 7.92  | 7.97         |
| HUMEDAD %                 | %              | 30.41        | 32.42 | 31.24                      | 11.14 | 14.24        |
| N° DE GOLPES              |                | 30           | 25    | 15                         |       |              |
| <b>LÍMITE LIQUIDO %</b> : |                | <b>30.46</b> |       | <b>LÍMITE PLÁSTICO %</b> : |       | <b>11.46</b> |

**ÍNDICE PLÁSTICO %** : **19.30**

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



INGENIERO EN INGENIERÍA CIVIL  
FICP - CAP. INGENIERÍA CIVIL

Mr. Arnaldo Yana Flores



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



### PROYECTO

: ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES DE LA CAPA DE SUBRASANTE CON INCLUSIÓN DE PORCENTAJES VARIABLES DE CENIZA DE TALLO DE BANANO Y FIBRAS DE BAMBÚ EN LA CARRETERA ARAPA – AZANGARO, 2024

### SOLICITANTE

: BACHILLER FRANCO ROSYNALDO HUANCA TACA

### LUGAR

: LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS CONCRETO Y ASFALTO U.A.N.C.V.- JULIACA

### MUESTRA

: CALICATA 2 - MUESTRA 2

### FECHA

: 17 DE JUNIO DEL 2024

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

|                      |    |       |
|----------------------|----|-------|
| SUELO HUMEDO + TARRO | gr | 93.23 |
| SUELO SECO + TARRO   | gr | 83.87 |
| PESO DEL TARRO       | gr | 23.95 |
| PESO DEL AGUA        | gr | 11.96 |
| PESO DEL SUELO SECO  | gr | 57.32 |
| HUMEDAD %            | %  | 19.54 |

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

| TARRO N°                         |    | LÍMITE LÍQUIDO |       |              | LÍMITE PLÁSTICO            |       |              |
|----------------------------------|----|----------------|-------|--------------|----------------------------|-------|--------------|
|                                  |    | 1              | 2     | 3            | A                          | B     |              |
| SUELO HUMEDO + TARRO             | gr | 28.00          | 29.72 | 29.69        | 17.75                      | 17.14 |              |
| SUELO SECO + TARRO               | gr | 27.35          | 26.25 | 26.35        | 16.00                      | 16.00 |              |
| PESO DEL TARRO                   | gr | 21.00          | 21.00 | 21.00        | 8.02                       | 8.01  |              |
| PESO DEL AGUA                    | gr | 1.74           | 2.26  | 2.25         | 1.01                       | 1.27  |              |
| PESO DEL SUELO SECO              | gr | 6.01           | 5.86  | 5.98         | 7.98                       | 7.99  |              |
| HUMEDAD %                        | %  | 28.95          | 38.57 | 37.63        | 10.74                      | 11.10 |              |
| N° DE GOLPES                     |    | 30             | 25    | 15           |                            |       |              |
| <b>LÍMITE LÍQUIDO % :</b>        |    | <b>25.79</b>   |       |              | <b>LÍMITE PLÁSTICO % :</b> |       | <b>11.25</b> |
| <b>ÍNDICE DE PLASTICIDAD % :</b> |    |                |       | <b>17.79</b> |                            |       |              |

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

  
 M.S.C. JORFALBA  
 JULIACA, 17 DE JUNIO DEL 2024



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



**PROYECTO** : ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES DE LA CAPA DE SUBRASANTE CON INCLUSIÓN DE PORCENTAJES VARIABLES DE CENIZA DE TALLO DE BANANO Y FIBRAS DE BAMBÚ EN LA CARRETERA ARAPA - AZÁNGARO 2024

**SOLICITANTE** : BACHILLER FRANCO ROSYNALDO HUANCA TACA

**LUGAR** : LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS-CONCRETO Y ASFALTO U.A.N.C.V. - JULIACA.

**MUESTRA** : CALICATA 3 - MUESTRA.3

**FECHA** : 17 DE JUNIO DEL 2024

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

|                      |    |       |
|----------------------|----|-------|
| SUELO HUMEDO + TARRO | gr | 97.15 |
| SUELO SECO + TARRO   | gr | 86.02 |
| PESO DEL TARRO       | gr | 23.84 |
| PESO DEL AGUA        | gr | 10.13 |
| PESO DEL SUELO SECO  | gr | 58.18 |
| HUMEDAD %            | %  | 20.15 |

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

| TARRO N°             | LÍMITE LIQUIDO |       |       | LÍMITE PLÁSTICO |       |       |
|----------------------|----------------|-------|-------|-----------------|-------|-------|
|                      | 1              | 2     | 3     | A               | B     |       |
| SUELO HUMEDO + TARRO | gr             | 28.69 | 28.22 | 28.14           | 18.35 | 18.01 |
| SUELO SECO + TARRO   | gr             | 26.25 | 26.32 | 26.75           | 16.25 | 16.10 |
| PESO DEL TARRO       | gr             | 21.00 | 21.00 | 21.00           | 8.01  | 8.01  |
| PESO DEL AGUA        | gr             | 2.42  | 2.40  | 2.26            | 1.35  | 1.91  |
| PESO DEL SUELO SECO  | gr             | 5.22  | 5.11  | 5.48            | 8.73  | 8.11  |
| HUMEDAD %            | %              | 30.45 | 32.42 | 31.42           | 11.41 | 15.42 |
| N° DE GOLPES         |                | 30    | 25    | 15              |       |       |

LÍMITE LIQUIDO % : 30.79      LÍMITE PLÁSTICO % : 11.33

ÍNDICE PLÁSTICO % : 19.41

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

INGENIERO TECNICO EN INGENIERIA CIVIL  
CIP: 10317



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



### ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO (ASTM D422)

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

**PROYECTO** : ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES DE LA CAPA DE SUBRASANTE CON INCLUSION DE PORCENTAJES VARIABLES DE CENIZA DE TALLO DE BANANO Y FIBRAS DE BAMBÚ EN LA CARRETERA ARAPA - AZÁNGARO 2024

**SOLICITANTE** : BACHILLER FRANCO ROSYNALDO HUANCA TACA

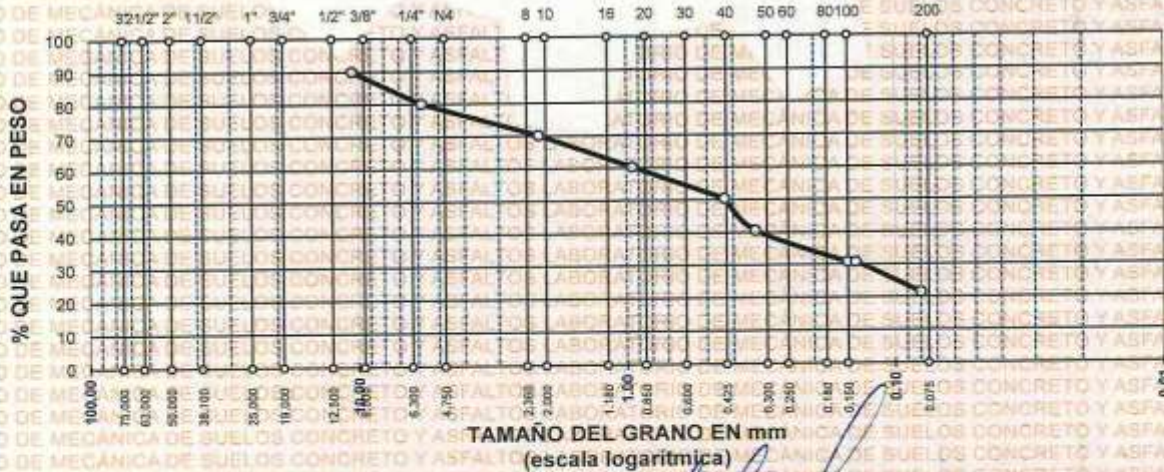
**LUGAR** : LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS CONCRETO Y ASFALTO U.A.N.C.V. - JULIACA

**MUESTRA** : CALICATA 1 - MUESTRA 1

**FECHA** : 17 DE JUNIO DEL 2024

| TAMICES ASTM | ABERTURA mm | PESO RETENIDO | %RETENIDO PARCIAL | %RETENIDO ACUMULADO | % QUE PASA | ESPECIF. | TAMAÑO MAXIMO:<br>DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA |
|--------------|-------------|---------------|-------------------|---------------------|------------|----------|---|
| 3"           | 74.000      |               |                   |                     |            |          | P.L.= 1000.00                               |
| 2 1/2"       | 63.000      |               |                   |                     |            |          | P.L.= 786.05                                |
| 2"           | 51.000      |               |                   |                     |            |          | P.P.= 213.95                                |
| 1 1/2"       | 39.100      |               |                   |                     |            |          | % W = 18.65                                 |
| 1"           | 24.000      |               |                   |                     |            |          | <b>LIMITES DE CONSISTENCIA:</b>             |
| 3/4"         | 20.000      |               |                   |                     |            |          | LL.= 30.46                                  |
| 1/2"         | 13.500      |               |                   |                     |            |          | L.P.= 11.46                                 |
| 3/8"         | 10.500      | 100.00        | 10.00             | 10.00               | 90.00      |          | I.P.= 19.00                                 |
| 1/4"         | 5.200       |               |                   |                     |            |          | <b>CARACT. GRANULOMÉTRICAS:</b>             |
| No4          | 5.780       | 99.33         | 9.93              | 19.93               | 80.07      |          | D10= — Cu= —                                |
| No8          | 2.650       |               |                   |                     |            |          | D30= 0.135 Cc= —                            |
| No10         | 2.120       | 99.12         | 9.91              | 29.85               | 70.16      |          |   |
| No16         | 1.070       |               |                   |                     |            |          |   |
| No20         | 0.950       | 99.06         | 9.91              | 39.75               | 60.25      |          |   |
| No30         | 0.500       |               |                   |                     |            |          |   |
| No40         | 0.430       | 98.06         | 9.81              | 49.56               | 50.44      |          |   |
| No 50        | 0.330       | 98.78         | 9.88              | 59.44               | 40.57      |          |   |
| No60         | 0.270       |               |                   |                     |            |          |   |
| No80         | 0.160       |               |                   |                     |            |          |   |
| No100        | 0.140       | 98.06         | 9.81              | 69.24               | 30.76      |          |   |
| No200        | 0.080       | 93.64         | 9.36              | 78.61               | 21.40      |          |   |
| BASE         |             | 213.95        | 21.40             | 100.00              | 0.00       |          |   |
| TOTAL        |             | 1000.00       | 100.00            |                     |            |          |   |
| % PERDIDA    |             | 21.40         |                   |                     |            |          |   |

### CURVA GRANULOMÉTRICA



*[Firma manuscrita]*  
M.S.C.A.  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS



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



### ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO (ASTM D422)

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

**PROYECTO** : ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES DE LA CAPA DE SUBRASANTE CON INCLUSIÓN DE PORCENTAJES VARIABLES DE CENIZA DE TALLO DE BANANO Y FIBRAS DE BAMBÚ EN LA CARRETERA ARAPA - AZÁNGARO 2024

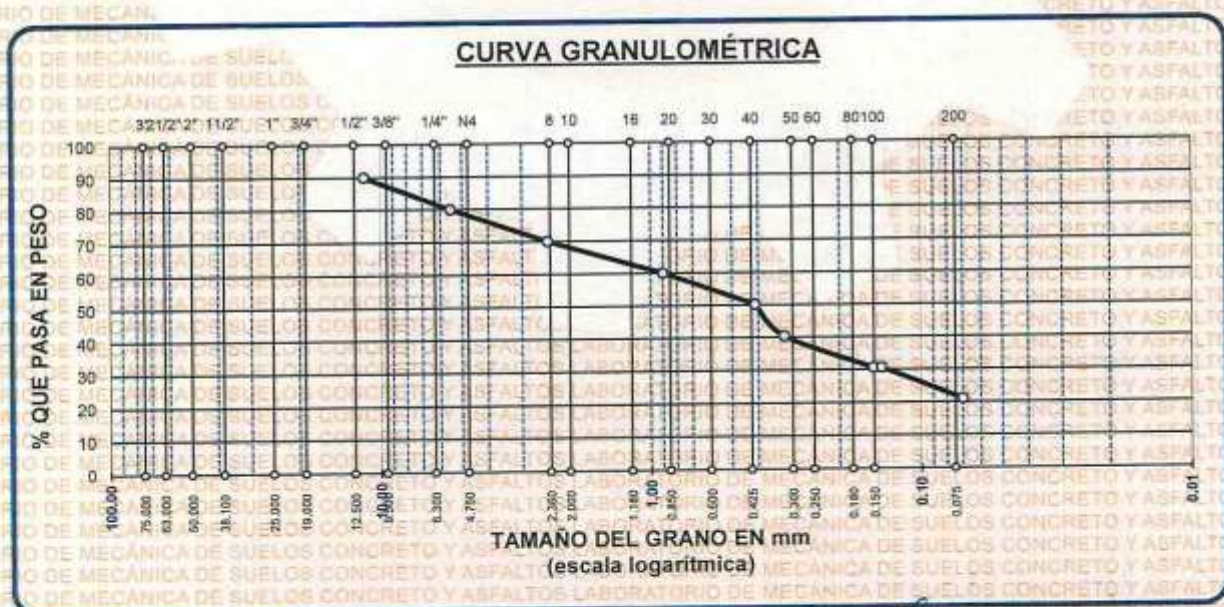
**SOLICITANTE** : BACHILLER FRANCO ROSYNALDO HUANCA TACA

**LUGAR MUESTRA** : LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS CONCRETO Y ASFALTO U.A.N.C.V - JULIACA

**MUESTRA** : CALICATA 2 - MUESTRA 2

**FECHA** : 17 DE JUNIO DEL 2024

| TAMICES ASTM | ABERTURA mm | PESO RETENIDO | %RETENIDO PARCIAL | %RETENIDO ACUMULADO | % QUE PASA | ESPECIF. | TAMANO MAXIMO:            |
|--------------|-------------|---------------|-------------------|---------------------|------------|----------|---------------------------|
| 3"           | 74.000      |               |                   |                     |            |          | DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA |
| 2 1/2"       | 21.000      |               |                   |                     |            |          | P.I.= 1000.00             |
| 2"           | 52.000      |               |                   |                     |            |          | P.L.= 790.92              |
| 1 1/2"       | 39.000      |               |                   |                     |            |          | P.P.= 209.08              |
| 1"           | 27.000      |               |                   |                     |            |          | % w = 19.54               |
| 3/4"         | 17.000      |               |                   |                     |            |          | LIMITES DE CONSISTENCIA:  |
| 1/2"         | 14.000      |               |                   |                     |            |          | L.L.= 25.79               |
| 3/8"         | 11.500      | 100.00        | 10.00             | 10.00               | 90.00      |          | L.P.= 11.26               |
| 1/4"         | 7.200       |               |                   |                     |            |          | I.P.= 17.79               |
| No4          | 5.500       | 99.96         | 10.00             | 20.00               | 80.00      |          | CARACT. GRANULOMÉTRICAS:  |
| No8          | 3.030       |               | 9.96              | 29.96               | 70.04      |          | D10= — Cu= —              |
| No10         | 2.400       | 99.62         | 9.96              | 29.96               | 70.04      |          | D30= 0.136 Cc= —          |
| No16         | 1.420       |               |                   |                     |            |          | D60= 0.90                 |
| No20         | 0.900       | 99.54         | 9.95              | 39.91               | 60.09      |          | CLASIFICACIÓN:            |
| No30         | 0.520       |               | 9.90              | 49.81               | 50.19      |          | I.G. = :                  |
| No40         | 0.410       | 99.01         | 9.90              | 49.81               | 50.19      |          | SUCS : CL                 |
| No 50        | 0.320       | 98.62         | 9.86              | 59.68               | 40.33      |          | ASSTHO :                  |
| No60         | 0.220       |               |                   |                     |            |          | OBSERVACIONES:            |
| No80         | 0.190       |               |                   |                     |            |          |                           |
| No100        | 0.140       | 97.64         | 9.76              | 69.44               | 30.56      |          |                           |
| No200        | 0.070       | 96.53         | 9.65              | 79.09               | 20.91      |          |                           |
| BASE         |             | 209.08        | 20.91             | 100.00              | 0.00       |          |                           |
| TOTAL        |             | 1000.00       | 100.00            |                     |            |          |                           |
| % PERDIDA    |             | 20.91         |                   |                     |            |          |                           |



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS  
JULIACA

*[Signature]*



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



### ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO (ASTM D422)

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

**PROYECTO** ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES DE LA CAPA DE SUBRASANTE CON INCLUSIÓN DE PORCENTAJES VARIABLES DE CENIZA DE TALLO DE BANANO Y FIBRAS DE BAMBÚ EN LA CARRETERA ARAPA - AZÁNGARO 2024

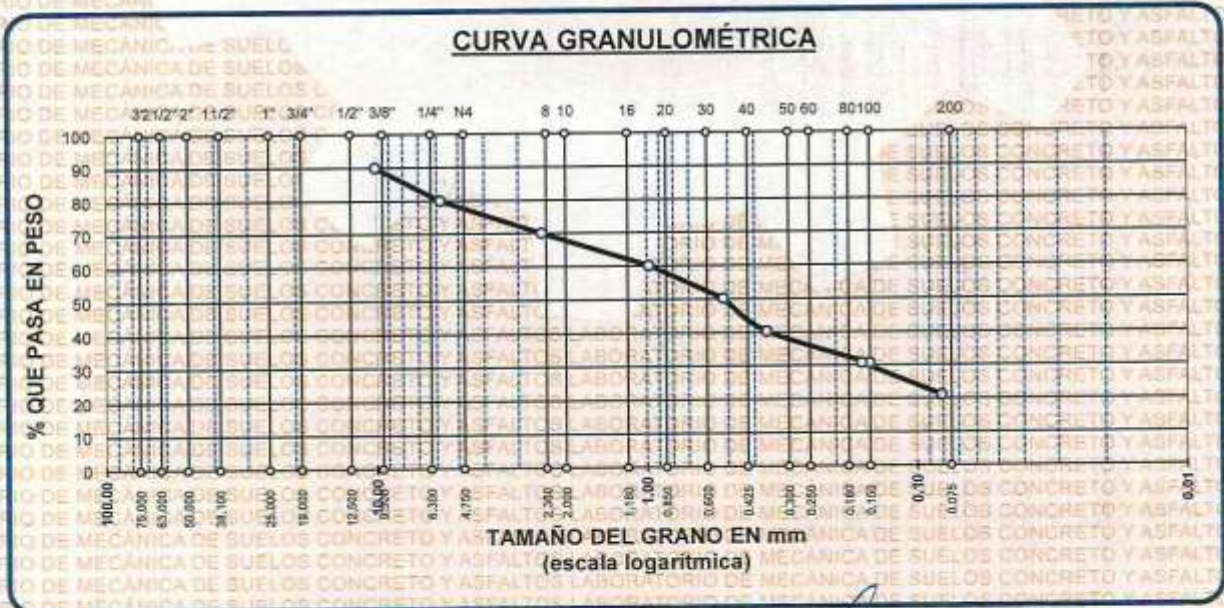
**SOLICITANTE** BACHILLER-FRANCO ROSYNALDO HUANCA TAGA

**LUGAR** LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS CONCRETO Y ASFALTO U.A.N.C.V - JULIACA

**MUESTRA** CALICATA 3 - MUESTRA 3

**FECHA** 17 DE JUNIO DEL 2024

| TAMICES ASTM | ABERTURA mm | PESO RETENIDO | %RETENIDO PARCIAL | %RETENIDO ACUMULADO | % QUE PASA | ESPECIF. | TAMANO MAXIMO:            |
|--------------|-------------|---------------|-------------------|---------------------|------------|----------|---------------------------|
| 3"           | 71.000      |               |                   |                     |            |          | DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA |
| 2 1/2"       | 60.000      |               |                   |                     |            |          | P.I.= 1000.00             |
| 2"           | 54.000      |               |                   |                     |            |          | P.L.= 788.96              |
| 1 1/2"       | 39.000      |               |                   |                     |            |          | P.P.= 211.04              |
| 1"           | 27.000      |               |                   |                     |            |          | %W = 20.15                |
| 3/4"         | 20.000      |               |                   |                     |            |          | LIMITES DE CONSISTENCIA:  |
| 1/2"         | 13.500      |               |                   |                     |            |          | L.L.= 30.79               |
| 3/8"         | 10.100      | 100.00        | 10.00             | 10.00               | 90.00      |          | L.P.= 11.33               |
| 1/4"         | 7.100       |               |                   |                     |            |          | I.P.= 19.41               |
| No4          | 5.800       | 99.92         | 9.99              | 19.99               | 80.01      |          | CARACT. GRANULOMÉTRICAS:  |
| No8          | 3.200       |               |                   |                     |            |          | D10= --- Cu= ---          |
| No10         | 2.450       | 99.74         | 9.97              | 29.97               | 70.03      |          | D30= 0.154 Cc= ---        |
| No16         | 1.700       |               |                   |                     |            |          | D60= 0.98                 |
| No20         | 0.980       | 99.45         | 9.95              | 39.91               | 60.09      |          | CLASIFICACIÓN:            |
| No30         | 0.774       |               |                   |                     |            |          | I.G. = :                  |
| No40         | 0.520       | 99.03         | 9.90              | 49.81               | 50.19      |          | SUCS : CL                 |
| No 50        | 0.360       | 98.78         | 9.88              | 59.69               | 40.31      |          | ASSTHO :                  |
| No60         | 0.270       |               |                   |                     |            |          | OBSERVACIONES:            |
| No80         | 0.200       |               |                   |                     |            |          |                           |
| No100        | 0.160       | 96.06         | 9.61              | 69.30               | 30.70      |          |                           |
| No200        | 0.081       | 95.98         | 9.60              | 78.90               | 21.10      |          |                           |
| BASE         |             | 211.04        | 21.10             | 100.00              | 0.00       |          |                           |
| TOTAL        |             | 1000.00       | 100.00            |                     |            |          |                           |
| % PERDIDA    |             | 21.10         |                   |                     |            |          |                           |



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
 VICER-RECTORADO DE INVESTIGACIÓN  
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL  
 JULIACA

*[Signature]*



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

### ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

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

|               |   |
|---------------|---|
| TESIS :       | ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES DE LA CAPA DE SUBRASANTE CON INCLUSIÓN DE PORCENTAJES VARIABLES DE CENIZA DE TALLO DE BANANO Y FIBRAS DE BAMBÚ EN LA CARRETERA ARAPA – AZANGARO 2024 |
| SOLICITANTE : | Bach. FRANCO ROSYNALDO HUANCA TACA  |
| UBICACIÓN :   | VÍA ARAPA - AZANGARO  |
| PROGRESIVA :  | KM 0+500  |
| MUESTRA :     | CALICATA 1 - MUESTRA 1  |
| FECHA :       | 17 DE JUNIO DEL 2024  |

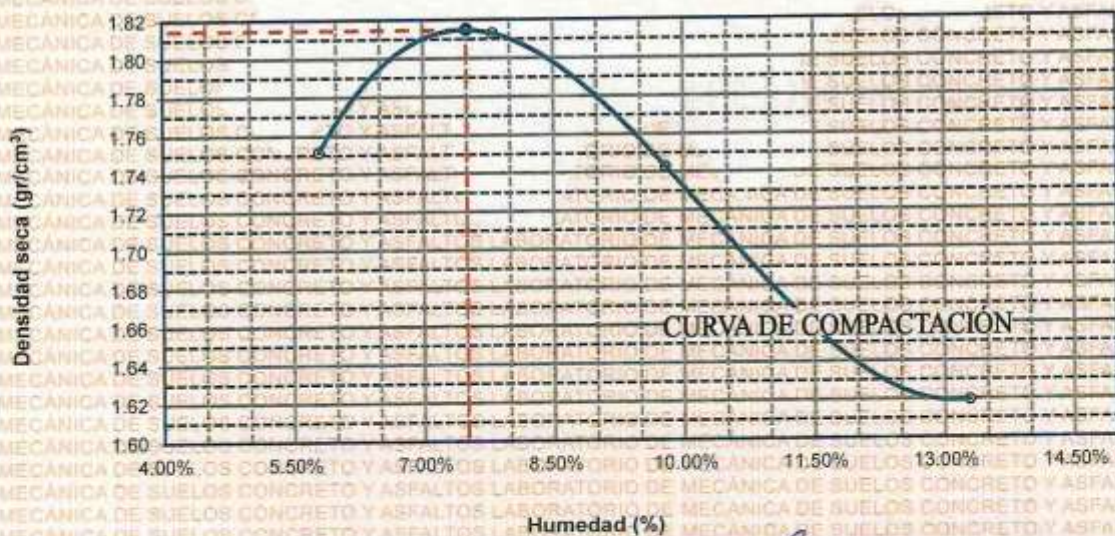
|               |   |                     |                      |
|---------------|---|---------------------|----------------------|
| MOLDE No :    | 1 | VOLUMEN DEL MOLDE : | 2105 cm <sup>3</sup> |
| No DE CAPAS : | 5 | GOLPES POR CAPA :   | 56 golpes            |

|                           |                      |       |       |       |       |
|---------------------------|----------------------|-------|-------|-------|-------|
| Peso Suelo Humedo + Molde | gr.                  | 9874  | 10088 | 10002 | 9836  |
| Peso del Molde            | gr.                  | 5974  | 5974  | 5974  | 5974  |
| Peso del Suelo Humedo     | gr/cm <sup>3</sup> . | 3900  | 4114  | 4028  | 3862  |
| Densidad del Suelo Humedo | gr/cm <sup>3</sup> . | 1.853 | 1.954 | 1.914 | 1.835 |

| Capsula No                    | No  | SUP.   | INF.   | SUP.   | INF.   | SUP.   | INF.   | SUP.   | INF.   |
|-------------------------------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Suelo Humedo + Capsula        | gr. | 423.88 | 412.88 | 441.88 | 421.36 | 433.25 | 412.36 | 409.67 | 388.34 |
| Peso del Suelo Seco + Capsula | gr. | 403.74 | 394.25 | 416.74 | 393.42 | 401.25 | 380.74 | 360.33 | 359.49 |
| Peso del Agua                 | gr. | 20.14  | 18.63  | 25.14  | 27.94  | 32.00  | 31.62  | 49.34  | 28.85  |
| Peso de la Capsula            | gr. | 64.96  | 64.36  | 63.96  | 64.36  | 66.78  | 65.36  | 65.55  | 65.47  |
| Peso del Suelo Seco           | gr. | 338.78 | 329.89 | 352.78 | 329.06 | 334.47 | 315.38 | 294.78 | 293.02 |
| % de Humedad                  | %   | 5.94%  | 5.65%  | 7.13%  | 8.49%  | 9.57%  | 10.03% | 16.74% | 9.85%  |
| Promedio de Humedad           | %   | 5.80%  |        | 7.81%  |        | 9.80%  |        | 13.29% |        |
| Densidad del Suelo Seco       | %   | 1.751  |        | 1.813  |        | 1.743  |        | 1.619  |        |

|         |                |                        |                          |
|---------|----------------|------------------------|--------------------------|
| METODO: | ASTM D - 1557  | MAXIMA DENSIDAD SECA : | 1.775 gr/cm <sup>3</sup> |
|         | MODIFICADO "C" | HUMEDAD OPTIMA :       | 8.17%                    |

#### RELACIÓN HUMEDAD - DENSIDAD



*[Firma manuscrita]*  
 Director del Laboratorio de Mecánica de Suelos, Concreto y Asfaltos

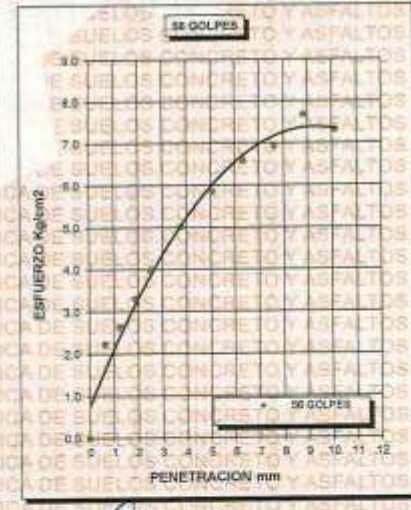
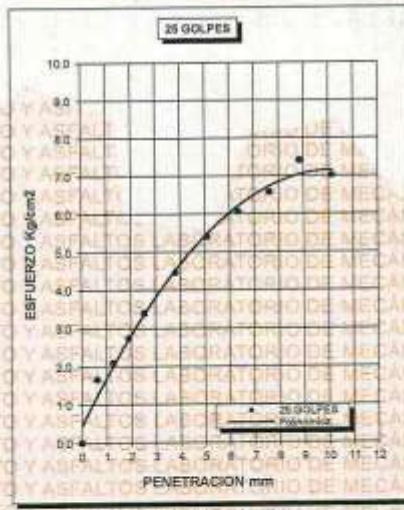
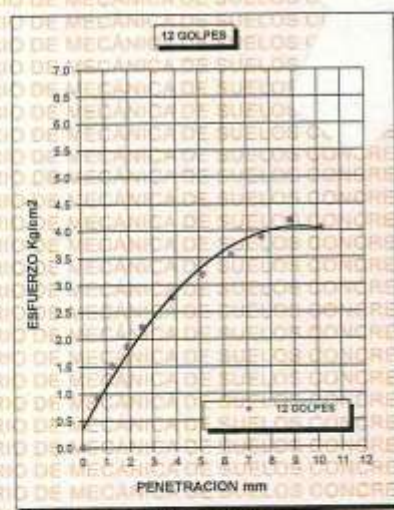
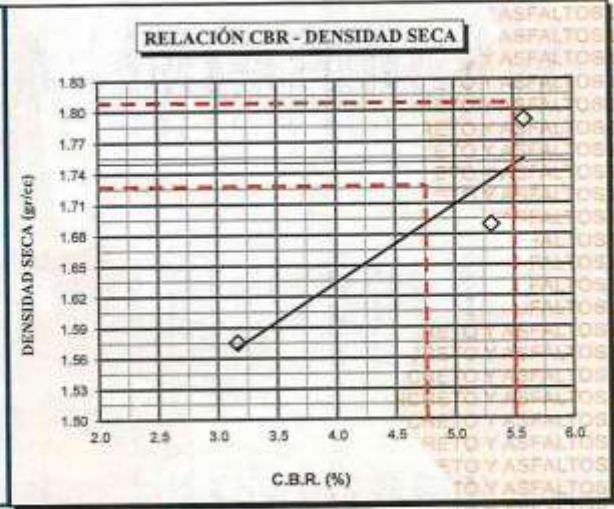
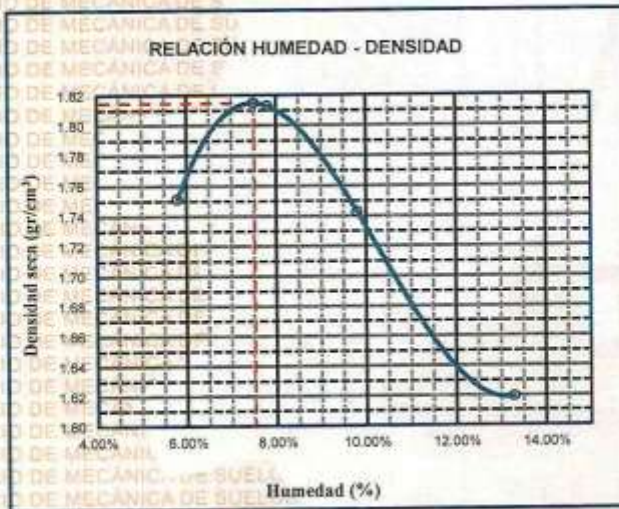




UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS



|                     |   |  |
|---------------------|---|--|
| <b>PROYECTO :</b>   | "ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES DE LA CAPA DE SUBRASANTE CON INCLUSIÓN DE PORCENTAJES VARIABLES DE CENIZA DE TALLO DE BANANO Y FIBRAS DE BAMBÚ EN LA CARRETERA ARAPA - AZÁNGARO 2024" | <b>METODO DE COMPACTACIÓN ASTM D1557-91</b>            |
| <b>SOLICITADO :</b> | Bach. FRANCO ROSYNALDO HUANCA TACA  | <b>MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm<sup>3</sup>.)</b> 1.815 |
| <b>UBICACIÓN :</b>  | VÍA ARAPA - AZANGARO  | <b>HUMEDAD OPTIMA (%)</b> 8.17%                        |
| <b>PROGRESIVA :</b> | KM 0+500  | <b>CBR AL 100 DE M.D.S. (%)</b> 6.69                   |
| <b>MUESTRA :</b>    | SUELO NATURAL - CALICATA - M1   | <b>CBR AL 95% DE M.D.S. (%)</b> 5.71                   |
| <b>FECHA :</b>      | 17 DE JUNIO DEL 2024  | <b>CLASIFICACIÓN :</b> CL                              |
|                     |   | <b>AASHTO :</b> A-2                                    |
|                     |   | <b>EMBEBIDO :</b> 4 DIAS                               |



*[Firma manuscrita]*  
 Ing. Rosynaldo Juan Franco  
 M.E.C.A.  
 UANCV



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



### ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

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

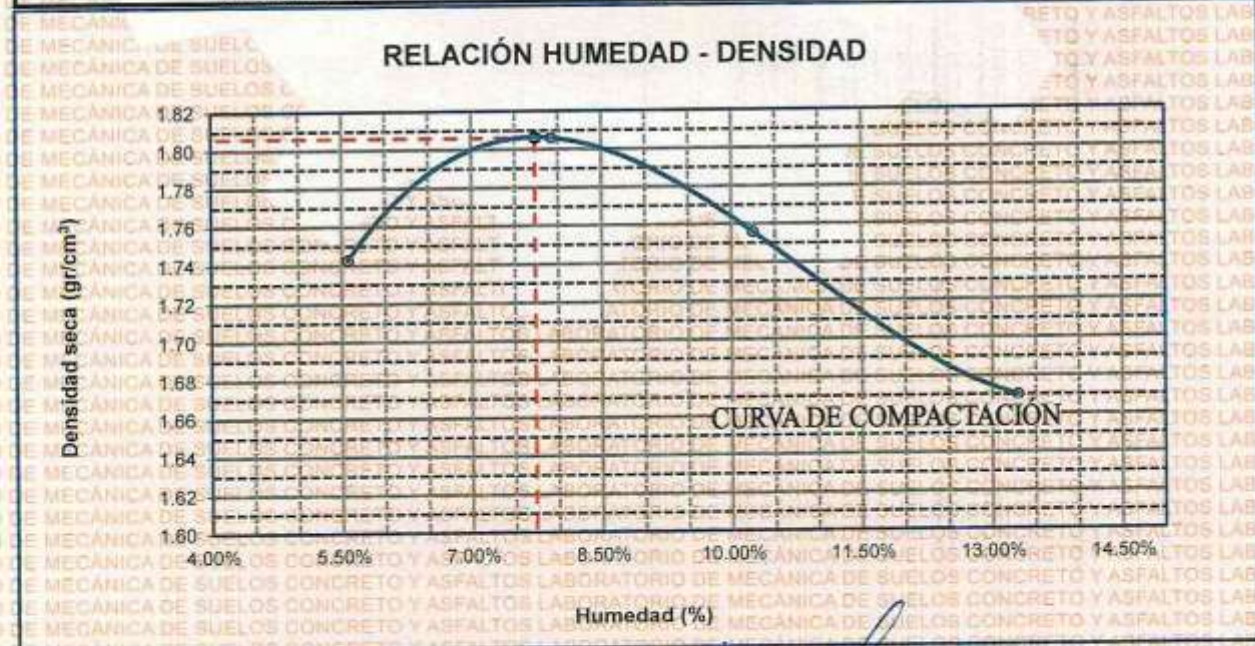
|                    |   |
|--------------------|---|
| <b>TESIS</b>       | ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES DE LA CAPA DE SUBRASANTE CON INCLUSION DE PORCENTAJES VARIABLES DE CENIZA DE TALLO DE BANANO Y FIBRAS DE BAMBÚ EN LA CARRETERA ARAPA - AZANGARÓ 2024 |
| <b>SOLICITANTE</b> | Bach. FRANCO ROSYNALDO HUANCA TACA  |
| <b>UBICACIÓN</b>   | VÍA ARAPA - AZANGARÓ  |
| <b>PROGRESIVA</b>  | KM 2+500  |
| <b>MUESTRA</b>     | CALICATA 2 - MUESTRA 2  |
| <b>FECHA</b>       | 17 DE JUNIO DEL 2024  |

|                    |   |                          |                      |
|--------------------|---|--------------------------|----------------------|
| <b>MOLDE No</b>    | 1 | <b>VOLUMEN DEL MOLDE</b> | 2105 cm <sup>3</sup> |
| <b>No DE CAPAS</b> | 5 | <b>GOLPES POR CAPA</b>   | 56 golpes            |

|                           |                      |       |       |       |       |
|---------------------------|----------------------|-------|-------|-------|-------|
| Peso Suelo Húmedo + Molde | gr.                  | 9847  | 10077 | 10049 | 9957  |
| Peso del Molde            | gr.                  | 5974  | 5974  | 5974  | 5974  |
| Peso del Suelo Húmedo     | gr/cm <sup>3</sup> . | 3873  | 4103  | 4075  | 3983  |
| Densidad del Suelo-Húmedo | gr/cm <sup>3</sup> . | 1.840 | 1.949 | 1.936 | 1.892 |

| Capsula No                     | No  | SUP.   | INF.   | SUP.   | INF.   | SUP.   | INF.   | SUP.   | INF.   |
|--------------------------------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Suelo Húmedo + Capsula         | gr. | 425.46 | 412.52 | 441.73 | 421.62 | 434.35 | 412.63 | 411.89 | 390.67 |
| Peso del Suelo Seco + Capsula  | gr. | 405.12 | 395.43 | 416.71 | 392.67 | 399.81 | 380.65 | 381.41 | 362.35 |
| Peso del Agua                  | gr. | 20.34  | 17.09  | 25.02  | 28.75  | 34.54  | 31.98  | 50.48  | 28.32  |
| Peso de la Capsula             | gr. | 84.87  | 84.79  | 83.77  | 84.77  | 86.25  | 85.45  | 85.85  | 85.37  |
| Peso del Suelo Seco            | gr. | 340.25 | 330.64 | 352.94 | 328.10 | 333.56 | 315.20 | 295.76 | 295.98 |
| % de Humedad                   | %   | 5.98%  | 5.17%  | 7.09%  | 8.76%  | 10.35% | 10.15% | 17.07% | 9.54%  |
| <b>Promedio de Humedad</b>     | %   | 5.57%  |        | 7.93%  |        | 10.25% |        | 13.30% |        |
| <b>Densidad del Suelo Seco</b> | %   | 1.743  |        | 1.806  |        | 1.756  |        | 1.670  |        |

|                |                |                             |                          |
|----------------|----------------|-----------------------------|--------------------------|
| <b>METODO:</b> | ASTM D - 1557  | <b>MAXIMA DENSIDAD SECA</b> | 1.780 gr/cm <sup>3</sup> |
|                | MODIFICADO "C" | <b>HUMEDAD OPTIMA</b>       | 8.37%                    |



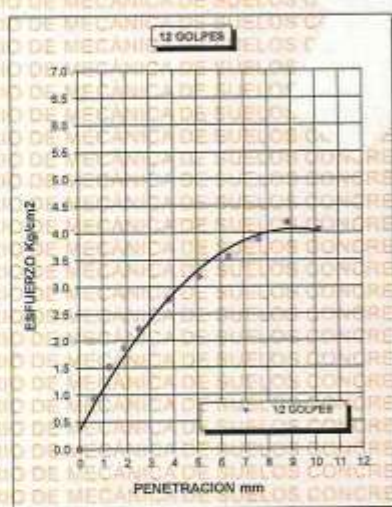
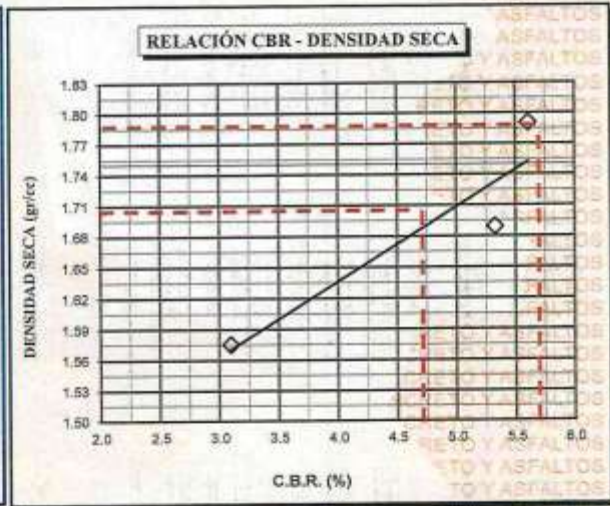
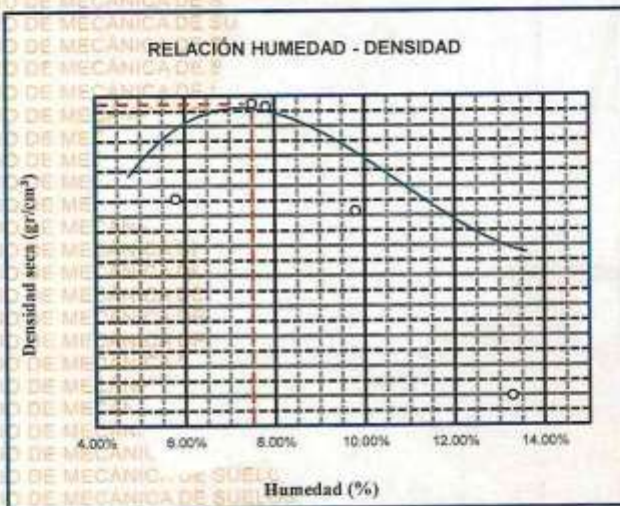
INVESTIGADOR RESPONSABLE  
EFCP - CAP. INGENIERÍA CIVIL  
Bach. Rosynaldo Juan Taca  
C.I. 4577257



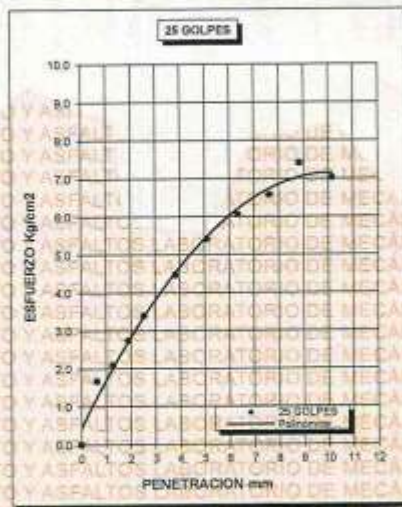
**UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"**  
**FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**  
**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS**



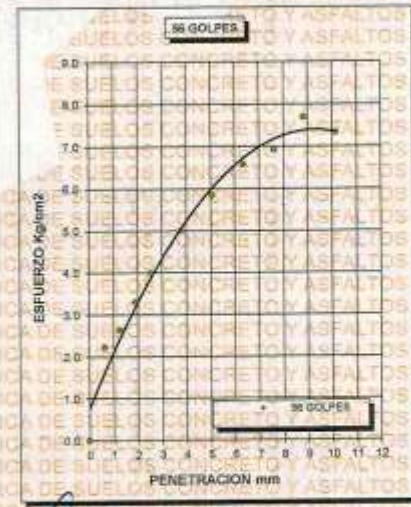
|                     |   |   |
|---------------------|---|---|
| <b>PROYECTO :</b>   | "ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES DE LA CAPA DE SUBRASANTE CON INCLUSIÓN DE PORCENTAJES VARIABLES DE CENIZA DE TALLO DE BANANO Y FIBRAS DE BAMBÚ EN LA CARRETERA ÁRAPA - AZANGARO 2024" | <b>METODO DE COMPACTACIÓN ASTM D1557-91</b>           |
| <b>SOLICITADO :</b> | Bach. FRANCO ROSYNALDO HUANCA TACA  | <b>MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm<sup>3</sup>)</b> 1.806 |
| <b>UBICACIÓN :</b>  | VÍA ARAPA - AZANGARO  | <b>HUMEDAD OPTIMA (%)</b> 8.37%                       |
| <b>PROGRESIVA :</b> | KM 2+500  | <b>CBR AL 100 DE M.D.S. (%)</b> 5.61                  |
| <b>MUESTRA :</b>    | SUELO NATURAL - CALICATA - M2   | <b>CBR AL 95% DE M.D.S. (%)</b> 5.33                  |
| <b>FECHA :</b>      | 17 DE JUNIO DEL 2024  | <b>CLASIFICACIÓN :</b> CL                             |
|                     |   | <b>AASHTO :</b> A-2                                   |
|                     |   | <b>EMBEBIDO :</b> 4 DIAS                              |



CBR 3.10



CBR 5.33



CBR 5.61

*[Firma manuscrita]*

**LABORATORIO M.E.C.A.**

**UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

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



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



### ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

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

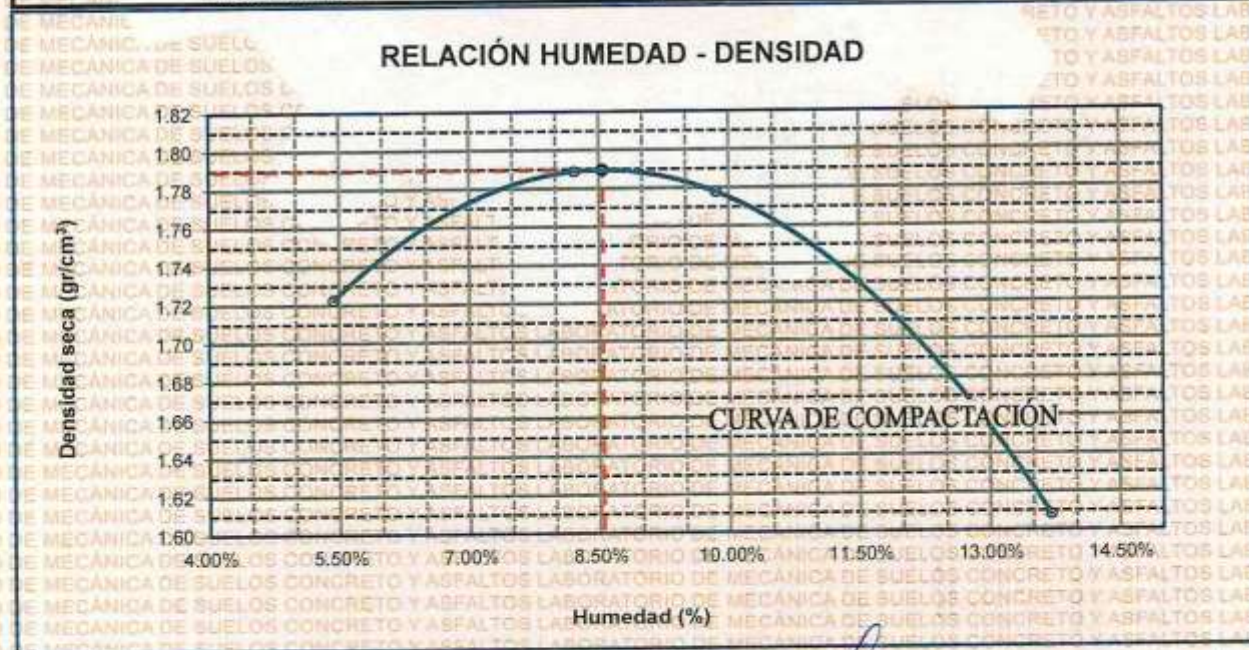
|             |   |
|-------------|---|
| TESIS       | : ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES DE LA CAPA DE SUBRASANTE CON INCLUSIÓN DE PORCENTAJES VARIABLES DE CENIZA DE TALLO DE BANANO Y FIBRAS DE BAMBÚ EN LA CARRETERA ARAPA - AZÁNGARO 2024 |
| SOLICITANTE | : Bach. FRANCO ROSYNALDO HUANCA TACA  |
| UBICACIÓN   | : VÍA ARAPA - AZANGARO  |
| PROGRESIVA  | : KM 4+500  |
| MUESTRA     | : CALICATA 3 - MUESTRA 3  |
| FECHA       | : 17 DE JUNIO DEL 2024  |

|             |     |                   |                        |
|-------------|-----|-------------------|------------------------|
| MOLDE No    | : 1 | VOLUMEN DEL MOLDE | : 2105 cm <sup>3</sup> |
| No DE CAPAS | : 5 | GOLPES POR CAPA   | : 56 golpes            |

|                           |                      |       |       |       |       |
|---------------------------|----------------------|-------|-------|-------|-------|
| Peso Suelo Humedo + Molde | gr.                  | 9797  | 10049 | 10085 | 9823  |
| Peso del Molde            | gr.                  | 5974  | 5974  | 5974  | 5974  |
| Peso del Suelo Humedo     | gr/cm <sup>3</sup> . | 3823  | 4075  | 4111  | 3849  |
| Densidad del Suelo Humedo | gr/cm <sup>3</sup> . | 1.816 | 1.936 | 1.953 | 1.829 |

| Capsula No                    | No  | SUP.   | INF.   | SUP.   | INF.   | SUP.   | INF.   | SUP.   | INF.   |
|-------------------------------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Suelo Humedo + Capsula        | gr. | 420.76 | 409.56 | 438.12 | 418.99 | 430.26 | 409.28 | 406.96 | 385.78 |
| Peso del Suelo Seco + Capsula | gr. | 402.24 | 391.95 | 413.65 | 388.35 | 398.79 | 377.35 | 356.48 | 356.90 |
| Peso del Agua                 | gr. | 18.52  | 17.61  | 24.47  | 30.63  | 31.47  | 31.93  | 50.47  | 28.16  |
| Peso de la Capsula            | gr. | 54.85  | 64.74  | 63.35  | 64.45  | 66.25  | 65.65  | 65.74  | 66.52  |
| Peso del Suelo Seco           | gr. | 337.39 | 327.21 | 350.30 | 323.90 | 332.54 | 311.70 | 290.75 | 290.08 |
| % de Humedad                  | %   | 5.49%  | 5.38%  | 6.99%  | 9.46%  | 9.46%  | 10.24% | 17.36% | 10.05% |
| Promedio de Humedad           | %   | 5.44%  |        | 8.22%  |        | 9.85%  |        | 13.71% |        |
| Densidad del Suelo Seco       | %   | 1.723  |        | 1.789  |        | 1.778  |        | 1.608  |        |

|         |                |                      |                            |
|---------|----------------|----------------------|----------------------------|
| METODO: | ASTM D - 1557  | MAXIMA DENSIDAD SECA | : 1.792 gr/cm <sup>3</sup> |
|         | MODIFICADO "C" | HUMEDAD OPTIMA       | : 7.93%                    |



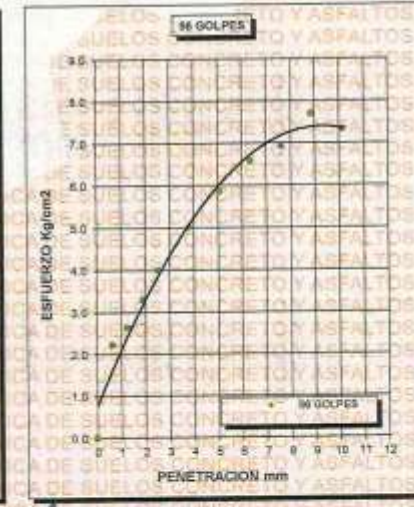
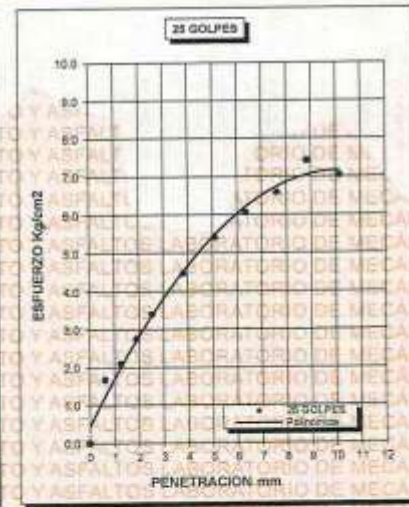
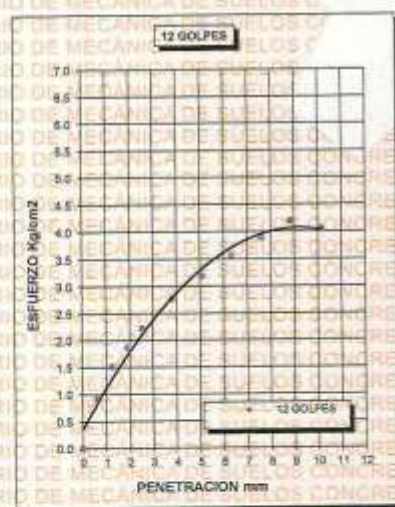
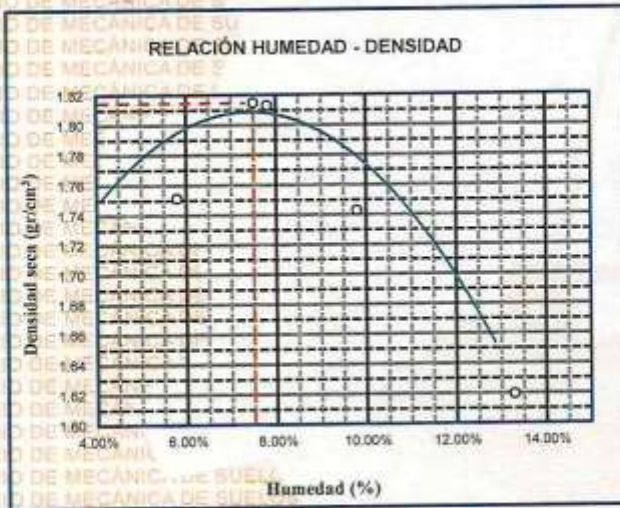
UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL  
 M.E.C.A.  
 17 DE JUNIO DEL 2024



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



|                     |   |   |
|---------------------|---|---|
| <b>PROYECTO :</b>   | *ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES DE LA CAPA DE SUBRASANTE CON INCLUSIÓN DE PORCENTAJES VARIABLES DE CENIZA DE TALLO DE BANANO Y FIBRAS DE BAMBÚ EN LA CARRETERA ARAPA - AZANGARO 2024* | <b>METODO DE COMPACTACION ASTM D1557-91</b> |
| <b>SOLICITADO :</b> | Bach. FRANCO ROSYNALDO HUANCA TACA  | <b>MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm3.)</b> 1.790 |
| <b>UBICACIÓN :</b>  | VÍA ARAPA - AZANGARO  | <b>HUMEDAD OPTIMA (%)</b> 7.93%             |
| <b>PROGRESIVA :</b> | KM 4+500  | <b>CBR AL 100 DE M.D.S. (%)</b> 5.70        |
| <b>MUESTRA :</b>    | SUELO NATURAL - CALICATA - M3   | <b>CBR AL 95% DE M.D.S. (%)</b> 5.21        |
| <b>FECHA :</b>      | 17 DE JUNIO DEL 2024  | <b>CLASIFICACIÓN :</b> CL                   |
|                     |   | <b>AASHTO :</b> A-2                         |
|                     |   | <b>EMBEBIDO :</b> 4 DIAS                    |



*[Firma manuscrita]*  
 M.S.C.A. FRANCISCO  
 Ing. Arnaldo Yana Torrey



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



## ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

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

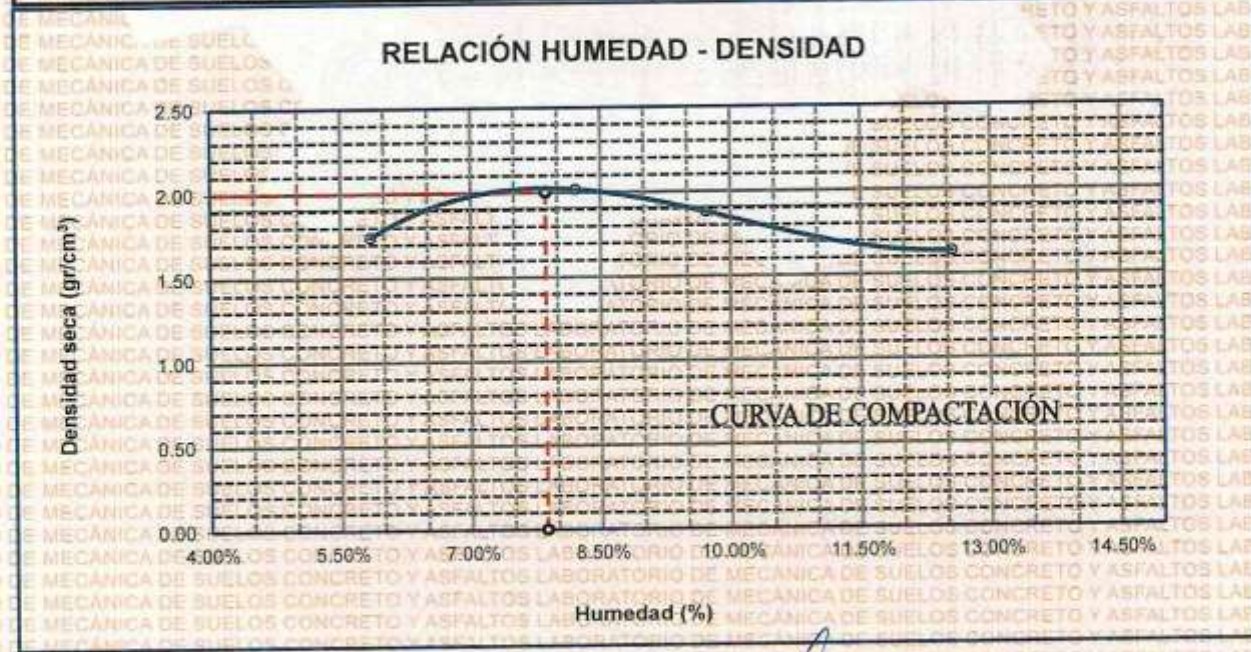
|             |   |
|-------------|---|
| TESIS       | : ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES DE LA CAPA DE SUBRASANTE CON INCLUSIÓN DE PORCENTAJES VARIABLES DE CENIZA DE TALLO DE BANANO Y FIBRAS DE BAMBÚ EN LA CARRETERA ARAPA - AZANGARO 2024 |
| SOLICITANTE | : Bach. FRANCO ROSYNALDO HUANCA TACA  |
| UBICACIÓN   | : VÍA ARAPA - AZANGARO  |
| PROGRESIVA  | : KM 0+500  |
| MUESTRA     | : CALICATA 1 - MUESTRA 1 + 5% DE CENIZA DE TALLO DE BANANO + FIBRAS DE BAMBÚ  |
| FECHA       | : 17 DE JUNIO DEL 2024  |

|             |     |                   |                        |
|-------------|-----|-------------------|------------------------|
| MOLDE No    | : 1 | VOLUMEN DEL MOLDE | : 2115 cm <sup>3</sup> |
| No DE CAPAS | : 5 | GOLPES POR CAPA   | : 56 golpes            |

|                           |                      |       |       |       |       |
|---------------------------|----------------------|-------|-------|-------|-------|
| Peso Suelo Humedo + Molde | gr.                  | 9875  | 10596 | 10341 | 9874  |
| Peso del Molde            | gr.                  | 5980  | 5980  | 5980  | 5980  |
| Peso del Suelo Humedo     | gr/cm <sup>3</sup> . | 3895  | 4616  | 4361  | 3894  |
| Densidad del Suelo Humedo | gr/cm <sup>3</sup> . | 1.842 | 2.183 | 2.062 | 1.841 |

| Capsula No                    | No  | SUP.   | INF.   | SUP.   | INF.   | SUP.   | INF.   | SUP.   | INF.   |
|-------------------------------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Suelo Humedo + Capsula        | gr. | 423.75 | 415.78 | 442.22 | 422.85 | 432.45 | 415.75 | 412.67 | 389.86 |
| Peso del Suelo Seco + Capsula | gr. | 403.02 | 397.16 | 412.12 | 396.88 | 400.21 | 384.62 | 387.25 | 360.15 |
| Peso del Agua                 | gr. | 20.73  | 18.60  | 30.10  | 25.97  | 32.24  | 31.23  | 45.42  | 29.71  |
| Peso de la Capsula            | gr. | 62.98  | 64.78  | 63.10  | 64.20  | 55.36  | 66.25  | 64.87  | 65.85  |
| Peso del Suelo Seco           | gr. | 340.04 | 332.38 | 349.02 | 332.68 | 334.85 | 318.27 | 302.38 | 294.30 |
| % de Humedad                  | %   | 6.10%  | 5.60%  | 8.62%  | 7.81%  | 9.63%  | 9.81%  | 15.02% | 10.10% |
| Promedio de Humedad           | %   | 5.85%  |        | 8.22%  |        | 9.72%  |        | 12.56% |        |
| Densidad del Suelo Seco       | %   | 1.740  |        | 2.017  |        | 1.879  |        | 1.636  |        |

|         |                |                      |                            |
|---------|----------------|----------------------|----------------------------|
| METODO: | ASTM D - 1557  | MAXIMA DENSIDAD SECA | : 2.087 gr/cm <sup>3</sup> |
|         | MODIFICADO "C" | HUMEDAD OPTIMA       | : 8.13%                    |



Rosynaldo Huanca Taca

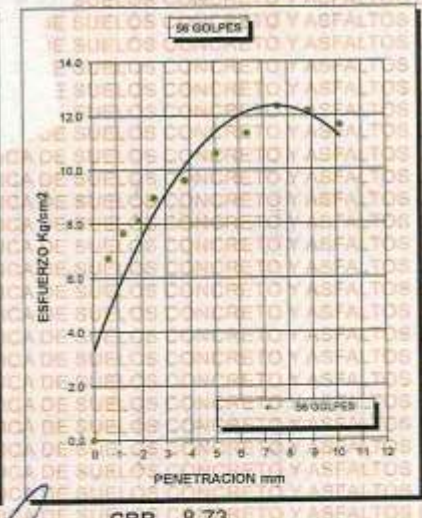
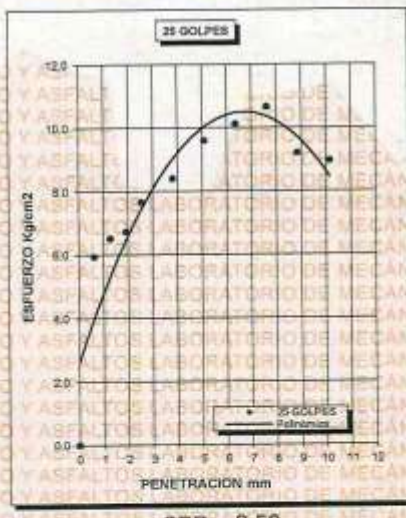
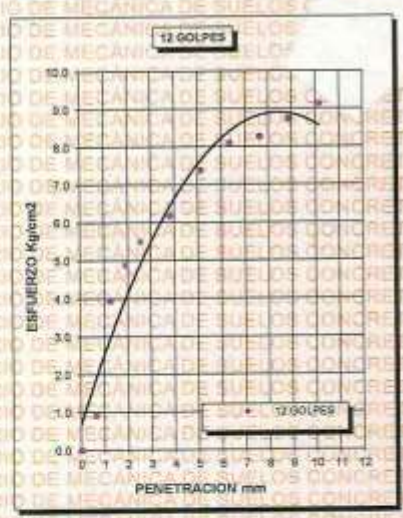
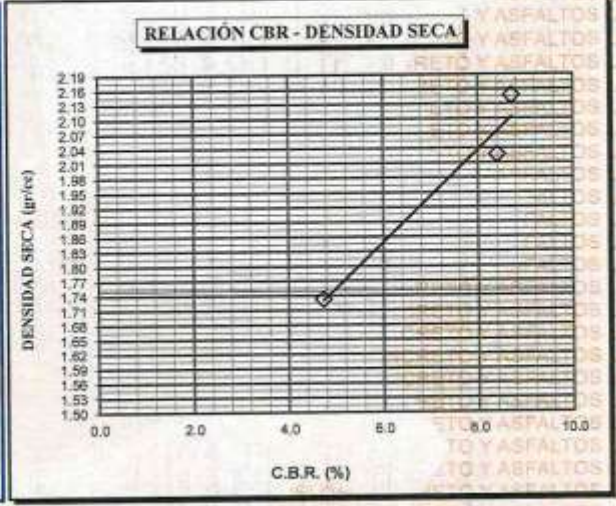
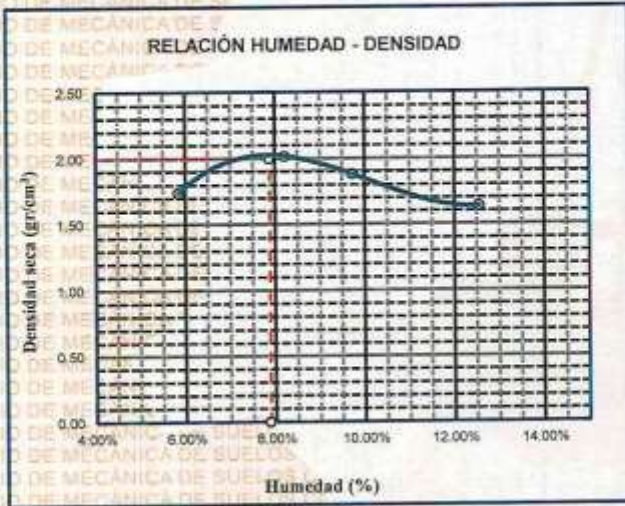
BIE - 8007 - 00050496



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



|                     |   |   |
|---------------------|---|---|
| <b>PROYECTO :</b>   | "ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES DE LA CAPA DE SUBRASANTE CON INCLUSIÓN DE PORCENTAJES VARIABLES DE CENIZA DE TALLO DE BANANO Y FIBRAS DE BAMBÚ EN LA CARRETERA ARAPA - AZÁNGARO 2024" | <b>METODO DE COMPACTACIÓN ASTM D1557-91</b>           |
| <b>SOLICITADO :</b> | Bach. FRANCO-ROSYNALDO HUANCA TACA  | <b>MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm<sup>3</sup>)</b> 2.000 |
| <b>UBICACIÓN :</b>  | VÍA ARAPA - AZANGARO  | <b>HUMEDAD OPTIMA (%)</b> 8.13%                       |
| <b>PROGRESIVA :</b> | KM 0+500  | <b>CBR AL 100 DE M.D.S. (%)</b> 8.73                  |
| <b>MUESTRA :</b>    | CALICATA 1 - MUESTRA 1 + 5% DE CENIZA DE TALLO DE BANANO + FIBRAS DE BAMBÚ  | <b>CBR AL 95% DE M.D.S. (%)</b> 8.50                  |
| <b>FECHA :</b>      | 17 DE JUNIO DEL 2024  | <b>CLASIFICACIÓN :</b> CL                             |
|                     |   | <b>AASHTO :</b> A-2                                   |
|                     |   | <b>EMBEBIDO :</b> 4 DIAS                              |



*[Firma manuscrita]*

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS  
UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL  
Av. Arce y J. Torres  
P.O. BOX 17100



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



### ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

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

|             |   |  |  |
|-------------|---|--|--|
| TESIS       | ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES DE LA CAPA DE SUBRASANTE CON INCLUSIÓN DE PORCENTAJES VARIABLES DE CENIZA DE TALLO DE BANANO Y FIBRAS DE BAMBÚ EN LA CARRETERA ARAPA - AZÁNGARO 2024 |  |  |
| SOLICITANTE | Bach. FRANCO ROSYNALDO HUANCA TACA  |  |  |
| UBICACIÓN   | VÍA ARAPA - AZANGARO  |  |  |
| PROGRESIVA  | KM 0+500  |  |  |
| MUESTRA     | CALICATA 1 - MUESTRA 1 + 7% DE CENIZA DE TALLO DE BANANO Y FIBRAS DE BAMBÚ  |  |  |
| FECHA       | 17 DE JUNIO DEL 2024  |  |  |

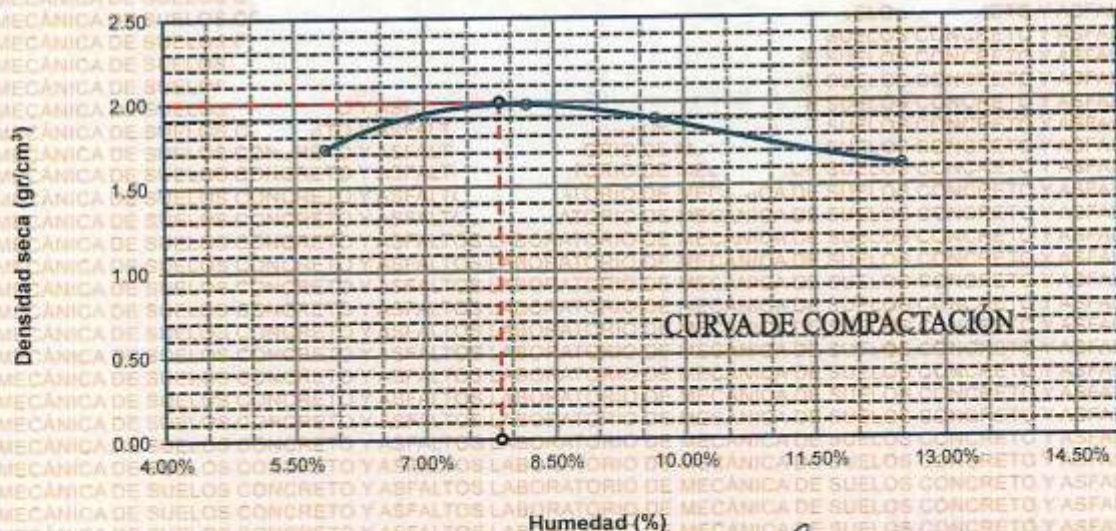
|             |   |                   |                      |
|-------------|---|-------------------|----------------------|
| MOLDE No    | 1 | VOLUMEN DEL MOLDE | 2115 cm <sup>3</sup> |
| No DE CAPAS | 5 | GOLPES POR CAPA   | 56 golpes            |

|                           |                      |       |       |       |       |
|---------------------------|----------------------|-------|-------|-------|-------|
| Peso Suelo Humedo + Molde | gr.                  | 9845  | 10522 | 10375 | 9836  |
| Peso del Molde            | gr.                  | 5980  | 5980  | 5980  | 5980  |
| Peso del Suelo Humedo     | gr/cm <sup>3</sup> . | 3865  | 4542  | 4395  | 3856  |
| Densidad del Suelo Humedo | gr/cm <sup>3</sup> . | 1.827 | 2.148 | 2.078 | 1.823 |

| Capsula No                     | No  | SUP.   | INF.   | SUP.   | INF.   | SUP.   | INF.   | SUP.   | INF.   |
|--------------------------------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Suelo Humedo + Capsula         | gr. | 424.75 | 415.89 | 442.98 | 422.76 | 432.36 | 415.88 | 412.98 | 399.96 |
| Peso del Suelo Seco + Capsula  | gr. | 403.22 | 397.75 | 412.85 | 396.96 | 400.75 | 394.36 | 367.75 | 360.25 |
| Peso del Agua                  | gr. | 21.53  | 17.94  | 30.11  | 25.60  | 31.61  | 21.52  | 45.23  | 29.71  |
| Peso de la Capsula             | gr. | 82.98  | 64.78  | 83.10  | 64.20  | 65.36  | 66.25  | 64.87  | 65.88  |
| Peso del Suelo Seco            | gr. | 340.24 | 332.97 | 349.75 | 332.76 | 335.39 | 319.11 | 302.86 | 294.40 |
| % de Humedad                   | %   | 6.33%  | 5.39%  | 8.61%  | 7.75%  | 9.42%  | 9.91%  | 14.93% | 10.09% |
| <b>Promedio de Humedad</b>     | %   | 5.88%  |        | 8.18%  |        | 9.67%  |        | 12.51% |        |
| <b>Densidad del Suelo Seco</b> | %   | 1.726  |        | 1.985  |        | 1.895  |        | 1.620  |        |

|         |                |                      |                          |
|---------|----------------|----------------------|--------------------------|
| METODO: | ASTM D - 1557  | MAXIMA DENSIDAD SECA | 2.130 gr/cm <sup>3</sup> |
|         | MODIFICADO "C" | HUMEDAD OPTIMA       | 7.74%                    |

#### RELACIÓN HUMEDAD - DENSIDAD



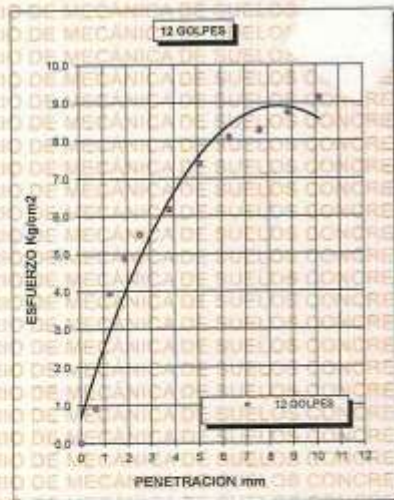
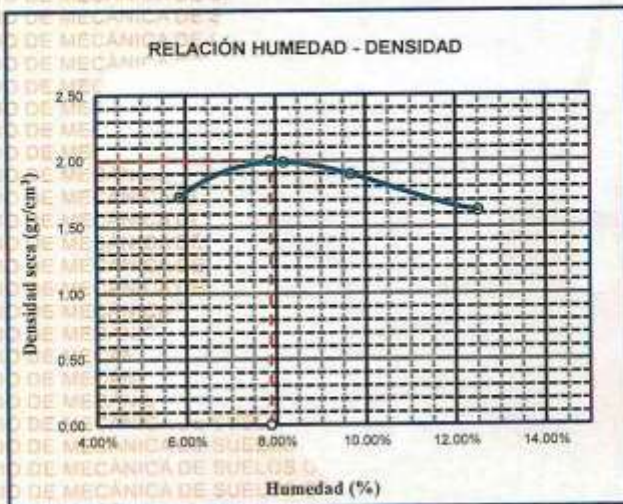
Ing. Arnaldo Yanga Torres



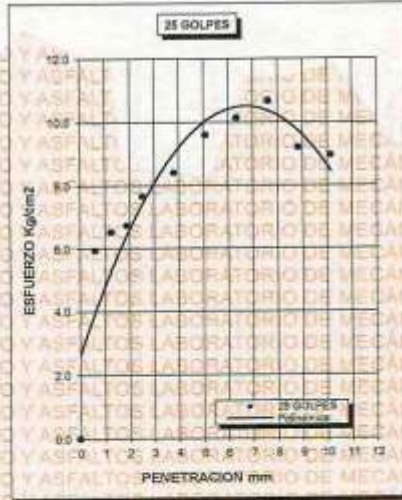
**UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"**  
**FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**  
**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS.**



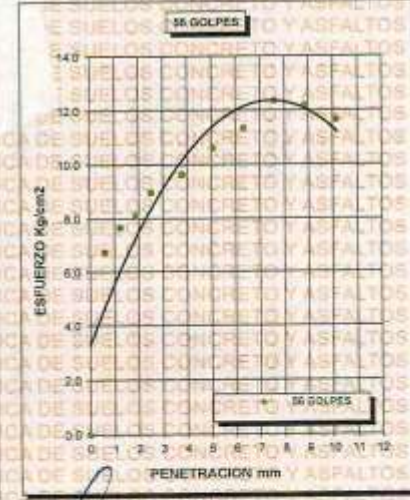
|                     |   |  |
|---------------------|---|--|
| <b>PROYECTO :</b>   | "ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES DE LA CAPA DE SUBRASANTE CON INCLUSIÓN DE PORCENTAJES VARIABLES DE CENIZA DE TALLO DE BANANO Y FIBRAS DE BAMBÚ EN LA CARRETERA ARAPA - AZANGARO 2024" | <b>METODO DE COMPACTACIÓN ASTM D1557-91</b>            |
| <b>SOLICITADO :</b> | Bach. FRANCO ROSYNALDO HUANCA TACA  | <b>MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm<sup>3</sup>.)</b> 2.000 |
| <b>UBICACIÓN :</b>  | VÍA ARAPA - AZANGARO  | <b>HUMEDAD OPTIMA (%)</b> 7.74%                        |
| <b>PROGRESIVA :</b> | KM 0+500  | <b>CBR AL 100 DE M.D.S. (%)</b> 12.49                  |
| <b>MUESTRA :</b>    | CALICATA 1 - MUESTRA 1 + 7% DE CENIZA DE TALLO DE BANANO Y FIBRAS DE BAMBU  | <b>CBR AL 95% DE M.D.S. (%)</b> 11.87                  |
| <b>FECHA :</b>      | 17-DE JUNIO DEL 2024  | <b>CLASIFICACIÓN :</b> CL                              |
|                     |   | <b>AASHTO :</b> A-2                                    |
|                     |   | <b>EMBEBIDO :</b> 4 DIAS                               |



CBR 6.42



CBR 11.87



CBR 12.49

Ing. Rosynaldo Huanca Taca  
 M.S.C. INGENIERO CIVIL  
 LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS

BIE: B007 - 00050496



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



## ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

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

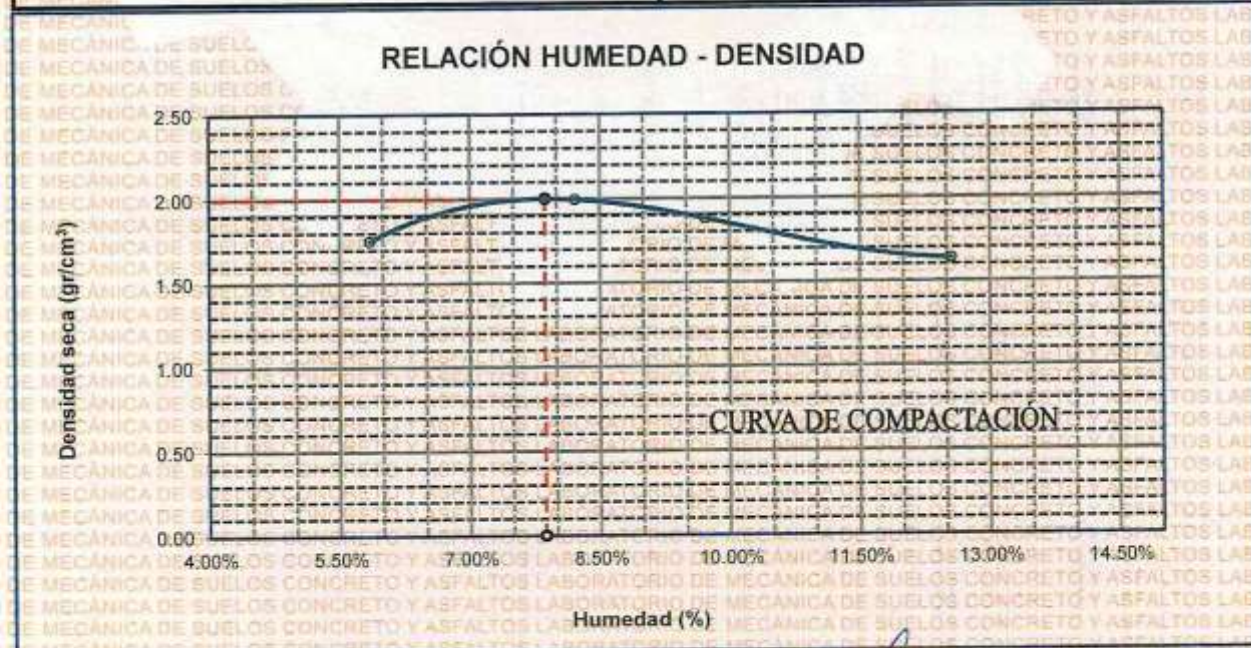
|             |  |
|-------------|--|
| TESIS       | : ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES DE LA CAPA DE SUBRASANTE CON INCLUSIÓN DE PORCENTAJES DE VARIABLES DE CENIZA DE TALLO DE BANANO Y FIBRAS DE BAMBÚ EN LA CARRETERA ARAPA - AZANGARO 2024 |
| SOLICITANTE | : Bach. FRANCO ROSYNALDO HUANCA TACA   |
| UBICACIÓN   | : VÍA ARAPA - AZANGARO   |
| PROGRESIVA  | : KM 0+500   |
| MUESTRA     | : CALICATA 1 - MUESTRA 1 + 3% DE CENIZA DE TALLO DE BANANO Y FIBRAS DE BAMBÚ   |
| FECHA       | : 17 DE JUNIO DEL 2024   |

|             |     |                   |                        |
|-------------|-----|-------------------|------------------------|
| MOLDE No    | : 1 | VOLUMEN DEL MOLDE | : 2115 cm <sup>3</sup> |
| No DE CAPAS | : 5 | GOLPES POR CAPA   | : 56 golpes            |

|                           |                      |       |       |       |       |
|---------------------------|----------------------|-------|-------|-------|-------|
| Peso Suelo Humedo + Molde | gr.                  | 9898  | 10545 | 10341 | 9874  |
| Peso del Molde            | gr.                  | 5980  | 5980  | 5980  | 5980  |
| Peso del Suelo Humedo     | gr/cm <sup>3</sup> . | 3918  | 4565  | 4361  | 3894  |
| Densidad del Suelo Humedo | gr/cm <sup>3</sup> . | 1.852 | 2.158 | 2.062 | 1.841 |

| Capsula No                    | No  | SUP.   | INF.   | SUP.   | INF.   | SUP.   | INF.   | SUP.   | INF.   |
|-------------------------------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Suelo Humedo + Capsula        | gr. | 423.75 | 415.76 | 442.22 | 422.85 | 432.45 | 415.75 | 412.67 | 389.86 |
| Peso del Suelo Seco + Capsula | gr. | 403.02 | 397.16 | 412.12 | 396.88 | 400.21 | 384.52 | 387.25 | 360.15 |
| Peso del Agua                 | gr. | 20.73  | 18.60  | 30.10  | 25.97  | 32.24  | 31.23  | 45.42  | 29.71  |
| Peso de la Capsula            | gr. | 62.98  | 64.78  | 63.10  | 64.20  | 65.36  | 66.25  | 64.87  | 65.85  |
| Peso del Suelo Seco           | gr. | 340.04 | 332.38 | 349.02 | 332.68 | 334.85 | 318.27 | 302.38 | 294.30 |
| % de Humedad                  | %   | 6.10%  | 5.60%  | 8.62%  | 7.81%  | 9.63%  | 9.61%  | 15.02% | 10.10% |
| Promedio de Humedad           | %   | 5.85%  |        | 8.22%  |        | 9.72%  |        | 12.56% |        |
| Densidad del Suelo Seco       | %   | 1.750  |        | 1.995  |        | 1.879  |        | 1.636  |        |

|         |                |                      |                            |
|---------|----------------|----------------------|----------------------------|
| METODO: | ASTM D - 1557  | MAXIMA DENSIDAD SECA | : 1.992 gr/cm <sup>3</sup> |
|         | MODIFICADO "C" | HUMEDAD OPTIMA       | : 7.46%                    |



M.Sc. Arnaldo Huanca Taca

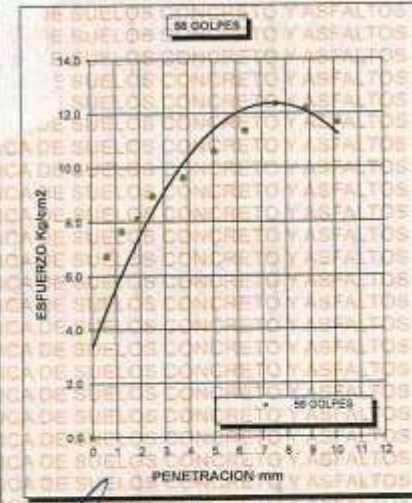
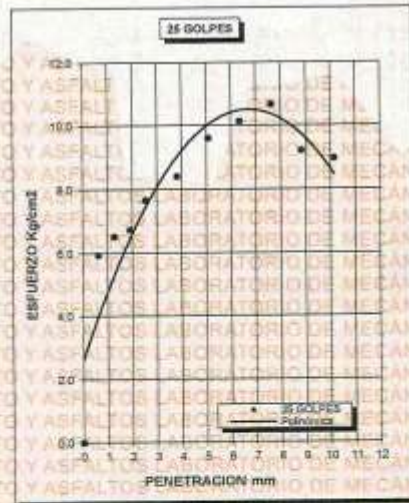
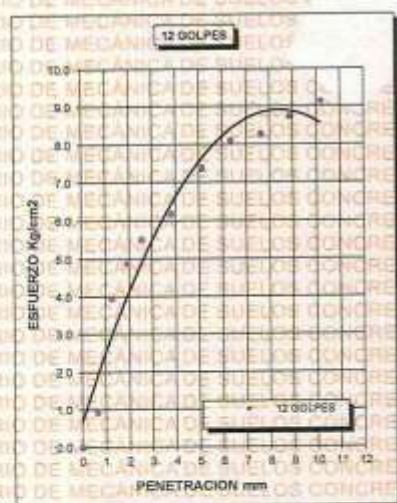
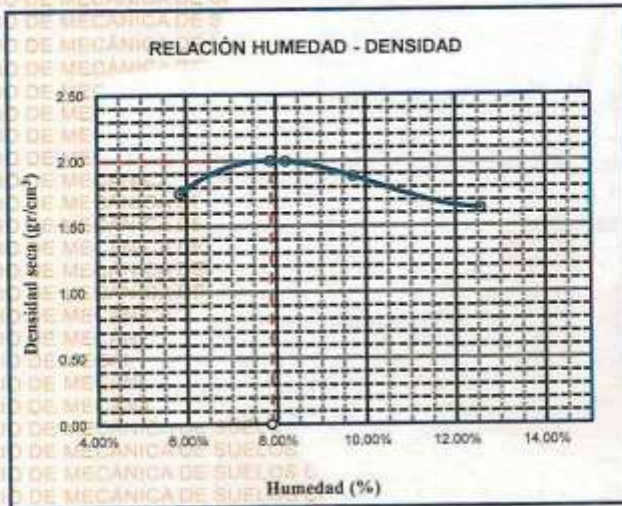




**UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"**  
**FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**  
**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS**



|                     |   |   |
|---------------------|---|---|
| <b>PROYECTO :</b>   | "ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES DE LA CAPA DE SUBRASANTE CON INCLUSIÓN DE PORCENTAJES VARIABLES DE CENIZA DE TALLO DE BANANO Y FIBRAS DE BAMBÚ EN LA CARRETERA ARAPA - AZÁNGARO 2024" | <b>METODO DE COMPACTACIÓN ASTM D1557-91</b> |
| <b>SOLICITADO :</b> | Bach. FRANCO ROSYNALDO HUANGA TACA  | <b>MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm3.)</b> 2.000 |
| <b>UBICACIÓN :</b>  | VÍA ARAPA - AZANGARO  | <b>HUMEDAD OPTIMA (%)</b> 7.46%             |
| <b>PROGRESIVA :</b> | KM 0+500  | <b>CBR AL 100 DE M.D.S. (%)</b> 7.35        |
| <b>MUESTRA :</b>    | CALICATA 1 - MUESTRA 1 + 3% DE CENIZAS DE TALLO DE BANANO Y FIBRAS DE BAMBÚ   | <b>CBR AL 95% DE M.D.S. (%)</b> 6.98        |
| <b>FECHA :</b>      | 17 DE JUNIO DEL 2024  | <b>CLASIFICACIÓN :</b> CL                   |
|                     |   | <b>AASHTO :</b> A-2                         |
|                     |   | <b>EMBEBIDO :</b> 4 DIAS                    |



*(Firma manuscrita)*  
 M.S.C. JERARDO  
 VICERRECTOR DE INVESTIGACIÓN

## Anexo 3. Panel fotográfico

**Fotografía 01.** Pesaje de las muestras en las instalaciones del laboratorio



**Fotografía 02.** Secado de muestras



**Fotografía 03.** Compactación de suelos



**Fotografía 04.** Dosificación de muestras



**Fotografía 05.** Ensayos de laboratorio



**Fotografía 06.** Análisis de muestras recabadas



**Fotografía 07.** Dosificación de muestras



**Fotografía 08.** Zarandeo de muestras





ANEXO 1  
FORMULARIO DE AUTORIZACIÓN

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

Formato digital

Fecha de entrega: 25-09-2024

1. Datos del autor (es):

Nombres y Apellidos: FRANCO ROSYNALDO HUANCA TACA

Dirección: COMUNIDAD DE HUAYLLANI VEINTE

DNI/Carné de Extranjería/Pasaporte N°: 74690705

Teléfono: 932 456 184 email: huancatacafrancorosynaldo@gmail.com

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

Dirección: \_\_\_\_\_

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

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

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

Escuela Profesional o Mención: INGENIERÍA CIVIL

Título o Grado Académico a optar: INGENIERO CIVIL

Asesor: Dr. MILTHON QUISPE HUANCA

Esta obra se encuentra dentro de las siguientes denominaciones:

Trabajo de Investigación  Tesis  Trabajo de Suficiencia Profesional  Trabajo Académico

Título: ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES DE LA CAPA DE SUBRASANTE CON  
INCLUSIÓN DE PORCENTAJES VARIABLES DE CENIZA DE TALLO DE BANANO  
Y FIBRAS DE BAMBÚ EN LA CARRETERA ARAPA - AZÁNGARO 2024

Palabras claves, (3 a 5 términos): CENIZA BANANO, FIBRAS, CBR

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

1

<sup>1</sup> Indicar si su producción intelectual ha empleado recursos tales como, instalaciones, laboratorios, insumos, equipos, bases de datos, asesoría técnica por parte del personal de la UANCV, financiamiento, entre otros relacionados.

<sup>2</sup> Si su producción intelectual se desarrolló en la UANCV totalmente o parcialmente, deberá autorizar el depósito en el Repositorio de manera obligatoria.



2. Referencia de tesis:

- Bachiller     Título     2da Especialidad     Maestría     Doctorado

3. Licencias:

a) Licencia estándar:

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

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

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

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

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

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

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

b) Licencia CREATIVE COMMONS 4.0 INTERNACIONAL:

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

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

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

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

- Sí autorizo
- No autorizo



**Jurisdicción de su Licencia**

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

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

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

Internacional

Nacional

Línea de investigación: TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN - P17

Firma de Autor



huella digital

24-09-2024

Fecha