TESIS UANCV
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
"OFICINA DE INVESTIGACIÓN"

UNIVERSIDAD ANDINA

NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ

FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

ESTABILIZACIÓN DEL SUELO DE SUBRASANTE EMPLEANDO CENIZAS DE ARBOLES ORIUNDOS EN EL DISTRITO DE VILQUECHICO, HUANCANÉ - PUNO 2025

TESIS PRESENTADA POR:

Bach. FREDY QUISPE PACORI

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO CIVIL

JULIACA – PERÚ

2026

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

TESIS UANCV

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
"OFICINA DE INVESTIGACIÓN"

UNIVERSIDAD ANDINA

NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ

FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

ESTABILIZACIÓN DEL SUELO DE SUBRASANTE EMPLEANDO CENIZAS DE ARBOLES ORIUNDOS EN EL DISTRITO DE VILQUECHICO, HUANCANÉ - PUNO 2025

TESIS PRESENTADA POR:

Bach. FREDY QUISPE PACORI

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO CIVIL

APROBADA POR EL JURADO REVISOR:

PRESIDENTE : _____
Dr. RONALD MADERA TERÁN

PRIMER MIEMBRO : _____
Dr. ARNALDO YANA TORRES

SEGUNDO MIEMBRO : _____
Mgtr. WILFREDO DAVID SUPO PACORI

ASESOR DE TESIS _____
Dr. CESAR GUILLERMO CAMARGO NAJAR

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN : TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN – P17

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor

http://repositorio.uancv.edu.pe/

TESIS UANCV

RESOLUCIÓN DECANAL N° 0020-2026-D-UI-FICP-UANCV

Juliaca, 08 de enero del 2026

VISTO: El expediente **N° 2025-CU-13891** presentado por el (la) Bachiller: **FREDY QUISPE PACORI** estudiante de la Escuela Profesional de **Ingeniería Civil** de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras quien solicita **NOMINACIÓN DE JURADOS Y PROGRAMACIÓN DE FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN.**

CONSIDERANDO:

Que, el (la) Bach. **FREDY QUISPE PACORI,** quien solicita **NOMINACIÓN DE JURADOS Y PROGRAMACIÓN DE FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN** de la Tesis Titulada: **ESTABILIZACIÓN DEL SUELO DE SUBRASANTE EMPLEANDO CENIZAS DE ARBOLES ORIUNDOS EN EL DISTRITO DE VILQUECHICO, HUANCANÉ - PUNO 2025**, la misma que pertenece a la línea de investigación **TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN** para optar el Título Profesional de **Ingeniero Civil.**

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

De conformidad al Reglamento Interno de Trabajos de Investigación Conducente a Grados y Títulos aprobado con Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R. y en 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. RONALD MADERA TERÁN
- **1er Miembro** : Dr. ARNALDO YANA TORRES
- **2do Miembro** : Mgtr. WILFREDO DAVID SUPO PACORI

ARTICULO SEGUNDO. – RECONOCER como asesor de la investigación (tesis) de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras al (a la) docente, **Dr. CESAR GUILLERMO CAMARGO NAJAR.**

ARTICULO TERCERO. – APROBAR, la **FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS** de él (la) bachiller: **FREDY QUISPE PACORI;** del informe final de la investigación (tesis) titulada: **ESTABILIZACIÓN DEL SUELO DE SUBRASANTE EMPLEANDO CENIZAS DE ARBOLES ORIUNDOS EN EL DISTRITO DE VILQUECHICO, HUANCANÉ - PUNO 2025** para optar el Título Profesional de **Ingeniero Civil.** de acuerdo al siguiente detalle:

- **FECHA** : miercoles 14 de enero del 2026
- **HORA** : 11:00 horas
- **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
DECANO
Dr. Ronald Madera Terán
DECANO (e)
CIP: 66975

UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ" FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
DIRECTOR
Dr. Fritz Willy Manchi Apaza
DIRECTOR
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

cc.
Archivo 2026
[illegible]

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

TESIS UANCV
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
"OFICINA DE INVESTIGACIÓN"

UNIVERSIDAD ANDINA
NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ

RESOLUCIÓN DECANAL N° 1615-2025-D-UI-FICP-UANCV

Juliaca, 26 de noviembre del 2025

VISTO: El expediente **N° 2025-C-7603** por el señor (a): **FREDY QUISPE PACORI** quien solicita **REVISIÓN DEL INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (borrador de tesis)**, el PROVEIDO – **N° 1120-2025**-UI-FICP-UANCV/J, y la **FICHA DE OPINIÓN DEL INFORME FINAL DE LA INVESTIGACION (BORRADOR DE TESIS)** formato **N° 173 - 2025** del integrante del comité de investigación **EPIC** de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, según al reglamento interno de trabajos de investigación conducente a grados y títulos.

CONSIDERANDO:

Que, el señor (a): **FREDY QUISPE PACORI,** ha presentado su informe final de la investigación (borrador de tesis) Titulada: **ESTABILIZACIÓN DEL SUELO DE SUBRASANTE EMPLEANDO CENIZAS DE ARBOLES ORIUNDOS EN EL DISTRITO DE VILQUECHICO, HUANCANÉ - PUNO 2025**, para optar el Título Profesional de **Ingeniero Civil.**

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales; el integrante del comité de investigación **Dr. Arnaldo Yana Torres** de la Escuela Profesional de **Ingeniería Civil** de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, emitió la ficha de opinión del informe final de la investigación (borrador de tesis) formato N° 173 - 2025 **aprobando** el informe final de la investigación (borrador de tesis) titulado: **ESTABILIZACIÓN DEL SUELO DE SUBRASANTE EMPLEANDO CENIZAS DE ARBOLES ORIUNDOS EN EL DISTRITO DE VILQUECHICO, HUANCANÉ - PUNO 2025**, Correspondiente a la línea de investigación **TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN.**

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

Estando, con la opinión favorable del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y en concordancia al Reglamento Interno de Trabajos de Investigación Conducente a Grados y Títulos aprobado con Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R. y en mérito 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): **FREDY QUISPE PACORI,** para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil, con el Tema Titulada: **ESTABILIZACIÓN DEL SUELO DE SUBRASANTE EMPLEANDO CENIZAS DE ARBOLES ORIUNDOS EN EL DISTRITO DE VILQUECHICO, HUANCANÉ - PUNO 2025** correspondiente a la línea de investigación **TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN,** en virtud a los considerandos expuestos.

ARTÍCULO SEGUNDO.- RATIFICAR como **ASESOR DE INVESTIGACIÓN** al (a la), **Dr. CESAR GUILLERMO CAMARGO NAJAR.**

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

Regístrese, Comuníquese, Archívese.

UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CS. PURAS
Dr. OSCAR V. VIAMONTE CALLA
DECANO (e)
CIP. 32730

DIRECTOR
Dr. César G. Camargo Nájar
DIRECTOR
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

cc.
Archivo
interesado (a)

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

TESIS UANCV

RESOLUCIÓN DECANAL N° 994-2025-D-UI-FICP-UANCV

Juliaca, 03 de setiembre del 2025

VISTO: El expediente N° 2025-CU- 2054, presentado por el señor (a) FREDY QUISPE PACORI solicitando APROBACIÓN DE LA PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN el PROVEIDO – N° 720-2025-UI-FICP-UANCV/J, y la FICHA DE OPINIÓN DE LA PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN formato N° 100 -2025 del integrante del comité de investigación EPIC de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, según al reglamento interno de trabajos de investigación conducente a grados y títulos.

CONSIDERANDO:

Que, el señor (a): FREDY QUISPE PACORI ha presentado su propuesta de investigación Titulada: ESTABILIZACIÓN DEL SUELO DE SUBRASANTE EMPLEANDO CENIZAS DE ARBOLES ORIUNDOS EN EL DISTRITO DE VILQUECHICO, HUANCANÉ - PUNO 2025, para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil.

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales; el integrante del comité de investigación Dr. Arnaldo Yana Torres de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, emitió la ficha de opinión de la propuesta de investigación formato N° 100 -2025- aprobando la propuesta de investigación titulada: ESTABILIZACIÓN DEL SUELO DE SUBRASANTE EMPLEANDO CENIZAS DE ARBOLES ORIUNDOS EN EL DISTRITO DE VILQUECHICO, HUANCANÉ - PUNO 2025.

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

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

RESUELVE:

ARTÍCULO PRIMERO.- APROBAR, la **PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN**, presentado por el señor (a): FREDY QUISPE PACORI, para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil, con el Tema Titulada: ESTABILIZACIÓN DEL SUELO DE SUBRASANTE EMPLEANDO CENIZAS DE ARBOLES ORIUNDOS EN EL DISTRITO DE VILQUECHICO, HUANCANÉ - PUNO 2025 correspondiente a la línea de investigación TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN.

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

ARTÍCULO SEGUNDO.- RECONOCER como **ASESOR DE INVESTIGACIÓN** de al (a la) docente Dr. CESAR GUILLERMO CAMARGO NAJAR.

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

Regístrese, Comuníquese, Archívese.

UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y Cs. PURAS
M.SC. VICTOR V. VIAMONTE CALLA
DECANO (e)
C.I.P. 32730

UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
DIRECTOR
Dr. Fritz Willy Manchani Apaza
DIRECTOR
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

cc.
Archivo 2025
Interesado (a)

Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

ESTABILIZACIÓN DEL SUELO DE SUBRASANTE EMPLEANDO CENIZAS DE ÁRBOLES ORIUNDOS EN EL DISTRITO DE VILQUECHICO, HUANCANÉ - PUNO 2025

INFORME DE ORIGINALIDAD

20%	17%	4%	10%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	Submitted to Universidad Andina Nestor Caceres Velasquez Trabajo del estudiante	5%
2	hdl.handle.net Fuente de Internet	2%
3	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante	2%
4	repositorio.uancv.edu.pe Fuente de Internet	1%
5	repositorio.unap.edu.pe Fuente de Internet	1%
6	www.grafiati.com Fuente de Internet	1%
7	repositorio.umsa.bo Fuente de Internet	1%
8	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	1%
9	repositorio.uss.edu.pe Fuente de Internet	1%
10	repositorio.unfv.edu.pe Fuente de Internet	<1%
11	repositorio.unc.edu.pe Fuente de Internet	<1%
12	repositorio.unamba.edu.pe Fuente de Internet	<1%
13	repositorio.uprit.edu.pe Fuente de Internet	<1%
14	repositorio.uarm.edu.pe Fuente de Internet	<1%
	Submitted to Universidad Continental	

TÍTULO	
ESTABILIZACIÓN DEL SUELO DE SUBRASANTE EMPLEANDO CENIZAS DE ARBOLES ORIUNDOS EN EL DISTRITO DE VILQUECHICO, HUANCANÉ - PUNO 2025	
Datos de autor	
Nombres y Apellidos	FREDY QUISPE PACORI
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	75509978
URL de ORCID	https://orcid.org/0009-0003-1899-6803
Datos de asesor	
Nombres y apellidos	CESAR GUILLERMO CAMARGO NAJAR
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	02441152
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0002-0824-8049
Datos del jurado	
Presidente del jurado	
Nombres Y Apellidos	RONALD MADERA TERÁN
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	02429150
Miembro del jurado 1	
Nombres Y Apellidos	ARNALDO YANA TORRES
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	41414676
Miembro del jurado 2	
Nombres Y Apellidos	WILFREDO DAVID SUPO PACORI
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	02428673

Datos de investigación	
Línea de investigación	TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN – P17
Grupo de investigación	No aplica.
Agencia de financiamiento	Sin financiamiento
Ubicación geográfica de la investigación	**Dirección**: DISTRITO DE VILQUECHICO **País:** Perú **Departamento:** PUNO **Provincia:** HUANCANE **Distrito:** VILQUECHICO **Latitud:** -15.21588 **Longitud:** -69.68890 https://maps.app.goo.gl/7KApcub5BhcQ2BPS9 
Año o rango de años en que se realizó la investigación	SETIEMBRE 2025 - ENERO 2026
URL de disciplinas OCDE https://concytec-pe.github.io/Peru-CRIS/vocabularios/ocde_ford.html - Librería	Ingeniería civil https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.00 Ingeniería de la construcción https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.03



DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD Y RESPONSABILIDAD

Yo FREDY QUISPE PACORI, identificado con DNI Nro. 75509978 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:

ESTABILIZACIÓN DEL SUELO DE SUBRASANTE EMPLEANDO CENIZAS DE ARBOLES ORIUNDOS EN EL DISTRITO DE VILQUECHICO, HUANCANÉ – PUNO 2025

Asesorado por: Dr. CESAR GUILLERMO CAMARGO NAJAR

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 suyas 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 10 de Julio del 2026



Firma del Asesor (Obligatoria)



Firma (Obligatoria)



Huella

DEDICATORIA

A Dios, por guiar mi camino.

A mi familia, por estar conmigo en cada paso que doy, por su amor y paciencia.

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez por darme la oportunidad de conseguir el grado académico de Ingeniero Civil.

A mi asesor, por su tiempo y paciencia.

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA i
AGRADECIMIENTO ii
ÍNDICE DE CONTENIDOS iii
ÍNDICE DE TABLAS vi
ÍNDICE DE FIGURAS viii
ABREVIATURAS ix
RESUMEN x
ABSTRACT xi
INTRODUCCIÓN xii

CAPÍTULO I

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.1. Explicación del problema de estudio 14
1.2. Formulación del planteamiento del problema 16
1.2.1. Pregunta general del estudio 16
1.2.2. Preguntas específicas del estudio 16
1.3. Justificaciones del estudio 16
1.3.1. Justificación teórica del estudio 16
1.3.2. Justificación práctica del estudio 17
1.3.3. Justificación metodológica del estudio 17
1.4. Objetivos del estudio 17
1.4.1. Objetivo general del estudio 17
1.4.2. Objetivos específicos del estudio 17
1.5. Importancias y alcances del estudio 18
1.6. Limitación y delimitación del estudio 19
1.7. Hipótesis del estudio 20

1.7.1. Hipótesis general del estudio 20
1.7.2. Hipótesis específicas del estudio 20
1.8. Variables e indicadores del estudio 21
1.8.1. Operacionalización de las variables del estudio 21

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del estudio 23
2.1.1. En medios internacionales para el estudio 23
2.1.2. En medios nacionales para el estudio 29
2.1.3. En medios locales para el estudio 35
2.2. Bases teóricas para el estudio 41
2.2.1. Cenizas de árboles oriundos 41
2.2.2. Dosificación de cenizas de arboles 47
2.2.3. Suelos de subrasante 48
2.3. Marco conceptual para el estudio 56

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Enfoque de la investigación 59
3.2. Método aplicado del estudio 60
3.3. Tipo de investigación del estudio 61
3.4. Nivel de investigación del estudio 62
3.5. Diseño de investigación del estudio 64
3.6. Población y muestra del estudio 65
3.6.1. Población del estudio 65
3.6.2. Muestra del estudio 66
3.7. Técnica e instrumento de recolección de información del estudio 67

3.7.1. Técnica del estudio 67

3.7.2. Instrumentos del estudio 68

3.8. Validez y confiabilidad del instrumento del estudio 69

3.8.1. Validación del instrumento del estudio 69

3.8.2. Confiabilidad de los instrumentos del estudio 70

3.9. Diseño de la estrategia para la prueba de hipótesis **¡Error! Marcador no definido.**

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1. Descripción, explicación y análisis de la información obtenida..... 72

4.1.1. Identificar las propiedades físicas de los suelos de subrasante en el distrito de Vilque Chico, Huancané – Puno 2025. 72

4.1.2. Identificar las propiedades mecánicas de los suelos de subrasante en el distrito de Vilque Chico, Huancané – Puno 2025. 75

4.1.3. Determinar el porcentaje del CBR de los suelos de subrasante en el distrito de Vilque Chico, Huancané – Puno 2025. 78

4.2. Discusión de resultados..... 81

4.2.1. Discusión de resultados 01. 81

4.2.2. Discusión de resultados 02. 81

4.2.3. Discusión de resultados 03 82

CONCLUSIONES 84

RECOMENDACIONES 86

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....88

ANEXOS 94

Anexo 01. Matriz de consistencia..... 95

Anexo 02. Matriz instrumental..... 97

Anexo 03. Instrumentos de la investigación 98

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Operacionalización de variable independiente 21

Tabla 2 Operacionalización de variable dependiente 21

Tabla 3. Propiedades químicas de la ceniza de árbol. 43

Tabla 4. Valores de los ángulos de fricción de acuerdo al tipo de suelo. 55

Tabla 5. Categoría de las subrasantes de suelos 56

Tabla 6. Propiedades físicas de suelos naturales. 72

Tabla 7. Propiedades físicas de suelos naturales + 1% de ceniza. 73

Tabla 8. Propiedades físicas de suelos naturales + 3% de ceniza. 74

Tabla 9. Propiedades físicas de suelos naturales + 5% de ceniza. 74

Tabla 10. Propiedades mecánicas de suelos naturales. 75

Tabla 11. Propiedades mecánicas de suelos naturales + 1% de ceniza. 76

Tabla 12. Propiedades mecánicas de suelos naturales + 3% de ceniza. 77

Tabla 13. Propiedades mecánicas de suelos naturales + 5% de ceniza. 77

Tabla 14. porcentaje de CBR de suelos naturales. 78

Tabla 15. porcentaje de CBR de suelos naturales + 1% de ceniza. 79

Tabla 16. porcentaje de CBR de suelos naturales + 1% de ceniza. 79

Tabla 17. porcentaje de CBR de suelos naturales + 1% de ceniza. 80

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. vista de la ceniza de árboles oriundos. 42

Figura 2. Vista física de la ceniza volante seca 44

Figura 3. Vista física de la ceniza de fondo seca. 44

Figura 4. Vista física de la ceniza compuesta seca. 45

Figura 5. Vista física de la ceniza compuesta hidratada. 45

Figura 6. Vista del árbol vivo queñua. 46

Figura 7. Vista del árbol vivo quina 47

ABREVIATURAS

SPSS: Statistical Package for the Social Sciences

H_1 - Hipótesis alternativa

H0 - Hipótesis nula

PC: peso de la ceniza

PM: peso de la muestra de suelos

RESUMEN

En este estudio se planteó como objetivo principal Realizar la estabilización de los suelos de subrasante empleando cenizas de árboles oriundos en el distrito de Vilque Chico, Huancané – Puno 2025. Se tuvo como procedimiento metodológico iterativo con muestras de suelos, enfoque cuantitativo, método inductivo, tipo aplicada, nivel descriptivo, diseño no experimental. Se tiene como resultado que, en la investigación realizada en Vilque Chico, Huancané – Puno, en 2025, evaluó el efecto de la ceniza vegetal en suelos de subrasante. Se observó que con 3% y 5% de ceniza se reduce la plasticidad (Ip de 10.00 a 14.00) y se mejora la estabilidad física sin alterar la clasificación AASHTO A-6. Mecánicamente, la cohesión aumentó hasta 0.38 kg/cm² y el ángulo de fricción se mantuvo entre 14° y 18°, evidenciando mayor resistencia al corte. El CBR al 100% mejoró de 6.70%–7.00% en suelos naturales a 7.14% con 5% de ceniza, confirmando su eficacia como estabilizante para obras viales. Finalmente se concluye indicando que la estabilización de suelos de subrasante con ceniza vegetal en Vilque Chico, Huancané – Puno, mejora sus propiedades físicas y mecánicas. Con 5% de ceniza se reduce la plasticidad, aumenta la cohesión hasta 0.38 kg/cm² y el CBR alcanza 7.14%, optimizando su comportamiento para infraestructura vial sostenible.

Palabras clave: cenizas de árboles, estabilización de suelo, propiedades mecánicas de suelo, sub rasante.

ABSTRACT

The main objective of this study was to stabilize subgrade soils using ash from native trees in the district of Vilque Chico, Huancané – Puno, in 2025. The methodological procedure employed was iterative, using soil samples, a quantitative approach, an inductive method, an applied research type, a descriptive level, and a non-experimental design. The results of the research conducted in Vilque Chico, Huancané – Puno, in 2025, evaluated the effect of plant ash on subgrade soils. It was observed that with 3% and 5% ash, plasticity was reduced (Ip from 10.00 to 14.00) and physical stability was improved without altering the AASHTO A-6 classification. Mechanically, cohesion increased to 0.38 kg/cm², and the friction angle remained between 14° and 18°, demonstrating greater shear strength. The CBR at 100% improved from 6.70%–7.00% in natural soils to 7.14% with 5% ash, confirming its effectiveness as a stabilizer for road construction. In conclusion, the stabilization of subgrade soils with plant ash in Vilque Chico, Huancané – Puno, improves their physical and mechanical properties. With 5% ash, plasticity is reduced, cohesion increases to 0.38 kg/cm², and the CBR reaches 7.14%, optimizing its performance for sustainable road infrastructure.

Keywords: tree ash, soil stabilization, soil mechanical properties, subgrade.

INTRODUCCIÓN

La estabilidad de los suelos de subrasante constituye un factor determinante en la durabilidad y funcionalidad de las infraestructuras viales, especialmente en zonas rurales con condiciones geográficas y climáticas adversas. En el distrito de Vilque Chico, ubicado en la provincia de Huancané, región Puno, los suelos presentan características geotécnicas deficientes que afectan la calidad de las obras de ingeniería civil. En relación con esta problemática, se presenta la urgencia de investigar opciones sostenibles y accesibles que contribuyan a la optimización de los atributos mecánicos del suelo, con el objetivo de reducir costos y optimizar el uso de recursos locales.

Una de las estrategias emergentes en la estabilización de suelos es el uso de residuos orgánicos e industriales como aditivos. En este contexto, las cenizas de árboles oriundos de la zona representan una opción innovadora y ecológica, dado su disponibilidad y potencial para modificar la estructura del suelo. Diversos estudios han demostrado que ciertos tipos de ceniza pueden mejorar la cohesión, reducir la plasticidad y aumentar la resistencia del suelo, lo que sugiere su viabilidad como estabilizante natural en proyectos de infraestructura vial.

Este estudio se propone evaluar la eficacia de las cenizas de árboles nativos en la estabilización de suelos de subrasante en Vilque Chico. Para ello, se llevarán a cabo ensayos de laboratorio que analizarán parámetros tales como la consistencia a la compresión, el índice de plasticidad y la capacidad de soporte. Este estudio busca no solo aportar soluciones técnicas a una

problemática local, sino también fomentar el uso de materiales alternativos que promuevan el desarrollo sostenible en comunidades altoandinas.

El presente estudio se estructura en cuatro capítulos. En el Capítulo I: Introducción del problema, se expone la situación actual del tráfico en el jirón San Román, se delimita el ámbito de estudio y se establecen los objetivos que guiarán el estudio. En el Capítulo II: Marco Teórico, uno abordan los conceptos fundamentales relacionados con la semaforización vial, el tráfico urbano, el nivel de servicio y la planificación vial, sustentándose en investigaciones previas y normativas técnicas. Capítulo III: Métodos de la indagación: enfoque cuantitativo, método deductivo, diseño no experimental e instrumentos con el fin de recolectar de información, tales como fichas de observación estructuradas. Al final, el Capítulo IV: Resultados presenta los hallazgos obtenidos a partir del análisis de los datos recopilados, evidenciando de qué manera la semaforización contribuye a la mejora del índice de servicio. Asimismo, se formulan recomendaciones técnicas orientadas a optimizar la gestión vial en la ciudad de Juliaca.

Esta investigación pretende proponer soluciones específicas y localizadas para mejorar la movilidad urbana y así contribuir a una infraestructura vial más segura, organizada y sustentable.

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

CAPÍTULO I

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.1. Explicación del problema de estudio

A nivel internacional, los suelos expansivos y las subrasantes de baja capacidad portante representan un problema recurrente para la durabilidad de las vías y estructuras de pavimento, ya que la variación estacional de humedad produce cambios volumétricos, pérdida de resistencia y aumento de la permeabilidad que aceleran fallas en el pavimento; frente a ello, la estabilización química con subproductos industriales como las cenizas volantes (fly ash) se ha investigado ampliamente por su capacidad de mejorar propiedades mecánicas (UCS, CBR, módulo resistente) y reducir la permeabilidad, aunque se requiere optimizar dosis y tiempos de curado para cada tipo de suelo y evaluar posibles riesgos ambientales asociados al lixiviado de metales pesados (Zimar et al., 2022).

A nivel nacional, investigaciones recientes en el Perú han explorado el uso de cenizas agrícolas e industriales (por ejemplo, cenizas de barrilla, de cascarilla o subproductos locales) como enmiendas para la estabilización de subrasantes, mostrando mejoras en capacidad portante y control de erosión interna en suelos arenosos y limosos; sin embargo, los estudios peruanos también señalan la necesidad de adaptar las proporciones y procedimientos a la disponibilidad local de material, condiciones climáticas altoandinas y normas técnicas nacionales, y de analizar el impacto ambiental y la viabilidad económica antes de su implementación a escala (Zapata Terrones & Vásquez Gonzales, 2024).

A nivel regional la problemática posible que motiva esta investigación se centra en la limitada capacidad portante de las subrasantes locales, la presencia de tramos viales con drenaje deficiente y alteraciones por variaciones climáticas (heladas, lluvias estacionales) que provocan pérdida de transitabilidad y frecuentes reparaciones; por ello resulta pertinente evaluar la factibilidad técnica y ambiental de emplear cenizas disponibles localmente como alternativa de estabilización e "impermeabilización" de la subrasante que reduzca la permeabilidad, mejore resistencia y prolongue la vida útil del pavimento, sin presentar en este apartado resultados de campo sino la identificación del problema y la justificación para investigar soluciones adaptadas a las condiciones socioambientales de Vilque Chico.

1.2. Formulación del planteamiento del problema

1.2.1. Pregunta general del estudio

PG. ¿Cómo estabilizar los suelos de subrasante empleando cenizas de árboles oriundos en el distrito de Vilque Chico, Huancané – Puno 2025?

1.2.2. Preguntas específicas del estudio

PE1. ¿Cuáles son las propiedades físicas de los suelos de subrasante en el distrito de Vilque Chico, Huancané – Puno 2025?

PE2. ¿Cuáles son las propiedades mecánicas de los suelos de subrasante en el distrito de Vilque Chico, Huancané – Puno 2025?

PE3. ¿Cuál es el porcentaje del CBR de los suelos de subrasante en el distrito de Vilque Chico, Huancané – Puno 2025?

1.3. Justificaciones del estudio

1.3.1. Justificación teórica del estudio

La presente investigación se justifica a nivel teórico porque permitirá la recolección, análisis y sistematización de información, teorías, conceptos y antecedentes científicos relacionados con la estabilización e impermeabilización de suelos de subrasante empleando cenizas, sustentando el marco conceptual que respalda la propuesta. La recopilación de estos fundamentos posibilita comprender los mecanismos físico-mecánicos mediante los cuales las cenizas

modifican la estructura del suelo, reducen su permeabilidad y mejoran su resistencia.

1.3.2. Justificación práctica del estudio

La presente investigación se justifica a nivel práctico porque aborda un problema concreto que afecta la durabilidad y funcionalidad de las vías en Vilque Chico, donde las condiciones climáticas y la baja capacidad portante de los suelos comprometen la transitabilidad, por lo que conocer si las cenizas

1.3.3. Justificación metodológica del estudio

La presente investigación se justifica a nivel metodológico porque se plantea una estructura de trabajo y un diseño metodológico que permitirán obtener datos confiables y comparables sobre las propiedades físicas y mecánicas del suelo antes y después de la incorporación de cenizas.

1.4. Objetivos del estudio

1.4.1. Objetivo general del estudio

OG. Analizar la estabilización de los suelos de subrasante empleando cenizas de árboles oriundos en el distrito de Vilque Chico, Huancané – Puno 2025.

1.4.2. Objetivos específicos del estudio

OE1. Identificar las propiedades físicas de los suelos de subrasante estabilizado en el distrito de Vilque Chico, Huancané – Puno 2025.

OE2. Identificar las propiedades mecánicas de los suelos de subrasante estabilizado en el distrito de Vilque Chico, Huancané – Puno 2025.

OE3. Calcular el porcentaje del CBR de los suelos de subrasante estabilizado en el distrito de Vilque Chico, Huancané – Puno 2025.

1.5. Importancias y alcances del estudio

La estabilización de suelos de subrasante constituye una fase crucial en la concepción y edificación de pavimentos, particularmente en áreas rurales como el distrito de Vilque Chico, donde las condiciones geotécnicas frecuentemente son adversas. Dentro de este marco, la implementación de recursos alternativas y sostenibles, como las cenizas de árboles oriundos, constituye una oportunidad innovadora con el fin de potenciar la capacidad portante del suelo, minimizar los costos y fomentar prácticas respetuosas con el medio ambiente.

La relevancia de este estudio radica en su propuesta de una solución técnica fundamentada en recursos locales, lo que favorece la economía circular y la optimización de los residuos orgánicos. Adicionalmente, tiene la intención de corroborar científicamente el funcionamiento mecánico del suelo solidificado con cenizas, evaluando variables como la resistencia, la durabilidad y la compactación. Los hallazgos serán capaces de ser implementados en programas de infraestructura vial, agrícola y urbana, aportando beneficios directos a las comunidades del distrito y sirviendo de modelo para otras regiones con características análogas.

1.6. Limitación y delimitación del estudio

Delimitación del Tema

El presente estudio se centra exclusivamente en la evaluación de la consolidación de suelos de subrasante mediante el uso de cenizas procedentes de árboles nativos del distrito de Vilque Chico, situado en la provincia de Huancané, en el departamento de Puno. Este estudio se limita a la valoración de las características físicas y mecánicas del terreno, tanto antes como después de la utilización de cenizas. Se realizarán ensayos en el laboratorio, incluyendo pruebas como el Proctor, el CBR y la granulometría. No se tomarán en cuenta otras técnicas de estabilización, ni se realizarán experimentos a escala real en la disciplina.

Asimismo, el estudio se enfoca en cenizas de especies vegetales locales, excluyendo el uso de cenizas industriales o de árboles no nativos. La investigación tiene un enfoque técnico-experimental, sin considerar aspectos económicos, sociales o ambientales más allá del aprovechamiento de residuos orgánicos.

Delimitación del Tiempo

La investigación se llevará a cabo a lo largo del año 2025 e incluirá las fases de recopilación de pruebas, procesamiento de cenizas, realización de pruebas de laboratorio, evaluación de hallazgos y formulación de conclusiones. El periodo de estudio abarca desde enero hasta diciembre de 2025, lo que

posibilita una evaluación representativa de las condiciones geotécnicas del suelo durante ese año.

1.7. Hipótesis del estudio

1.7.1. Hipótesis general del estudio

HG. Los suelos de la subrasante mejoraran significativamente empleando cenizas de árboles oriundos en el distrito de Vilque Chico, Huancané – Puno 2025.

1.7.2. Hipótesis específicas del estudio

HE1. Las propiedades físicas de los suelos de subrasante no cumple con los parámetros de la normativa en el distrito de Vilque Chico, Huancané – Puno 2025.

HE2. Las propiedades mecánicas de los suelos de subrasante no cumple con los parámetros de la normativa en el distrito de Vilque Chico, Huancané – Puno 2025.

HE3. El porcentaje de CBR de los suelos de la subrasante con cenizas no cumple con la normativa en el distrito de Vilque Chico, Huancané – Puno 2025.

1.8. Variables e indicadores del estudio

1.8.1. Operacionalización de las variables del estudio

Tabla 1
Operacionalización de variable independiente

Variable independiente	Redacción conceptual	Redacción operacional	Dimensiones	Indicadores
Cenizas de árboles oriundos	Cenizas de madera: la ceniza de madera de fondo es la parte más gruesa de ceniza, esta ceniza se acumula en el fondo del horno y es producto de la incineración del carbón y la madera (Ramos, 2023).	La variable independiente "cenizas de árboles oriundos" se operacionaliza mediante la dimensión de dosificación, evaluando su efecto en la estabilización de suelos de subrasante. Se consideran tres niveles de incorporación: 1%, 3% y 5% respecto al peso seco del suelo. Cada dosificación será analizada a través de ensayos de laboratorio como Proctor y CBR, con el fin de determinar su influencia en la resistencia, compactación y comportamiento mecánico del suelo. Esta evaluación permitirá identificar la dosificación óptima que mejore las propiedades del suelo, aprovechando residuos orgánicos locales como alternativa sostenible en proyectos de infraestructura vial en Vilque Chico.	Dosificación de cenizas de arboles	Incorporación del 1% Incorporación del 3% Incorporación del 5%

Tabla 2
Operacionalización de variable dependiente

Variable Dependiente	Redacción conceptual	Redacción operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala
Suelos de subrasante	La estabilidad de suelos consiste en la mejora de las propiedades físico-mecánicas de suelo a partir de	La variable dependiente "estabilización del suelo" se analiza mediante dos dimensiones: propiedades físicas y	Propiedades físicas	– Clasificación granulométrica – Contenido de humedad – Límites de consistencia – Índice de plasticidad	Razón

Variable Dependiente	Redacción conceptual	Redacción operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala
	la aplicación de métodos químicos o físicos, con la intención de lograr los valores requeridos (Mamanchura, 2022).	propiedades mecánicas. En la primera, se consideran indicadores como la clasificación granulométrica, el contenido de humedad, los límites de consistencia y el índice de plasticidad, que permiten evaluar la textura y comportamiento del suelo en estado natural y modificado. En la segunda dimensión, se incluyen la cohesión, el ángulo de fricción, la capacidad portante y el valor CBR, expresado en porcentaje, como parámetros clave para determinar la resistencia y estabilidad del suelo tratado con cenizas de árboles oriundos en el distrito de Vilque Chico.	Propiedades mecánicas	– Cohesión – Angulo de fricción	Razón
			CBR	– Porcentaje	Razón

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del estudio

2.1.1. En medios internacionales para el estudio

Liñán & Cruz (2024) en su investigación titulada: "Estabilización de suelo con ceniza de caña de azúcar sobre la vía Jerusalen - Guataquí".

Resumen: en este estudio aborda el problema principal de deterioro estructural que afecta la vía Jerusalén - Guataquí, infraestructura vial estratégica en la provincia del Alto Magdalena de la región de Cundinamarca, Colombia, caracterizada por la presencia de patologías como baches, hundimientos y grietas, atribuibles a la inestabilidad geotécnica del suelo arcilloso presente en la subrasante. Ante las limitaciones económicas y ambientales que presentan los métodos convencionales de estabilización mediante aditivos cementantes, se propone la utilización de ceniza proveniente de la caña de azúcar (Saccharum officinarum) variedad POJ-2878, un subproducto abundante de la industria

panelera regional, como alternativa sostenible para el mejoramiento de las propiedades mecánicas del suelo. La investigación se fundamentó en un análisis experimental sistemático mediante el agregado de Ceniza de Caña de Azúcar (CCA) en proporciones controladas de 9%, 13% y 17% al material de subrasante extraído del PR 2+380 de la vía. A través de ensayos geotécnicos normalizados, se determinaron parámetros de compactación, densidad y contenido de humedad, evaluando las influencias de aditivos sobre las propiedades mecánicas del suelo. Los datos experimentales demostraron que una dosificación del 13% de ceniza representa la proporción óptima, logrando un incremento del California Bearing Ratio (CBR) hasta alcanzar un 8.24%, comparando con un 3.75% de los suelos sin tratamiento, lo que indica una optimización del 4.49% en la fuerza portante del suelo. Adicionalmente, se aprecia una reducción considerable en el índice de plasticidad y en la capacidad de extendimiento del material, indicadores que corroboran las mejoras de las propiedades mecánicas del suelo estabilizado para soportar las cargas vehiculares. La implementación de CCA como agente estabilizante se presenta como una solución técnicamente viable, que no únicamente optimiza las características físico-mecánicas del terreno, además igualmente representa una alternativa sustentable al integrar principios de economía circular a través de la valorización de residuos agroindustriales. Esta metodología se encuentra relacionadas con cada meta de Desarrollo Sostenible (ODS), ya que contribuyen a las disminuciones de las huellas de carbonos vinculadas a los procesos constructivos tradicionales y establece un precedente que puede ser replicado para la rehabilitación de infraestructura vial rural en contextos geotécnicos

análogos. Los datos que se obtuvo muestran que esta técnica de estabilización constituye unas soluciones innovadoras y con economías viables con la finalidad de mejorar las vías terciarias en regiones donde la industria panelera tiene una presencia significativa.

Nath et al. (2019) en su investigación titulada: "Estudio sobre el comportamiento de la resistencia del suelo orgánico estabilizado con cenizas volantes".

En síntesis: la finalidad que se planteó en esta investigación analizar el efecto de las cenizas volantes en la consistencia, compacidad, propiedades ácidas y resistencia del suelo orgánico. La acumulación de compuestos orgánicos en el suelo tiene efectos negativos en las propiedades físicas y la resistencia del mismo. Con el propósito de evaluar la eficacia de las cenizas volantes en la solidez del suelo orgánico, se utilizaron dos categorías de cenizas volantes (Tipo I y Tipo II) en diferentes porcentajes. Se ha establecido que las cenizas volantes reducen de forma significativa el índice de plasticidad del suelo orgánico, al tiempo que aumentan los límites líquido y plástico. La densidad seca de la mezcla de cenizas volantes y suelo presenta un aumento significativo, mientras que la demanda de agua se reduce como consecuencia de la adición de cenizas volantes. El aumento de la densidad seca conlleva un incremento en la resistencia. El aumento en la concentración de agua se debe principalmente a la reacción puzolánica de las cenizas volantes, mientras que la disminución de la cantidad de agua resulta de la inclusión de cenizas volantes secas y sólidas. Adicionalmente, las cenizas volantes de la categoría I presentan un valor de qué

superior en comparación con las cenizas volantes de la categoría II. Esta circunstancia se debe a propiedades de todas las cenizas volantes, que incluyen el óxido de calcio (CaO) y la relación entre el óxido de calcio y el dióxido de silicio (CaO/SiO2).

Kumar et al. (2025) en su investigación titulada: "Mejora de las propiedades del suelo de subrasante utilizando cenizas de fondo de carbón y fibra de basalto para aplicaciones de pavimento sostenible".

Resumen: La estabilidad de los suelos ha emergido como un enfoque fundamental en dicha ingeniería geotécnica, en respuesta a la creciente necesidad de infraestructura duradera y prácticas sostenibles. Este estudio examina el potencial de emplear cenizas de fondo de carbón (BA), cierto residuo de la transformación del carbón producido por centrales térmicas, junto con fibra de basalto artificial (FB) con el fin de estabilizar un suelo. En este estudio se analiza cada efecto de variaciones en los contenidos de fibras de bambú (FB) y de asfalto (BA) sobre las características en la ingeniería de los suelos. Se examinan aspectos tales como las particularidades de compactación, la consistencia a la compresión uniaxial (UCS), la proporción de presion de California (CBR) y la resistencia a la tracción parcial (STS). La evaluación de compactación se realizó empleando diversas proporciones de BA, específicamente del 10%, 20%, 30% y 40%, de acuerdo a la masa de los suelos. Con los hallazgos obtenidos de la evaluación de compactación, se realizó el análisis del esfuerzo a la compresión no confinada (UCS) para cada mezcla de suelo, con el fin de determinar el contenido óptimo de material de base (BA)

requerido en la composición de la mezcla de suelo. El contenido óptimo de ácido bórico se determinó en un 20%, y se consideró una cantidad reducida de 3% de cemento para la preparación de la muestra de resistencia a la compresión uniaxial (UCS). Asimismo, se incorporaron al suelo porcentajes variables de contenido de fibra de vidrio (0,5 %, 1 %, 2 % y 4 %) con la finalidad de tener una mejoría en la resistencia a la tracción. A partir de los experimentos realizados con un contenido óptimo de BA del 20 %, se determinó que la cantidad de adecuada de fibra para estabilizar el suelo es del 1 %. Se realizó un ensayo de exhaustiva de esta composición óptima de la mezcla de suelo relacionada con los datos de CBR y STS. Los resultados indicaron que los valores de CBR incrementaron del 3,36 % al 12,52 % en el estado seco y del 2,45 % al 10,10 % en el estado húmedo tras la aplicación del tratamiento. Asimismo, se constató un aumento significativo en los esfuerzos a la tracción del suelo. Este estudio resalta el potencial significativo de la biochar (BA) y el fertilizante biológico (FB) en la mejora sostenible del suelo, contribuyendo al desarrollo de soluciones económicamente viables y ambientalmente responsables en las áreas de la ingeniería geotécnica.

Noaman et al. (2022) en su investigación titulada: "Una revisión sobre el efecto de las cenizas volantes en las propiedades geotécnicas y la estabilidad del suelo.".

Resumen: Las cenizas volantes provenientes de centrales eléctricas presentan dificultades para su eliminación y representan un riesgo ambiental. Los problemas de eliminación pueden resolverse empleando estos residuos

como materia prima para mejorar la estabilización del suelo. La estabilidad en los suelos tiene referencia a las mejoras de su comportamiento debido al aumento de sus propiedades geotécnicas. El porcentaje de humedad, la resistencia, la plasticidad y la densidad son las propiedades que se ajustan con mayor frecuencia. Diversos estudios se han centrado en las influencias de las cenizas volantes en la estabilización de los suelos. Por lo tanto, esta investigación analizó algunos de estos estudios, realizando una revisión crítica para determinar los efectos de la adición de cenizas volantes en las propiedades de los suelos. Además, este estudio se centró en el impacto de las cenizas volantes (AF) mezcladas con suelo arcilloso. En general, se puede afirmar que las cenizas volantes mejoraron la estabilidad de los suelos, específicamente en los ensayos de CBR, la permeabilidad del suelo y disminuyeron el potencial de cambios volumétricos del suelo mediante una serie de pruebas experimentales. Lo cual es de acuerdo a los tamaños y las formas de las partículas; además del período de tratamiento, se reduce la dilatación volumétrica del suelo. Dado que los aditivos no son biodegradables, el ajuste del comportamiento del suelo endurecido no desaparece.

Vega-Zamanillo et al. (2024) en su investigación titulada: "Uso de cenizas de fondo de una central térmica y cal para mejorar suelos en subrasantes y terraplenes de carreteras".

Resumen: El presente estudio se centró en las estabilizaciones del suelo de terraplenes y la mejora de las características mecánicas de la grava en subbases de pavimentos con diferentes contenidos de cenizas de fondo

provenientes de centrales térmicas y bajos porcentajes de cal. Se estudiaron la densidad, la humedad, el esfuerzo simple y la capacidad portante de los nuevos insumos resultantes de esta combinación. Los datos que se obtuvieron muestran que la proporción óptima de cenizas de fondo añadidas al suelo analizado es del 15%, mientras que la adición óptima de cal es del 1% para su aplicación en terraplenes y del 2% para su aplicación en subrasantes de carreteras. En suelos arcillosos con baja resistencia simple, al añadir un 25% de cenizas de fondo sin cal, se puede duplicar la resistencia. En el caso de la grava evaluada, se encontró que la relación óptima entre la adición de cenizas de fondo y cal es de 6,5. En conclusión, se puede observar que los suelos que no presentan resistencia al añadir ciertos porcentajes de cenizas de fondo mejoran sus propiedades para su uso en terraplenes.

2.1.2. En medios nacionales para el estudio

Gala & Huaman (2021) en su investigación titulada: "Estabilización de suelos arcillosos incorporando ceniza de hoja de eucalipto para el mejoramiento de subrasante en el distrito de Pilcomayo".

En síntesis: La actual disertación establece en calidad de problema universal lo siguiente: ¿Cuáles son las repercusiones en las estabilizaciones de suelos arcillosos mediante la incorporación de ceniza de hoja de eucalipto para la mejora de la subrasante en el distrito de Pilcomayo? El propósito general es el siguiente: La tarea consiste en identificar los efectos de las estabilizaciones de los suelos arcillosos por medio de la adición de la ceniza de hoja de eucalipto,

con el objetivo de mejorar la capa subterránea en el distrito de Pilcomayo. En términos generales: De acuerdo con el reglamento de carreteras de reducido volumen de circulación, las consecuencias de la consolidación de suelos arcillosos por medio de adición de las cenizas de hojas de eucalipto se consideran aceptables. Teniendo como procedimiento metodológico científico, aplicado y explicativo. Los hallazgos obtenidos indican una disminución del índice de potencial (IP) del 12.56% al 10% de ceniza y del 18.68% al 15% de ceniza, en comparación con el terreno de referencia, en el cual el IP es de 10.49%. La densidad del suelo (MDS) presenta variaciones que oscilan entre -4.60% y -5.53% respecto con el contenido de ceniza, tomando como referencia el suelo patrón con una MDS de 2.153 gr/cm³. Por otro lado, la densidad del CBR fluctúa entre +470.91% y +647.27% de ceniza, también en comparación con el suelo patrón, cuyo CBR es de 5.50%, lo que indica una subrasante insuficiente. En conclusión, los resultados obtenidos mediante la integración de cenizas de hojas de eucalipto en la resistencia de suelos arcillosos, con el objetivo de optimizar su calidad como subrasante en la localidad de Pilcomayo, son positivos. Se han observado hallazgos significativos al aplicar un diez por ciento de dicha ceniza.

Aquino (2020) en su investigación titulada: "Estabilización de suelos con ceniza de bagazo de caña de azúcar para su uso en subrasantes en el distrito de Laredo - Trujillo, La Libertad 2018.".

Resumen: El incremento en los costos de las sustancias estabilizadoras convencionales, junto con la urgencia de utilizar residuos de la industria y

agrícola con el propósito de ingeniería en La Libertad, ha motivado la realización de este análisis sobre la capacidad de consolidación con las cenizas de bagazos (CBCA) en suelo arcilloso de alta expansividad. Este actual análisis se propone encontrar las influencias de las integraciones de CBCA en dicha consolidación de terrenos en relación con el porcentaje de subrasantes en la localidad de Laredo. El estudio realizado en el laboratorio se centró en la identificación del terreno y del CBCA a través de la Difracción de Rayos X y la Microscopía Electrónica de Barrido. La exploración inicial del terreno indica que este se clasifica como A-6, conforme a la clasificación establecida por la AASHTO. Los suelos que se clasifican en esta categoría suelen ser empleados de manera limitada en el ámbito de la ingeniería. Se emplearon toda propiedad del suelo estabilizado, que incluyen los límites de Atterberg, la liberación de esponjamiento, el índice de esponjamiento autónomo, el índice de hinchamiento libre, el ensayo Proctor modificado y el índice de CBR. La tierra fue sometida a un proceso de estabilización a través de la aplicación de CBCA en concentraciones progresivas del 5%, 10% y 15% respecto a su peso seco. La evaluación de los hallazgos indica una optimización en las características geotécnicas del suelo consolidado con cemento de cal y ceniza (CBCA), lo cual se evidencia mediante reducciones de los índices de plasticidad, la expansión y la densidad máxima seca (MDD). Se ha observado un incremento en la humedad óptima de compactación (OMC) y en el indicador de soporte californiano (CBR) en consecuencia que se aumente el contenido de CBCA. Se diseñaron secciones de pavimento convencional basándose en la combinación que exhibe el porcentaje más adecuado en términos de rendimiento ingenieril. Se ejecutó un

estudio económico comparativa que demuestra la disminución durante el periodo de construcción y en la preservación de pavimentos con bases consolidadas mediante cemento-bentonita-cal (CBCA). La presente investigación concluye que el terreno consolidado con CBCA presenta todos los criterios fundamentales establecidas en el Manual de Carreteras. Los Sistemas de Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos del Ministerio de Transportes y Comunicaciones tienen como objetivo su implementación en el desarrollo de infraestructuras viales.

Bareto (2020) en su investigación titulada: "Estabilización de Suelos Cohesivos Incorporando Ceniza Oriza Sativa y Melaza Saccharum Officinarum en la av . Mesones Muro-Chiclayo".

En síntesis, a través de la historia, se aprecia un aumento en las producciones excesivas de Cenizas Oriza Sativa (COS) y Melaza Saccharum Officinarum (MSO), lo que está provocando un deterioro ambiental significativo. Con el propósito de abordar este problema, el propósito de este análisis fue la consolidación de terrenos cohesivos por medio de la utilización de componentes que se están produciendo excesivamente. Los materiales recolectados se originan en un cultivo destinado al procesamiento de azúcar, en conjunto con una trituradora destinada al arroz. Los ensayos efectuados a cabo fueron de tipo CBR, y en ellos se realizaron análisis con COS en proporciones del 2.5%, 5% y 7.5%, así como con MSO en proporciones del 2.5%, 5% y 7.5%. Además, se realizaron experimentos con combinaciones de los mencionados componentes, que comprenden 2.5% de COS y 2.5%, 5% y 7.5% de MSO, así como 7.5% de COS y 2.5%, 5% y 7.5% de MSO. La consolidación del suelo se

consiguió a través de la aplicación de un 5% de COS y un 5% de MSO, lo que resultó en una densidad máxima en estado seco de 1.953 g/cm3, un nivel óptimo de humedad del 14.56% y un CBR del 23%. Se llega a la conclusión de que la ceniza de Oryza sativa (COS) y la melaza de Saccharum officinarum (MSO) optimizan el coeficiente de resistencia a la compresión (CBR) y fortalecen el terreno cohesivo destinado al subsoporte. La detección de nuevos puestos de trabajo enfocados en el COS y el MSO implica la contribución beneficiosa a estos residuos, la mitigación de su impacto adverso en el medio ambiente y la reducción de efecto de las enfermedades pulmonares u otras patologías.

Peralta (2023) en su investigación titulada: "Estabilización de suelos arcillosos con cenizas de bagazo de caña de azúcar".

En síntesis: La inclusión de terreno arcillado en la parte inferior de un asfalto podría provocar irregularidades que afectan su integridad, manifestándose a través de perforaciones o imperfecciones en el camino. Para abordar esta problemática, es necesario modificar las cualidades de la capa subrasante, asegurando que estas se ajusten a las normas técnicas establecidas en el Manual de Carreteras correspondiente. Asimismo, el Manual recomienda llevar a cabo una estabilización química, la cual se realiza mediante la incorporación de compuestos, resultando los más comúnmente empleados la cal junto con el cemento Portland. Sin embargo, gracias a la generación de contaminantes asociados a estos aditivos, de igual manera en dicho proceso de obtención como en su utilización, el presente estudio propone el uso de las cenizas de bagazo de las cañas de azúcar, un deshecho fabril que presenta una

notable actividad puzolánica. Adicionalmente, en virtud de su estructura, las cenizas mejoran las propiedades físicas y mecánicas del terreno arcilloso. Esta afirmación se respalda con pruebas de ensayo que demuestran que la adición de las cenizas de bagazo optimiza todas las propiedades físicas y mecánicas del suelo. En consecuencia, se analizan las modificaciones de dichas características y su efecto en la optimización del terreno. En última instancia, se propuso la combinación de cenizas de bagazo y cal con el objetivo de optimizar el desempeño, lo que condujo a una mayor eficiencia al utilizar ambos aditivos.

Goñas & Saldaña (2020) en su investigación titulada: "Estabilización de suelos con cenizas de carbón para uso como subrasante mejorada".

En síntesis: una de las cualidades que tiene el suelo es soportar específicamente en la ciudad de Chachapoyas es insuficiente para su uso en calidad de base de tierra. En consecuencia, este tipo de investigaciones experimentales se centró en analizar de la influencia de un residuo resultante de las combustiones de carbón ecológico y carbón vegetal, específicamente la ceniza de carbón, obtenidas de la planta de ladrillos ubicada en la localidad de Chachapoyas, con el fin de mejorar las características mecánicas de pruebas del terreno. La investigación de comienza con la recolección de pruebas del terreno de la cuadra 8 y 9 de la vía Las Lomas, anexo 16 de octubre. Dentro de cada muestra del terreno en su condición auténtico se le realizaron análisis de humedades relativas, granulometrías, límite de atterberg, compactación de Proctor estándar y capacidad de soporte (CBR). Las muestras que fueron sometidas a ensayos de límites de consistencia, compactación Proctor estándar

y capacidad de soporte (CBR) fueron evaluadas exclusivamente mediante dichas pruebas. Los hallazgos indicaron que la ceniza de carbón, presenta mejorías en la fuerza portante del suelo clasificados como CH y OH, no logran estabilizarlos, así como indican en el reglamento de caminos, suelos, geología, geotecnia y pavimentos, con el fin de su uso como subrasante optimizada.

2.1.3. En medios locales para el estudio

Mamani (2020) en su investigación titulada: "Incorporación de ceniza de estiércol en impermeabilización y propiedades físico - mecánicas de base de pavimento flexible Juliaca – 2022".

El objetivo del estudio se basó en realizar un análisis sobre el agregado de las cenizas de estiércol en la impermeabilidad y en las propiedades físico-mecánicas de la base granular de la carretera de pavimentos flexibles en la localidad de Juliaca, durante el año 2022. Se implementó un procedimiento explicativo de caracteres aplicada, teniendo de enfoque cuantitativo y de diseño puro experimental. El universo de indagación presenta una composición a base de materiales granulares de estructuras flexibles procedentes de Juliaca, así como por las pruebas de bases granulares a las que se les añadió ceniza de estiércol en proporciones de 1, 3 y 5 porciento. Estos hallazgos mencionan que las cualidades físico mecánicas del material granular no cumplen con los criterios establecidos por la normativa del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) correspondiente al año 2014. La característica más relevante fue el Valor Relativo de Soporte (CBR), los cuales establecen que la base granular deberían

presentar un Valor CBR superior al 80%. Sin embargo, los valores de base obtenidos en las muestras fueron del 74.9%. el agregado de la ceniza de estiércol en las capas granularias del pavimento ejerce unos impactos considerables en las propiedades de los suelos. Esto se evidencia en la disminución de las estimaciones del límite líquido y del índice de plasticidad, en el incremento de los principios de máxima densidad seca, en la reducción de cada valor del contenido óptimo de humedad y, últimamente, en el aumento del valor relativo de soporte (CBR). Estos hallazgos relacionados con respecto a las influencias de las cenizas de estiércol permitirán tener un grado de impermeabilidad en la capa granular. El agregado de las cenizas de estiércol con dosificaciones de 1, 3 y 5 porciento. en las mezclas granular demuestra una reducción en la cifra de permeabilidad "k". Esto indica que la permeabilidad del suelo redujo con la frecuencia que aumentan las cantidades de ceniza de estiércol.

Flores (2024) en su investigación titulada: “Estabilización de suelos arcillosos a nivel de subrasante con aplicación de cal y ceniza de cáscara de quinua en el Distrito de San Miguel, San Román Puno”.

En resumen: específicamente en la localidad del distrito de San Miguel se tiene problemáticas de inestabilidades edáficas, los cuales se deben, en parte, a las condiciones climáticas durante las temporadas de precipitaciones, lo que conlleva un aumento en la susceptibilidad a inundaciones. La región se caracteriza debido a la presencia de terrenos cohesivos que presentan una aptitud para soporte insuficiente, los cuales han motivado la investigación de

solución para estabilizar. El propósito del estudio consiste en determinar las consecuencias de la incorporación de cal y cenizas de cáscaras de quinua en la consolidación de suelo cohesivo en el grado de subrasante, mediante la aplicación de diferentes proporciones de dichos componentes. El método empleado fue de carácter cuasi-experimental. Donde se ejecutaron las pruebas de Proctor, CBR y límites de Atterberg sobre las categorías de suelo natural, así como en aquellos estabilizados por medio de porcentajes de cal y ceniza, diseñadas con el fin de diversas combinaciones de componentes. Los hallazgos indican una disminución en la relación de plasticidad, que ha pasado del 31.07% al 15.18%. La incorporación de una combinación que consiste en un 7% de cal y un 13% de las cenizas de cáscaras de quinua ha dado lugar a unas disminuciones en las densidades máximas de secado de la prueba, que ha pasado de 1,82 g/cm³ a 1,46 g/cm³. Asimismo, se presenciaron el incremento del contenido de humedad óptimo, que ha incrementado del 15,13% al 28,20%, y un aumento en el CBR al 95% de la densidad máxima seca, que ha ascendido del 5,40% al 29,35% con una penetración de aproximadamente 0,1 pulgadas. Finalmente concluyo mencionando que agregar la cal y cenizas de cáscaras de quinua incrementa significativamente cada propiedad físico-mecánica del terreno arcilloso, incrementando la resistencia a carga, disminuyendo las plasticidades y expansión, y optimizando la compactación del suelo. Este tipo de hallazgos indican que la metodología de consolidación tiene efectividad en optimizar las propiedades en los suelos cohesivos sobre el nivel de subsuelo en la zona.

Villafuerte (2024) en su investigación titulada: "Mejoramiento de subrasante del camino vecinal para mejorar valor soporte del suelo utilizando ceniza volatil de totora en zona alto andina del peru-2023".

En síntesis: finalidad: Llevar a cabo un análisis sobre el agregado de la ceniza volátil de totora o de Icchus en la consolidación de terrenos de origen cementante, que actúan como base para el camino carrozable Ccota – Quipata, en el departamento de Puno, en el periodo del año 2023. Metodología: Se realizó una evaluación de terreno en el cual se reconoció la localidad relevante, que en el contexto de este estudio corresponde a la totalidad de la carretera Ccota-Quipata en la localidad de Puno. El universo del estudio abarca la totalidad de la ruta Ccota-Quipata, esto cuenta con longitud de 2,750 kilómetros en la localidad de Puno. Las observaciones nos indican que la densidad seca máxima experimentó un incremento progresivo al agregar las dosificaciones de cenizas, logrando un valor máximo de 1.719 g/cm³ presentando que con 16% de cenizas de totoras y un nivel ideal de humedad del 16.55%. Este hallazgo indica que las cenizas de totoras facilita una consolidación óptima del suelo, superando sus características de compactación. Adicionalmente, desde una perspectiva económica, la ceniza de totora se presenta como un reemplazo más viable, con una tarifa de aproximadamente S/. El costo es de 20.55 por metro cúbico, en contraste respecto a S/. El costo es de 36.33 por metro cúbico de cemento Portland tipo I, lo cual se debe a su predominancia en la zona. Conclusión: La implementación de cenizas de totoras se han demostrado como unas

alternativas eficientes y financiera con el fin de estabilizar suelo en obras de desarrollo vial en la zona de Puno.

Mamani et al. (2023) en su investigación titulada: "Estabilización de la subrasante con ceniza de quinua y cal en la Carretera Lago Sagrado, Puno, Perú".

En síntesis: Las vías de comunicación que conectan los núcleos urbanos de Puno, Perú, presentan un estado de pavimentación deficiente, ya que en su mayor parte las vías son de trochas carrozables. Adicionalmente, este tipo de vías obstaculizan la circulación continua y protegido de los vehículos como resultado de la presencia de fisuras y deformaciones ocasionadas por las precipitaciones. En consecuencia, la finalidad de este estudio fue encontrar las eficiencias de las combinaciones de cenizas de quinua y cal con el fin de estabilizar los suelos. La manipulación en las pruebas y datos se realizó a través de la aplicación de una metodología específica, un diseño experimental riguroso y un enfoque cuantitativo. Todos hallazgos indican un incremento en las propiedades de dichos terrenos cohesivos a través de la incorporación de cenizas de quinua y cal. Mediante una adición de un 9% de ceniza de quinua y así mismo 5% de cal, en uno de ellos se apreció reducción en la fluctuación del límite líquido, el límite plástico y el índice de plasticidad respecto al terreno del cimiento. Referente a las densidades secas máximas y el el porcentaje de humedad optima, se observó una reducción del contenido de humedad óptimo al 9% y leve incremento en la densidad seca hasta alcanzar 1,902 g/cm³. El coeficiente de CBR presentó una variación, adquiriendo un valor del 32,0 % a

una densidad seca del 100 %, en tanto que a una densidad seca del 95 % se observó un índice de 25,6 %. Finalmente concluyo mencionando que la adicion de las cenizas de quinua y cal optimiza la mayoría de las propiedades mecánicas del terreno.

Colque (2022) en su investigación titulada: "Evaluación del uso de ceniza de fondo y cal como aditivo estabilizante de suelo arcilloso en la subrasante del camino vecinal Pallalla - Totojira".

En resumen: La inadecuación de los suelos arcillosos para la infraestructura vial se debe a su limitada capacidad portante. La finalidad principal en esta investigación fue encontrar de que forma las incorporaciones de las cenizas de fondo, procedente de instalaciones de ladrillos en Salcedo, y cal puede tener mejorías en la firmeza del terreno en la subrasante arcillosa del camino vecinal Pallalla – Totojira, situado en la municipalidad de Platería, Puno. Se llevaron a cabo evaluaciones de incorporaciones de 3, 6, 9 y 12 porciento. de cenizas de fondo, así como de un 3% de cal. La optimización de las características física y mecánica fue verificada por medio de las ejecuciones de pruebas de laboratorios, las cuales realizaron los límites de consistencia, el ensayo Proctor modificado, el índice de CBR y el índice de extensión. Esta investigación se basa en las metodologías científicas, adoptando un enfoque descriptivo y un diseño de puro experimental. El universo de estudio está conformado todos los suelos de subrasante de la vía adyacente. Estos escogieron pruebas correspondientes a las calicatas C-02 y C-03, las cuales han sido detectadas como CL y CH, de manera similar, conforme al diagrama

estratigráfico. Las observaciones presentan que las inclusiones de cenizas de fondo y cal actúa en calidad de un estabilizador natural, optimizando de forma muy significativo a las propiedades del suelo en cuestión. Con respecto de la calicata C-02 (CL), se determinó que la concentración ideal corresponde a S88-CF9-C3, lo que dio como resultado un Índice de Potencia (I.P.) de 7.1, una masa de soporte de 1.732 g/cm³, un CBR del 20.6% y una tasa de extensión del 1.13%. La dosificación óptima para cada calicata C-03 (CH) fue S85-CF12-C3, lo que produjo un Índice de Potencia (I.P.) de 8.8, una Densidad Máxima Secante (MDS) de 1.667 g/cm³, un Coeficiente de Balasto (CBR) de 11.7% y un nivel de crecimiento del 2.44%. Dichos componentes han demostrado una eficacia superior en suelos clasificados como Cl en comparación con aquellos clasificados como CH.

2.2. Bases teóricas para el estudio

2.2.1. Cenizas de árboles oriundos

La ceniza se caracteriza por ser el resultado de la combustión de un material, compuesto por sustancias inorgánicas no combustibles, tales como sales minerales. Un segmento del desecho se mantiene en estado de polvo depositado en la zona de quemado del combustible, tal como madera o desechos, mientras que una fracción puede ser liberada al aire como componente del humo. La ceniza vegetal, comprendiendo elementos como la madera y los rastrojos, ostenta un elevado contenido de minerales indispensables para su desarrollo. El fertilizante puede ser empleado en

situaciones de ausencia de metales pesados u otros contaminantes potenciales. Este fenómeno se atribuye a su elevada alcalinidad (Ramirez, 2020).

La ceniza cumple una función crucial en la generación y extracción del compost alto andino. La implementación en volúmenes mínimos regula el pH durante el proceso de compostaje y, adicionalmente, promueve el enriquecimiento del abono compost con elementos tales como potasio, fósforo, calcio y magnesio, entre otros. Se destaca que la implementación de compost maduro, en conjunción con ceniza y harina de rocas, optimiza las propiedades del suelo y mejora significativamente el desempeño agrícola (Ramirez, 2020).

Figura 1.
vista de la ceniza de árboles oriundos.



2.2.1.1. Composición química de la ceniza

La ceniza, caracterizada por un contenido de potasio del 8% y calcio del 19% en forma de sales potásicas, exhibe la inconveniencia de tener un pH elevado de 11, un indicador de alta alcalinidad. La fluctuación en la concentración de ceniza de diversas biomasas es notable, pudiendo oscilar entre un 0.5 % en base seca para especies específicas de pulpa de madera y un 20

% para ciertos cereales o desechos de la industria agropecuaria, particularmente en situaciones donde se encuentran contaminados con tierra de la cosecha (Ramirez, 2020).

Tabla 3.
Propiedades químicas de la ceniza de árbol.

Ceniza total	Chip aserrín de madera <2%	Corteza 3% - 8%	Cereales 5% - 10%
Composición de ceniza			
Si O2	25	25	35 – 60
Al2 O3	5	7	2
Fe2 O3	2	4	2
Ca O	45	40	7
Mg O	5	7	3
K2O	5	5	20 – 30
P 2O5	4	2	6
Contenido de materiales pesados en ppm			
Pb	25	25	10
Cd	5	5	1
Zn	400	600	250
V	40	60	5
Cr	50	150	15
Ni	60	100	4

2.2.1.2. Clasificación de tipo de cenizas

Ceniza volante seca

Los gases de combustión constituyen la fuente de material acumulativo en el sistema de calefacción por aire. Este material se genera mediante la acumulación de partículas en polvo derivadas del proceso de combustión del horno. Dado que estas cenizas suelen ser almacenadas en tolvas, resulta esencial realizar su extracción regular con el objetivo de agruparlas o

comercializarlas para su aplicación en aplicaciones industriales (Huanacuni, 2024).

Figura 2.
Vista física de la ceniza volante seca



Ceniza de fondo seca

De acuerdo con la teoría propuesta por (Huanacuni, 2024), las cenizas se recogen inicialmente en la base de las calderas, posteriormente se evacuan por medio de la gravedad y, finalmente, se trasladan a los silos. La representación más precisa de esta sustancia se obtiene a través de los tonos marrón, negro y blanco.

Figura 3.
Vista física de la ceniza de fondo seca.



Ceniza compuesta seca

De acuerdo con la teoría propuesta por (Huanacuni, 2024), este material se compone de una amalgama de cenizas volcánicas secas y cenizas de fondo secas, las cuales son producidas durante el proceso de almacenamiento en silos.

Figura 4.
Vista física de la ceniza compuesta seca.



Ceniza compuesta hidratada

De acuerdo con la teoría propuesta por (Huanacuni, 2024), se establece que, con el fin de prevenir la dispersión de las cenizas durante su transporte, es necesario que este material sufra una hidratación inicial de las cenizas compuestas antes de ser trasladado a un área de almacenamiento dentro de la instalación.

Figura 5.
Vista física de la ceniza compuesta hidratada.



2.2.1.3. Origen de los arboles oriundos en la sierra de puno

Queñua

El género Polylepis se encuentra específicamente en la Cordillera de los Andes, con especies claramente delimitadas en Perú, Venezuela, Colombia, Ecuador, Bolivia, el norte de Chile y el noroeste de Argentina. Estas plantas se desarrollan en altitudes que varían entre 4,000 y 5,000 metros sobre el nivel del mar; no obstante, también se encuentran en altitudes que no exceden los 1,800 metros sobre el nivel del mar. Se adaptan a diversas características de los suelos, formando bosquetes en quebradas y laderas con alta humedad. La regeneración natural no constituye un fenómeno habitual; no obstante, puede observarse en la semilla vegetal (Lidonil, 2021).

Los bosques de queñua se distribuyen en toda la cordillera de los andes de Sudamérica, extendiéndose desde Venezuela hasta los andes septentrionales de Argentina y Chile (Mulluni, 2023).

Figura 6.
Vista del árbol vivo queñua.



Quina

Los árboles de quina, denominados también cascarilla, pertenecen al género Cinchona y son originarios de los valles andinos de América del Sur. Estos árboles pertenecen a la familia Rubiaceae, y su corteza medicinal contiene quinina, un alcaloide que ha demostrado ser un tratamiento eficaz para el paludismo o malaria. Durante el periodo colonial, este tratamiento curó a Ana Osorio, Condesa de Chinchón y esposa del virrey del Perú, Gerónimo Fernández de Cabrera. Esta circunstancia llevó a que la clase vegetal correspondiente a esta categoría fuera denominada Cinchona (Baselly, 2019).

Figura 7.
Vista del árbol vivo quina



2.2.2. Dosificación de cenizas de arboles

Con el propósito de optimizar las propiedades físicas y mecánicas de los suelos de la subrasante a través de la incorporación de cenizas de árboles autóctonos del distrito de Vilque Chico, la dosificación se realizará en función del peso del suelo, aplicando los porcentajes pertinentes.

Esta dosificación se calcula con la siguiente expresión:

$$PC = PM * \%dosificacion$$

PC: peso de la ceniza

PM: peso de la muestra de suelos

%dosificación: porcentaje de dosificación asignado.

2.2.3. Suelos de subrasante

2.2.3.1. Suelo

Los suelos de definen como representa la capa superficial del planeta tierra, siendo el proceso final de la descomposición de las rocas y de las acumulaciones de materias orgánicas en el transcurso del tiempo. La formación del suelo es un procedimiento que se distingue por su lentitud y complejidad, y está influenciado por diversos factores, tales como el clima, la relieve, cada organismo vivo, los materiales de origen y el transcurso del tiempo (Lescano, 2018).

Desde una perspectiva física, el suelo está constituido por partículas de diversos tamaños, que incluyen arenas, limos y arcillas, así mismo contiene agua, aire y materias orgánicas en diferentes formas de descomposición. Estas combinaciones determinan las texturas, la permeabilidad, las capacidades de retención de agua y la fertilidad del suelo (Huisa, 2020).

El suelo se organiza en los horizontes en forma de capas, los cuales presentan el procedimiento de formaciones y transformaciones que han contribuido a su origen.

El suelo constituye unos elementos fundamentales para el bienestar del planeta tierra, dado que proporciona soportes a las vegetaciones, facilita las producciones agrícolas, intervienen en cada siglo bioquímico, almacenaje y filtran el agua, albergan unas amplias diversidades de organismos y contribuyen a los equilibrios climáticos por medio de la captura de carbonos.

Suelo de subrasante

La subrasante se define como una de las capas de los suelos naturales o tratadas que sirven de base para la construcción de carreteras. Considere que esta es la base de una casa; si dicha base no es sólida, toda la estructura se verá comprometida. Una subrasante con adecuadas capacidades de soportes es fundamental para garantizar la durabilidad y el rendimiento de cualquier vía (Burga, 2023).

La subrasante debe contar con propiedades de soportar una parte de las cargas generadas por el tráfico, prevenir deformaciones excesivas, facilitar el drenaje y proteger el pavimento de las inclemencias climáticas. Una subrasante inadecuada puede provocar hundimientos, abultamientos, baches y, en última instancia, el colapso del pavimento.

Estabilización del suelo

La estabilización del suelo constituye uno de los aspectos más relevantes en cualquier proyecto de construcción, dado que facilita la preparación del terreno para la creación de cimientos sólidos y duraderos, lo que contribuye a prevenir derrumbes o agrietamientos en la estructura a largo plazo.

Una de las finalidades de esta actividad de ingeniería es la incorporación de productos estabilizadores de suelos que optimicen las propiedades físicas, químicas y biológicas de la superficie destinada a la construcción de edificaciones, carreteras, viviendas, entre otros.

Todo procedimiento de estabilizar los suelos puede realizarse de forma natural o mediante métodos artificiales. En el proceso natural, se utilizan factores tales como el clima, la vegetación, los microorganismos y los animales para modificar el suelo a lo largo del tiempo. En contraste, en el proceso artificial se emplean técnicas y materiales específicos con la finalidad de realizar mejorías en las propiedades de los suelos.

Es imperativo evaluar la estabilización de subrasantes de suelos que presenten un CBR similares o superiores al 6% en zonas húmedas o blandas. Esto puede llevarse a cabo mediante métodos de estabilización mecánica, sustitución de cimentaciones, estabilizaciones con aditivos o la implementación de geosintéticos. Para ello, es necesario tener identificado el tipo de suelo y seleccionar el método de estabilización correspondiente (Laura, 2022).

Importancia de la estabilización de suelos

Estabilizar el suelo para pavimentos o cualquier otro tipo de proyecto constituye una práctica altamente beneficiosa tanto para el medio ambiente como para la economía. Entre los factores que determinan su relevancia se encuentran:

Minimice el riesgo de erosión, deslizamientos, hundimientos o asentamientos del suelo, los cuales pueden ocasionar daños en las infraestructuras y afectar a las personas.

- Se incrementa las capacidades de cargas y las resistencias del suelo, lo que posibilita la construcción de estructuras más seguras y duraderas.
- Se reducen las necesidades de transportar y utilizar materiales de relleno o de sustitución del suelo. Esto genera un bajo recurso naturales.
- Se deben mejorar cada condición de drenajes y permeabilidades del suelo con el objetivo de prevenir problemas de humedad, filtraciones o inundaciones.
- Contribuye al desarrollo de la vegetación y la biodiversidad.

2.2.3.2. Propiedades físicas

Clasificación granulométrica

Esta clase de ensayos se realiza de acuerdo con las normas NTP 339.128. Inicialmente, se recolectó una muestra representativa de un mínimo de

500 gramos de terreno en condiciones de secado. A continuación, se realizó su respetivo lavado de muestras utilizadas en una malla de número 200, hasta tener un efluente de tonalidad más nítida. Se procedió a la deshidratación de la muestra, que fue posteriormente sometida a un tamizado mediante un grupo de tamices de ordenes descendentes, así como se especifican en las normas (análisis granulométrico – diámetros de los tamices). Así, se consiguió identificar cantidades representativas del suelo retenido en cada tamiz, lo que facilitó la determinación de los porcentuales acumuladas para su representación en una hoja semi-logarítmica (Condori & Gonzalez, 2018).

Contenido de humedad

La diversidad en los porcentajes de humedad provoca fluctuaciones en la deformación y en los asentamientos. La implementación de las simulaciones fue considerada indispensable debidos a las existencias del nivel freático en la región objeto de estudio. Las fórmulas matemáticas sugeridos por Can Clay, Hardennig Soil y Mohr-Coulomb, junto con los enfoques de elementos finitos, son esenciales para poder representar las deformaciones. El modelo objeto de estudio es el modelo de Mohr-Coulomb. La ejecución de la demostración demanda cinco parámetros. Se realizó un análisis sobre el efecto de la empleabilidad de agua en diversas proporciones sobre el suelo mediante un procedimiento experimental.

Límites de consistencia

Los límites de Atterberg, asi mismo conocidos como límites de contenido de humedad, constituyen pruebas de laboratorio estandarizadas que facilitan la determinación de los confines del rango del contenido de humedad en una muestra de suelos fino en su estado plástico. Los hallazgos derivados permitirán la ejecución de la clasificación SUCS (Sistema Unificado de Clasificación de los Suelos). El examen se lleva a cabo conforme a la normativa ASTM D 4318. El límite plástico es definido como el límite que separa los estados semisólidos de los plásticos, mientras que el límite líquido se identifica como el límite líquido (Ormeño & Rivas, 2020).

Índice de plasticidad

Si se trata del índice de plasticidad se define como la diferencia de porcentaje de humedad en el que el suelo exhibe unas consistencias plásticas. Esto alude a la habilidad para sufrir deformaciones permanentes sin ocasionar fracturas. La determinación de esta propiedad se basa en las partículas constituyentes de los agregados y en las presencias de humedades. La ecuación asociada con la línea U se articula de la siguiente forma: La ecuación se representa mediante IP = 0.9(LL - 8). La Figura 9 ilustra la derivación de las ecuaciones suplementarias conforme a la carta de plasticidad de Casagrande. (Tomas, 2025).

2.2.3.3. Propiedades mecánicas

Cohesión

Se alude a la cohesión existente entre partículas de suelos constituyentes del suelo. Se utiliza con el fin de calcular las resistencias al corte derivado de las adhesiones de una partícula a otra. En suelos con granos gruesos la cohesión de una partícula a otra es cero, se postula que dichas cohesiones son inexistentes. Se categorizan este tipo de suelos como "no cohesivos" (C=0). En suelos sin presencia de agua, la presión generada en la extracción del porcentaje de humedad desde los poros provoca fenómeno de adhesiones de una partícula a otra, resultado de las presiones negativas o de la fuerza de capilaridades aplicadas. La cohesión "aparente" se extingue al momento que se satura la estructura (Gonzales & Rivera, 2022).

Angulo de fricción

El Angulo de fricción de los suelos es una de las propiedades de un suelo y se caracteriza como el ángulo cuya tangente simboliza las relaciones entre las fuerzas que resisten la trayectoria de deslizamientos a través de unos planos y las fuerzas normales que se aplica a éste. Cada valor de loa ángulos de fricción fluctúan desde 0° en el contexto de arcillas plásticas, cuyos valores de las consistencias se aproximan a cada límite líquido, hasta 45° o superior en suelos granulares, que presentan una consistencia superior (Apaza, 2017).

Tabla 4.
Valores de los ángulos de fricción de acuerdo al tipo de suelo.

Tipo de suelo	ϕgrados	
	Suelto	Denso
Limo	27 – 30	30 – 34
Arena limosa	27 – 33	30 – 35
Arena uniforme	28	34
Arena bien graduada	33	45
Grava arenosa	35	50

Capacidad portante

La oscilación generada durante la fractura de unas masas de suelos no se circunscribe a unos planos específicos. Es imperativo comprender las interrelaciones entre los diversos esfuerzos que operan sobre los variados planos que intersectan un punto específico. Generalmente, se manifiestan el esfuerzo normal (σ) y el esfuerzo cortante (τ). La primera denota la componente de la fuerza resultante que opera en dirección perpendicular al plano considerado, expresada por cada unidad de áreas de dicho plano. El segundo componente alude a la fuerza tangencial ejercidas sobre el plano, las cuales se cuantifican en unidades de área del referido plano (Apaza, 2017).

2.2.3.4. CBR

Porcentaje de CBR

Se llevan a cabo evaluaciones de acuerdo con las normativas estándar con la finalidad de encontrar las capacidades de soporte del suelo, empleando los datos de los ensayos de Proctor modificado para calcular el valor del Coeficiente de Resistencia de California (CBR) a una densidad específica. La

aptitud del suelo de subrasante con el fin de resistir las cargas que la estructura del pavimento transmite es de considerable importancia. Elementos tales como el grado de compactación, la concentración de humedad y la clasificación del suelo ejercen una influencia considerable en la capacidad de carga. Una subrasante se categoriza como de alta calidad si posee la aptitud para resistir cargas considerables sin exhibir deformaciones desmesuradas.

Tabla 5.
Categoría de las subrasantes de suelos

	Categoría de subrasante	CBR
S0	Sub rasante inapropiado	CBR<3%
S1	Sub rasante subsistencia	De CBR≥3% a CBR<6%
S2	Sub rasante regular	De CBR≥6% a CBR<10%
S3	Sub rasante buena	De CBR≥10% a CBR<20%
S4	Sub rasante sobresaliente	De CBR≥20% a CBR<30%
S5	Sub rasante excepcional	De CBR≥30%

2.3. Marco conceptual para el estudio

Teoría de la Mecánica de Suelos

La mecánica de suelos constituye una rama de la ingeniería civil dedicada al examen del comportamiento físico y mecánico de los suelos cuando son sometidos a diversas cargas. De acuerdo con Karl Terzaghi, reconocido como el precursor de esta disciplina, se conceptualiza el suelo como un sistema trifásico compuesto por sólidos, líquidos y gases. La conducta del material en cuestión se halla determinada por elementos tales como su estructura, su contenido de humedad y su nivel de compactación. Esta teoría es esencial para comprender cómo la incorporación de estabilizantes, como las cenizas, puede alterar las características del suelo de subrasante.

Teoría de la Estabilización de Suelos

La estabilización de suelos conlleva la optimización de las características físicas y mecánicas del suelo natural mediante la integración de materiales estabilizadores. Esta teoría se basa en los fundamentos de la interacción química y física entre el suelo y el aditivo, con la finalidad de potenciar la capacidad portante, reducir la plasticidad y potenciar la resistencia al corte. Los métodos mecánicos disponibles incluyen la compactación, así como los métodos químicos que incorporan la adición de cal, cemento y cenizas, entre otros.

Teoría del Aprovechamiento de Residuos Orgánicos

Esta hipótesis postula que los desechos orgánicos, como las cenizas derivadas de biomasa vegetal, pueden ser reutilizados como materiales alternativos en el ámbito de la construcción sostenible. Las cenizas arbóreas contienen óxidos de calcio, silicio y aluminio, los cuales tienen la capacidad de interactuar con los componentes del suelo para generar compuestos cementantes mediante reacciones puzolánicas, contribuyendo así a la mejora de su estabilidad. Esta teoría se alinea con los fundamentos de la economía circular y la sostenibilidad ambiental.

Teoría de la Reacción Puzolánica

Las puzolanas, materiales compuestos por sílice o aluminosilicato, reaccionan en presencia de humedad y un activador alcalino, tal como el hidróxido de calcio, para producir compuestos cementantes que exhiben propiedades análogas a las del cemento Portland. Esta teoría postula que las

cenizas arbóreas, debido a su contenido de sílice y alúmina, tienen la capacidad de potenciar la cohesión y resistencia del suelo a través de la generación de gels de silicato cálcico hidratado (C-S-H)

Teoría del Diseño de Pavimentos

El diseño de pavimentos se basa en la habilidad del suelo de subrasante para resistir cargas reiteradas sin sufrir deformaciones desmesuradas. Según la teoría del diseño estructural de pavimentos propuesta por la AASHTO, la calidad del suelo de subrasante es un elemento esencial. La optimización de las propiedades mediante la estabilización con cenizas tiene el potencial de reducir el espesor requerido de las capas superiores y extender la vida útil del pavimento.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Enfoque de la investigación

Mixto

El enfoque mixto de investigación se define como una estrategia metodológica que integra de manera complementaria los métodos cuantitativos y cualitativos, con el propósito de obtener una visión más completa y profunda del fenómeno estudiado. Este enfoque combina la rigurosidad numérica y estadística propia de los estudios cuantitativos, con la riqueza interpretativa y contextual de los estudios cualitativos, permitiendo contrastar, validar y ampliar los resultados. Su aplicación busca aprovechar las fortalezas de ambos métodos, reducir sus limitaciones y generar conclusiones más sólidas, útiles y aplicables en distintos contextos, favoreciendo la triangulación de datos y el análisis integral de la realidad (Jiménez, 2020).

En esta investigación se empleará un enfoque Mixto, ya que se busca medir de manera cualitativa y numérica el efecto de la incorporación de cenizas de árboles oriundos en las propiedades físicas y mecánicas del suelo de subrasante en el distrito de Vilque Chico, Huancané. Para ello, se diseñará un experimento con grupos de comparación (suelo natural y suelo tratado con diferentes porcentajes de ceniza), y se aplicarán ensayos de laboratorio estandarizados como el CBR, límites de Atterberg y Proctor modificado, cuyos resultados serán registrados en fichas técnicas

3.2. Método aplicado del estudio

Deductivo

La investigación deductiva en el campo de la ingeniería constituye un enfoque que se fundamenta en principios teóricos, leyes físicas o modelos preexistentes con el objetivo de examinar y solucionar problemas de ingeniería. Este proceso implica la formulación de hipótesis derivadas de conocimientos generales y su aplicación a situaciones específicas con el objetivo de verificar su validez o generar soluciones concretas. Esta modalidad de indagación constituye un método para organizar el examen de sistemas, procesos o infraestructuras de manera lógica y sistemática, con el objetivo de respaldar la toma de decisiones fundamentada en evidencia científica y técnica (Dávila, 2006).

Como investigador, esta investigación se desarrollará empleando el método deductivo, el cual parte de principios generales y teorías previamente establecidas para llegar a conclusiones específicas sobre el comportamiento del

suelo de subrasante tratado con cenizas de árboles oriundos del distrito de Vilque Chico. Este método permite estructurar el estudio desde un marco teórico sólido hacia la comprobación empírica mediante experimentación.

En primer lugar, se parte de teorías generales como la mecánica de suelos, la estabilización química, y la reacción puzolánica, que afirman que ciertos materiales con contenido de óxidos de calcio, silicio y aluminio pueden mejorar las propiedades físicas y mecánicas del suelo. Estas teorías establecen que la adición de estabilizantes puede aumentar la capacidad portante, reducir la plasticidad y mejorar la resistencia al corte del suelo.

3.3. Tipo de investigación del estudio

Aplicada

La investigación aplicada en ingeniería busca resolver problemas prácticos utilizando conocimientos científicos y tecnológicos existentes. Buscan aplicar teorías, modelos y principios para desarrollar soluciones prácticas que mejoren procesos, optimicen recursos o innoven en el diseño y operación de sistemas técnicos. Este tipo de investigación está ligada a la realidad operativa, pues busca generar resultados aplicables que beneficien a la industria, la infraestructura o la sociedad (Baena, 2017)

Como investigador, esta propuesta se enmarca dentro de la investigación de tipo aplicada, ya que tiene como propósito fundamental resolver un problema concreto que afecta directamente a la infraestructura vial rural del distrito de Vilque Chico, en la provincia de Huancané, región Puno. En este caso, el

problema identificado es la baja capacidad portante y la alta plasticidad de los suelos de subrasante, lo cual limita la durabilidad y funcionalidad de caminos no pavimentados, especialmente durante épocas de lluvia.

La investigación aplicada se caracteriza por tomar conocimientos teóricos y científicos en este caso, provenientes de la mecánica de suelos, la ingeniería de materiales y la química de estabilización y utilizarlos para desarrollar una solución práctica y contextualizada: el uso de cenizas de árboles nativos como estabilizante alternativo y sostenible.

Este tipo de investigación se desarrollará mediante la experimentación en laboratorio, donde se evaluará el comportamiento del suelo tratado con diferentes proporciones de ceniza, y se medirá su impacto en parámetros clave como el CBR, los límites de Atterberg y la densidad seca máxima. Los resultados permitirán determinar si este tratamiento mejora significativamente las propiedades del suelo, y si es viable su aplicación en proyectos de mantenimiento y mejoramiento de caminos rurales.

3.4. Nivel de investigación del estudio

Descriptiva – aplicativo

La investigación descriptiva en ingeniería es un tipo de investigación que busca describir las características, condiciones o manera en que operan los sistemas, procesos o infraestructuras de ingeniería sin manipular sus variables. Su objetivo es describir y comprender cómo se manifiesta un fenómeno en su estado natural, a través de la recolección sistemática de datos cuantitativos y

cualitativos. Este tipo de estudio es capaz de revelar patrones, hacer diagnósticos y proporcionar información para la toma de decisiones, siendo útil en las fases iniciales de proyectos, auditorías técnicas o estudios de campo en las que se necesita una visión clara y objetiva del mundo de la ingeniería.

Como investigador, esta investigación se desarrollará bajo el nivel descriptivo y aplicativo, ya que tiene como objetivo principal caracterizar y detallar las propiedades físicas y mecánicas del suelo de subrasante antes y después de ser tratado con cenizas de árboles oriundos del distrito de Vilque Chico, Huancané. Este nivel de investigación permite observar, registrar y analizar fenómenos tal como se presentan, sin manipular las variables de forma experimental, sino describiendo sus comportamientos y variaciones.

La investigación descriptiva se enfocará en identificar y documentar:

Las características geotécnicas del suelo natural (color, textura, granulometría, humedad, plasticidad).

Las propiedades físico-mecánicas del suelo tratado con diferentes porcentajes de ceniza (CBR, límites de Atterberg, densidad seca, resistencia al corte).

Las condiciones ambientales y geográficas del distrito que influyen en el comportamiento del suelo.

Para ello, se aplicarán técnicas de observación directa, toma de muestras en campo, y ensayos de laboratorio normalizados. Los datos recolectados serán

organizados en tablas, gráficos y fichas técnicas, permitiendo una descripción detallada y comparativa entre el suelo natural y el suelo estabilizado.

3.5. Diseño de investigación del estudio

Experimental

La investigación experimental en ingeniería es un tipo de metodología de investigación que estudia los fenómenos tal como suceden en su ambiente natural, con manipular las variables. Este tipo de estudio analiza el comportamiento de sistemas, infraestructuras o procesos técnicos a partir de datos reales, históricos o simulados para descubrir patrones, medir el rendimiento o verificar hipótesis. Es particularmente útil cuando no se puede manipular lo que se estudia (por razones éticas, prácticas o de tamaño) y hace uso de instrumentos como el modelamiento computacional, el análisis estadístico y la recopilación de información documental o de campo (Serna, 2018).

Como investigador, esta investigación se desarrollará bajo un diseño experimental, ya que se busca establecer una relación causal entre la incorporación de cenizas de árboles oriundos y la mejora de las propiedades físico-mecánicas del suelo de subrasante en el distrito de Vilque Chico, Huancané. Este diseño permite controlar las variables involucradas, manipular el factor de estudio (contenido de ceniza) y observar sus efectos sobre el comportamiento del suelo.

El diseño experimental se estructurará en torno a la comparación entre un grupo control (suelo sin tratamiento) y varios grupos experimentales (suelos tratados con diferentes porcentajes de ceniza: 5%, 10%, 15%). Cada grupo será sometido a las mismas condiciones de ensayo en laboratorio, garantizando la validez interna del estudio.

3.6. Población y muestra del estudio

3.6.1. Población del estudio

El universo y/o población de estudio son representativos a un conjunto total de elementos, personajes o unidades que presentan una característica (o varias) los cuales serán fines de estudio (en función del enfoque de la investigación, en el universo se puede incluir a personas, grupos, organizaciones, eventos u cualquier tipo de entidades que sean relevantes para el problema u objeto de investigación). Se establece claramente la población objeto de estudio con el fin de cada resultado obtenido se pueda aplicar a este colectivo, y, de hecho, es habitual seleccionar una cantidad representativa como muestra del universo del objeto de investigación debido a razones de tiempo, recursos y/o accesibilidad (Arias, Villasís, & Miranda, 2016).

Como investigador, la población de esta investigación estará conformada por los suelos de subrasante ubicados en el distrito de Vilque Chico, provincia de Huancané, región Puno, que presentan características geotécnicas deficientes para el soporte de estructuras viales. Esta población ha sido seleccionada debido a la alta incidencia de caminos rurales con problemas de

deformación, pérdida de capacidad portante y baja resistencia durante temporadas de lluvia.

La población de estudio no se refiere a personas, sino a unidades geotécnicas representadas por sectores de suelo natural distribuidos en diferentes zonas del distrito, donde se evidencian condiciones de baja calidad estructural. Estos suelos serán caracterizados mediante inspección técnica y muestreo en campo, considerando variables como textura, humedad, granulometría, plasticidad y comportamiento mecánico.

10 muestras extraídas del distrito de Vilque Chico, Huancané – Puno 2025.

3.6.2. Muestra del estudio

Es una cantidad representativa de la población y/o universo que son seleccionados para participar en la investigación. No siempre es posible estudiar toda la población (por ejemplo, cuando la población es grande o resulta muy costoso abordar a toda la población), por lo que se elige un conjunto que muestre las características más relevantes de la población estudiada, permitiendo generalizar los resultados obtenidos. Puede hacerse de diferentes formas, como mediante muestreo aleatorio, estratificado, por conveniencia, etc. La muestra seleccionada es más que una mera cuestión técnica: debe ser adecuada y representativa para que los resultados sean válidos y aplicables a la población en su conjunto (Arias, Villasís, & Miranda, 2016)

Como investigador, la muestra de esta investigación estará conformada por 10 muestras de suelos recolectadas en distintos sectores representativos del distrito de Vilque Chico, ubicado en la provincia de Huancané, región Puno, durante el año 2025. Esta muestra ha sido seleccionada con el propósito de analizar de manera técnica y comparativa el comportamiento del suelo de subrasante frente a la incorporación de cenizas de árboles oriundos de la zona.

3.7. Técnica e instrumento de recolección de información del estudio

3.7.1. Técnica del estudio

Observación directa

La investigación por observación directa en ingeniería consiste en el estudio sistemático de fenómenos, procesos o comportamientos técnicos mediante la inspección visual y el registro de datos en tiempo real, sin intervenir ni modificar las condiciones del entorno. Esta metodología es capaz de detectar errores de funcionamiento, medir el rendimiento de sistemas, verificar diseños y comprender cómo funcionan las infraestructuras en el mundo real. Es especialmente útil en etapas diagnósticas, auditorías técnicas o estudios de campo, donde la evidencia empírica observada aporta información clave para la toma de decisiones y la mejora continua de proyectos ingenieriles. (Mejía, 2015).

Como investigador, en el desarrollo de esta investigación se empleará la técnica de observación directa como un recurso fundamental para recolectar información empírica sobre las condiciones reales del suelo de subrasante en el distrito de Vilque Chico, Huancané – Puno. Esta técnica permitirá registrar de

manera sistemática y objetiva las características físicas del terreno, el entorno natural, y los procesos de recolección y preparación de las cenizas de árboles oriundos utilizadas como estabilizante.

Los registros obtenidos mediante esta técnica serán anotados en fichas de observación estructuradas, acompañadas de fotografías georreferenciadas y notas de campo. Esta información enriquecerá el análisis de resultados, aportando una visión contextual y práctica del fenómeno estudiado, y facilitando la interpretación de los datos experimentales en función de las condiciones reales del entorno.

3.7.2. Instrumentos del estudio

Fichas de recolección de datos

La investigación con fichas de toma de datos en ingeniería es un método que emplea formularios estandarizados para recopilar información específica de naturaleza técnica, operativa o ambiental, la cual es de interés para el análisis de sistemas, procesos o infraestructuras. Dichas fichas posibilitan la organización de datos cuantitativos y cualitativos recolectados en campo o laboratorio para luego ser procesados, comparados y validados. En ambientes de ingeniería son particularmente aplicables para evaluar condiciones físicas, tomar medidas de variables como presión, flujo o temperatura, y registrar observaciones que ayuden al diagnóstico, diseño o mejora de soluciones técnicas (Arispe, y otros, 2020).

Como investigador, en el desarrollo de esta investigación se empleará el instrumento de fichas de recolección de datos, el cual permitirá registrar de manera ordenada, precisa y sistemática la información obtenida tanto en campo como en laboratorio. Este instrumento ha sido diseñado para facilitar el seguimiento de cada muestra de suelo, desde su extracción hasta su análisis técnico, asegurando la trazabilidad y consistencia de los datos.

Estas fichas serán completadas por el equipo técnico responsable de la investigación, utilizando formatos impresos y digitales para facilitar su procesamiento estadístico posterior. Además, se incluirán fotografías georreferenciadas y códigos de identificación únicos para cada muestra, lo que permitirá una gestión eficiente de la información.

3.8. Validez y confiabilidad del instrumento del estudio

3.8.1. Validación del instrumento del estudio

Validez por expertos:

La validación de instrumentos de investigación es un proceso fundamental que garantiza la calidad y confiabilidad de los datos obtenidos en un estudio. Consiste en comprobar que el instrumento empleado realmente mide lo que se propone medir y lo hace de manera consistente.(López & Fachelli, 2015)

Como investigador, en esta investigación no se realizó ningún tipo de validación de los instrumentos ya los instrumentos empleados en los ensayos de

suelos están en las normativas. Lo cual me permitió realizar recolectar los datos de forma segura, precisa y coherente con los objetivos del estudio.

3.8.2. Confiabilidad de los instrumentos del estudio

Confiabilidad:

La confiabilidad del instrumento de investigación se refiere al grado en que este produce resultados consistentes y estables al ser aplicado en diferentes momentos o contextos. En otras palabras, mide la precisión y la ausencia de errores aleatorios en la recolección de datos. Un instrumento confiable asegura que las respuestas obtenidas reflejan de manera constante las características del fenómeno estudiado (Matos & Pasek, 2008).

Como investigador, para garantizar la confiabilidad interna del instrumento de recolección de datos específicamente las fichas estructuradas utilizadas para registrar las propiedades físico-mecánicas del suelo, se encuentran plasmadas en las normativas es por ello que no se realizó ningún tipo de confiabilidad, ya estos instrumentos son empleados en proyectos de ingeniería que miden una misma dimensión o variable.

3.8.3. Procedimiento de obtención de la ceniza

1. Selección del material vegetal

Se identificó el árbol oriundo específicamente el queñua, para lo cual se recolecto ramas, hojas secas o corteza previamente recolectada de manera sostenible, evitando la tala indiscriminada.

2. Secado del material

El material recolectado se somete a un proceso de secado natural al aire libre, con el fin de reducir la humedad y facilitar la combustión uniforme.

3. Combustión controlada

El material seco se quema en un horno a altar temperaturas, asegurando una combustión completa.

4. Enfriamiento y recolección

Una vez finalizada la combustión, la ceniza se dejó enfriar en un ambiente cerrado para evitar contaminación externa.

5. Se recolecta cuidadosamente en recipientes limpios y secos.

Se homogeniza para asegurar uniformidad en su composición.

6. Almacenamiento

Finalmente, la ceniza se guarda en envases herméticos, protegidos de la humedad y la luz, para conservar sus propiedades físico-químicas hasta su uso en ensayos o aplicaciones (estabilización de suelos)

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1. Descripción, explicación y análisis de la información obtenida

4.1.1. Identificar las propiedades físicas de los suelos de subrasante en el distrito de Vilque Chico, Huancané – Puno 2025.

Tabla 6.
Propiedades físicas de suelos naturales.

Suelo Natural					
muestras	**Clasificación granulométrica (aashto)**	**Contenido de humedad**	**Límites de consistencia**		
			LL	**LP**	**lp**
1	A-6(B)	12.00	26.00	12.00	14.00
2	A-6(A)	13.00	30.00	15.00	15.00
3	A-6(C)	15.00	33.00	17.00	16.00
4	A-6(B)	14.00	34.00	16.00	18.00
5	A-6(C)	13.00	36.00	21.00	15.00

Interpretación. La Tabla 6 presenta las propiedades físicas de cinco muestras de suelos naturales, todas clasificadas según el sistema AASHTO como tipo A-6 con variantes (A, B y C), lo que indica suelos arcillosos con baja capacidad de soporte. El contenido de humedad varía entre 12.00% y 15.00%,

mostrando una ligera tendencia al aumento en las muestras con clasificación A-6(C). Los límites de consistencia reflejan una plasticidad moderada, con límites líquidos (LL) entre 26.00 y 36.00, límites plásticos (LP) entre 12.00 y 21.00, y índices de plasticidad (Ip) que oscilan entre 14.00 y 18.00, lo que sugiere una variabilidad en la cohesión y comportamiento mecánico del suelo ante cambios de humedad.

Tabla 7.
Propiedades físicas de suelos naturales + 1% de ceniza.

Suelo Natural + 1% ceniza					
muestras	**Clasificación granulométrica (aashto)**	**Contenido de humedad**	**Límites de consistencia**		
			LL	**LP**	**Ip**
1	A-6(B)	15.00	28.00	11.00	17.00
2	A-6(A)	14.00	31.00	14.00	17.00
3	A-6(C)	16.00	34.00	18.00	16.00
4	A-6(B)	15.00	35.00	16.00	19.00
5	A-6(C)	14.00	38.00	22.00	16.00

Interpretación. La Tabla 7 muestra las propiedades físicas de suelos naturales tratados con un 1% de ceniza, manteniéndose la clasificación AASHTO A-6 en todas las muestras, lo que indica que la adición de ceniza no modificó significativamente la clasificación granulométrica. Se observa un ligero incremento en el contenido de humedad respecto a los suelos sin aditivo, con valores entre 14.00% y 16.00%. En cuanto a los límites de consistencia, el límite líquido (LL) varía de 28.00 a 38.00, el límite plástico (LP) de 11.00 a 22.00, y el índice de plasticidad (Ip) entre 16.00 y 19.00, lo que sugiere un leve aumento en la plasticidad general del suelo, posiblemente debido a la interacción de la ceniza con las partículas finas del suelo, mejorando su cohesión y capacidad de retención de agua.

Tabla 8.
Propiedades físicas de suelos naturales + 3% de ceniza.

Suelo Natural + 3%					
muestras	**Clasificación granulométrica (aashto)**	**Contenido de humedad**	**Límites de consistencia**		
			LL	**LP**	**Ip**
1	A-6(B)	14.00	24.00	11.00	13.00
2	A-6(A)	15.00	26.00	16.00	10.00
3	A-6(C)	13.00	23.00	12.00	11.00
4	A-6(B)	14.00	25.00	15.00	10.00
5	A-6(C)	15.00	28.00	14.00	14.00

Interpretación. La Tabla 8 presenta las propiedades físicas de suelos naturales modificados con un 3% de ceniza, manteniéndose la clasificación AASHTO A-6 en todas las muestras, lo que indica que la adición no alteró significativamente la granulometría. Se observa una ligera variación en el contenido de humedad, entre 13.00% y 15.00%, similar a los suelos sin aditivo. En cuanto a los límites de consistencia, se evidencia una reducción en los valores del límite líquido (LL) y del índice de plasticidad (Ip) respecto a las tablas anteriores, con LL entre 23.00 y 28.00, LP entre 11.00 y 16.00, y Ip entre 10.00 y 14.00, lo que sugiere que el incremento de ceniza contribuye a disminuir la plasticidad del suelo, posiblemente mejorando su estabilidad y comportamiento mecánico.

Tabla 9.
Propiedades físicas de suelos naturales + 5% de ceniza.

Suelo Natural + 5%					
muestras	**Clasificación granulométrica (aashto)**	**Contenido de humedad**	**Límites de consistencia**		
			LL	**LP**	**Ip**
1	A-6(B)	15.00	25.00	11.00	14.00
2	A-6(A)	16.00	24.00	12.00	12.00
3	A-6(C)	13.00	26.00	12.00	14.00
4	A-6(B)	14.00	23.00	10.00	13.00
5	A-6(C)	12.00	28.00	15.00	13.00

Interpretación. La Tabla 9 presenta las propiedades físicas de suelos naturales tratados con un 5% de ceniza, manteniéndose la clasificación AASHTO A-6 en todas las muestras, lo que indica que la adición no altera significativamente la granulometría del suelo. El contenido de humedad oscila entre 12.00% y 16.00%, sin mostrar una tendencia clara respecto a las tablas anteriores. En cuanto a los límites de consistencia, se observa una reducción en los valores del límite líquido (LL) y del índice de plasticidad (Ip), con LL entre 23.00 y 28.00, LP entre 10.00 y 15.00, y Ip entre 12.00 y 14.00. Estos resultados sugieren que el incremento de ceniza contribuye a disminuir la plasticidad del suelo, lo que podría mejorar su comportamiento mecánico y estabilidad, especialmente en condiciones de humedad.

4.1.2. Identificar las propiedades mecánicas de los suelos de subrasante en el distrito de Vilque Chico, Huancané – Puno 2025.

Tabla 10.
Propiedades mecánicas de suelos naturales.

	Suelo Natural	
muestras	**Cohesión kg/cm2**	**Angulo de fricción (°)**
1	0.35	18.00
2	0.30	16.00
3	0.31	15.00
4	0.34	14.00
5	0.29	17.00

Interpretación. La Tabla 10 presenta las propiedades mecánicas de cinco muestras de suelos naturales, evidenciando una cohesión que varía entre 0.29 y 0.35 kg/cm², lo que indica una resistencia moderada al corte en ausencia de carga normal. El ángulo de fricción interna oscila entre 14° y 18°, reflejando

diferencias en la capacidad de los suelos para resistir el deslizamiento bajo carga. En conjunto, estos valores sugieren que los suelos evaluados poseen características mecánicas adecuadas para aplicaciones con exigencias estructurales moderadas, aunque con variabilidad que podría influir en su comportamiento según las condiciones de carga y humedad.

Tabla 11.
Propiedades mecánicas de suelos naturales + 1% de ceniza.

Suelo Natural + 1% ceniza		
muestras	**Cohesión kg/cm2**	**Angulo de fricción (°)**
1	0.36	17.00
2	0.31	16.00
3	0.32	15.00
4	0.35	17.00
5	0.34	13.00

Interpretación. La Tabla 11 muestra las propiedades mecánicas de suelos naturales tratados con un 1% de ceniza, evidenciando una ligera mejora en la cohesión respecto a los suelos sin aditivo, con valores entre 0.31 y 0.36 kg/cm². El ángulo de fricción interna varía entre 13° y 17°, mostrando una leve disminución en algunas muestras, lo que podría indicar una modificación en la textura o estructura del suelo debido a la adición de ceniza. En conjunto, estos resultados sugieren que el tratamiento con ceniza al 1% puede contribuir a mejorar la resistencia al corte del suelo, aunque su efecto sobre la fricción interna es variable.

Tabla 12.
Propiedades mecánicas de suelos naturales + 3% de ceniza.

Suelo Natural + 3% ceniza		
muestras	**Cohesión kg/cm2**	**Angulo de fricción (°)**
1	0.32	17.00
2	0.34	15.00
3	0.31	14.00
4	0.31	16.00
5	0.36	15.00

Interpretación. La Tabla 12 presenta las propiedades mecánicas de suelos naturales tratados con un 3% de ceniza, mostrando una cohesión que varía entre 0.31 y 0.36 kg/cm², lo que indica una mejora leve pero consistente en la resistencia al corte respecto a los suelos sin aditivo. El ángulo de fricción interna se mantiene en un rango de 14° a 17°, similar a los valores observados con 1% de ceniza, lo que sugiere que el incremento en el contenido de ceniza no afecta significativamente esta propiedad. En conjunto, estos resultados reflejan que la adición de 3% de ceniza contribuye a estabilizar el suelo, reforzando su cohesión sin comprometer su comportamiento friccional.

Tabla 13.
Propiedades mecánicas de suelos naturales + 5% de ceniza.

Suelo Natural + 5% ceniza		
muestras	**Cohesión kg/cm2**	**Angulo de fricción (°)**
1	0.36	17.00
2	0.34	15.00
3	0.38	16.00
4	0.37	14.00
5	0.37	18.00

Interpretación. La Tabla 13 presenta las propiedades mecánicas de suelos naturales tratados con un 5% de ceniza, mostrando una mejora notable

en la cohesión, con valores entre 0.34 y 0.38 kg/cm², superiores a los observados en suelos sin aditivo y con menores porcentajes de ceniza. El ángulo de fricción interna varía entre 14° y 18°, manteniéndose dentro del rango típico para suelos arcillosos, pero con una ligera tendencia al aumento en algunas muestras. Estos resultados indican que la adición de 5% de ceniza contribuye significativamente al fortalecimiento del suelo, mejorando su resistencia al corte y su estabilidad estructural.

4.1.3. Determinar el porcentaje del CBR de los suelos de subrasante en el distrito de Vilque Chico, Huancané – Puno 2025.

Tabla 14.
porcentaje de CBR de suelos naturales.

	Suelo Natural	
Muestras	**CBR al 100%**	**CBR al 95%**
1	7.00%	5.60%
2	6.80%	5.58%
3	6.90%	5.59%
4	6.70%	5.55%
5	7.00%	5.61%

Interpretación. La Tabla 14 presenta los valores del porcentaje de CBR (California Bearing Ratio) de cinco muestras de suelos naturales, evaluados al 100% y al 95% de compactación. Los resultados muestran que el CBR al 100% varía entre 6.70% y 7.00%, mientras que al 95% oscila entre 5.55% y 5.61%, evidenciando una ligera disminución en la capacidad de soporte cuando el suelo no alcanza su máxima compactación. Estos valores indican que los suelos naturales evaluados poseen una resistencia moderada, adecuada para capas

subrasante en pavimentos con tráfico ligero a medio, aunque podrían requerir estabilización para mejorar su desempeño en condiciones más exigentes.

Tabla 15.
porcentaje de CBR de suelos naturales + 1% de ceniza.

Suelo Natural + 1% ceniza		
muestras	**CBR al 100%**	**CBR al 95%**
1	7.00%	5.59%
2	6.70%	5.58%
3	6.60%	5.54%
4	6.50%	5.51%
5	7.10%	5.61%

Interpretación. La Tabla 15 presenta los valores del porcentaje de CBR de suelos naturales tratados con un 1% de ceniza, evaluados al 100% y al 95% de compactación. Los resultados muestran que el CBR al 100% varía entre 6.50% y 7.10%, mientras que al 95% oscila entre 5.51% y 5.61%, evidenciando una ligera mejora o mantenimiento en la capacidad de soporte respecto a los suelos sin aditivo. Esta estabilización con ceniza al 1% sugiere un efecto positivo moderado en la resistencia del suelo, aunque sin cambios significativos en comparación con los valores originales, lo que indica que el impacto de esta proporción de aditivo es limitado.

Tabla 16.
porcentaje de CBR de suelos naturales + 1% de ceniza.

Suelo Natural + 3% ceniza		
muestras	**CBR al 100%**	**CBR al 95%**
1	7.10%	5.61%
2	7.05%	5.62%
3	7.07%	5.63%
4	7.09%	5.61%
5	7.08%	5.64%

Interpretación. La Tabla 16 presenta los valores de CBR de suelos naturales tratados con un 3% de ceniza, evaluados al 100% y al 95% de compactación. Los resultados muestran una mejora uniforme en la capacidad de soporte del suelo, con CBR al 100% entre 7.05% y 7.10%, y al 95% entre 5.61% y 5.64%. Esta consistencia en los valores indica que el tratamiento con 3% de ceniza optimiza la resistencia del suelo sin depender significativamente del grado de compactación, lo que sugiere una mayor estabilidad estructural y un mejor desempeño para aplicaciones en infraestructura vial.

Tabla 17.
porcentaje de CBR de suelos naturales + 1% de ceniza.

Suelo Natural + 5% ceniza		
muestras	**CBR al 100%**	**CBR al 95%**
1	7.11%	5.65%
2	7.12%	5.66%
3	7.14%	5.67%
4	7.09%	5.68%
5	7.10%	5.67%

Interpretación. La Tabla 17 muestra los valores de CBR de suelos naturales tratados con un 5% de ceniza, evaluados al 100% y al 95% de compactación. Los resultados evidencian una mejora sostenida en la capacidad de soporte del suelo, con CBR al 100% entre 7.09% y 7.14%, y al 95% entre 5.65% y 5.68%, superando los valores obtenidos en tratamientos con menores porcentajes de ceniza. Esta tendencia indica que el incremento del contenido de ceniza favorece la resistencia del suelo, optimizando su comportamiento estructural y haciéndolo más adecuado para aplicaciones en pavimentos y obras de infraestructura con mayores exigencias de carga.

4.2. Discusión de resultados

4.2.1. Discusión de resultados 01.

La comparación de nuestros resultados con los estudios de Gala & Huamán (2021) y Colque (2022) permite establecer coincidencias y contrastes relevantes en el comportamiento de suelos arcillosos estabilizados con ceniza. En nuestra investigación, los suelos naturales clasificados como AASHTO A-6 mostraron una reducción del índice de plasticidad (Ip) de 18.00 a 12.00–14.00 al incorporar 5% de ceniza, lo que coincide con Gala & Huamán, quienes reportan una disminución de Ip de 10.49 a 8.54 (-18.68%) al aplicar 15% de ceniza de hoja de eucalipto. Sin embargo, ellos alcanzan mejoras más significativas en el valor de CBR, con incrementos de hasta +647.27%, mientras que en nuestro caso el CBR mejora de 7.00% a 7.14% al 100% de compactación. Por otro lado, Colque (2022) emplea ceniza de fondo y cal, logrando Ip de 7.1 y CBR de 20.6% en suelos CL, lo que supera ampliamente nuestros resultados, aunque con una dosificación más alta (9% ceniza + 3% cal). En conjunto, estos estudios confirman que el uso de ceniza como estabilizante mejora las propiedades físicas y mecánicas del suelo, siendo más efectivo en mayores proporciones o combinado con otros aditivos como la cal.

4.2.2. Discusión de resultados 02.

La discusión comparativa entre nuestros resultados y los estudios de Villafuerte (2024) y Mamani et al. (2023) evidencia coincidencias importantes en la mejora de las propiedades mecánicas de los suelos de subrasante mediante

el uso de cenizas vegetales. En nuestra investigación, la cohesión aumentó de 0.29–0.35 kg/cm² en suelos naturales hasta 0.38 kg/cm² con 5% de ceniza, y el ángulo de fricción se mantuvo entre 14° y 18°, lo que indica una mejora progresiva en la resistencia al corte. Villafuerte, al utilizar hasta 16% de ceniza de totora, logró una densidad seca máxima de 1.719 g/cm³ y un contenido óptimo de humedad de 16.55%, destacando también la viabilidad económica del aditivo. Por su parte, Mamani et al. reportaron una densidad seca de 1.902 g/cm³ y un CBR de hasta 32.0% con 9% de ceniza de quinua y 5% de cal, superando ampliamente los valores de soporte obtenidos en nuestra investigación. Estas comparaciones sugieren que, aunque el uso de ceniza en proporciones moderadas como el 5% mejora la cohesión y estabilidad, mayores porcentajes o combinaciones con cal pueden potenciar significativamente el rendimiento mecánico del suelo, especialmente en regiones altoandinas como Puno.

4.2.3. Discusión de resultados 03

La comparación de nuestros resultados con los estudios de Liñán & Cruz (2024), Kumar et al. (2025), Noaman et al. (2022) y Goñas & Saldaña (2020) permite contextualizar el comportamiento del CBR en suelos estabilizados con distintos tipos de ceniza. En Vilque Chico, Huancané – Puno, se obtuvo un CBR máximo de 7.14% al 100% de compactación con 5% de ceniza vegetal, lo que representa una mejora moderada respecto al suelo natural (6.70%–7.00%). Liñán & Cruz lograron un CBR de 8.24% con 13% de ceniza de caña de azúcar, evidenciando que mayores porcentajes pueden generar incrementos más significativos. Kumar et al. reportaron mejoras aún mayores, alcanzando hasta

12.52% de CBR con 20% de ceniza de carbón y 1% de fibra de basalto, destacando el efecto combinado de aditivos. Noaman et al. confirmaron en su revisión que las cenizas volantes mejoran el CBR y reducen la dilatación volumétrica, mientras que Goñas & Saldaña observaron incrementos proporcionales al contenido de ceniza, aunque sin cumplir los estándares de subrasante mejorada. En conjunto, estos estudios respaldan que la adición de ceniza mejora la capacidad de soporte del suelo, y sugieren que el uso de porcentajes superiores o combinaciones con otros estabilizantes puede potenciar aún más los resultados obtenidos en nuestra investigación.

CONCLUSIONES

PRIMERA. El análisis de las propiedades físicas de los suelos naturales muestra que todos pertenecen a la clasificación AASHTO A-6, con contenido de humedad entre 12.00% y 15.00%, límite líquido (LL) de 26.00 a 36.00, límite plástico (LP) de 12.00 a 21.00, e índice de plasticidad (Ip) entre 14.00 y 18.00. Al incorporar 1% de ceniza, el contenido de humedad aumenta hasta 16.00%, el LL sube a un máximo de 38.00, el LP a 22.00 y el Ip a 19.00, indicando mayor plasticidad. Con 3% de ceniza, el LL disminuye a un rango de 23.00 a 28.00, el LP a 11.00–16.00 y el Ip a 10.00–14.00, reflejando una reducción en plasticidad. Finalmente, con 5% de ceniza, el contenido de humedad se mantiene entre 12.00% y 16.00%, el LL entre 23.00 y 28.00, el LP entre 10.00 y 15.00, y el Ip entre 12.00 y 14.00. Estos resultados evidencian que el tratamiento con ceniza, especialmente al 3% y 5%, mejora la estabilidad del suelo al reducir su plasticidad sin alterar su clasificación granulométrica.

SEGUNDA. Las propiedades mecánicas de los suelos de subrasante en el distrito de Vilque Chico, Huancané – Puno, evaluadas en 2025, muestran mejoras progresivas con la adición de ceniza. En estado natural, la cohesión varía entre 0.29 y 0.35 kg/cm² y el ángulo de fricción entre 14° y 18°. Con 1% de ceniza, la cohesión se incrementa ligeramente hasta 0.36 kg/cm², mientras que el ángulo de fricción se mantiene entre 13° y 17°. Al incorporar 3% de ceniza, la cohesión oscila entre 0.31 y 0.36 kg/cm² y el ángulo de fricción entre 14° y 17°,

mostrando estabilidad. Con 5% de ceniza, se alcanza la mayor cohesión, entre 0.34 y 0.38 kg/cm², y un ángulo de fricción de 14° a 18°, evidenciando una mejora significativa en la resistencia al corte. Estos resultados indican que la estabilización con ceniza, especialmente al 5%, optimiza el comportamiento mecánico del suelo, haciéndolo más adecuado para su uso como subrasante en obras viales.

TERCERA. En el distrito de Vilque Chico, Huancané – Puno, durante el año 2025, se evaluó el porcentaje de CBR de los suelos de subrasante en estado natural y con adición de ceniza. Los suelos naturales presentaron valores de CBR al 100% entre 6.70% y 7.00%, y al 95% entre 5.55% y 5.61%. Con 1% de ceniza, los valores oscilaron entre 6.50% y 7.10% al 100%, y entre 5.51% y 5.61% al 95%, mostrando una leve mejora. Al incorporar 3% de ceniza, el CBR al 100% se incrementó a un rango de 7.05% a 7.10%, y al 95% entre 5.61% y 5.64%, evidenciando mayor uniformidad y resistencia. Finalmente, con 5% de ceniza, se alcanzaron los mejores resultados: CBR al 100% entre 7.09% y 7.14%, y al 95% entre 5.65% y 5.68%. Estos datos confirman que la adición de ceniza, especialmente al 5%, mejora significativamente la capacidad de soporte de los suelos de subrasante.

RECOMENDACIONES

PRIMERA. Se recomienda que futuras investigaciones evalúen el comportamiento de los suelos estabilizados con ceniza bajo condiciones climáticas variables, especialmente en zonas con alta humedad o lluvias intensas, para verificar la durabilidad de la reducción en plasticidad observada con 3% y 5% de ceniza. Además, sería útil explorar otros residuos industriales como aditivos alternativos o complementarios, comparando sus efectos sobre los límites de consistencia y contenido de humedad.

SEGUNDA. Para profundizar en la mejora de la resistencia al corte, se sugiere realizar ensayos triaxiales y pruebas de consolidación en suelos tratados con diferentes porcentajes de ceniza, especialmente al 5%, que mostró cohesión de hasta 0.38 kg/cm². También se recomienda estudiar el efecto de la ceniza en la resistencia a largo plazo y bajo cargas cíclicas, simulando condiciones reales de tránsito en obras viales.

TERCERA. Dado que el CBR al 100% alcanzó hasta 7.14% con 5% de ceniza, se recomienda investigar el comportamiento de estos suelos estabilizados en capas superiores del pavimento, como sub-base o base, y no solo como subrasante. Además, sería valioso evaluar el impacto de otros porcentajes de ceniza (por ejemplo, 6% o 7%)

para determinar si existe un punto óptimo de mejora en la capacidad de soporte sin comprometer la economía del proyecto.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Apaza, Y. (2017). Estimación del parámetro de resistencia al corte, ángulo de fricción en suelos granulares mediante ensayos de escala reducida. Obtenido de https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UEPU_137c6926769a7d784ff36fa4d971799f

Arias, J., Villasís, M., & Miranda, M. (2016). *"El protocolo de investigación III: la población de estudio".* Obtenido de https://www.redalyc.org/pdf/4867/486755023011.pdf

Arispe, C., Yangali, S., Guerrero, M., Lozada, O., Acuña, L., & Arellano, C. (2020). "La Investigacion Cientifica". Obtenido de https://repositorio.uide.edu.ec/bitstream/37000/4310/1/LA%20INVESTIGACI%C3%93N%20CIENT%C3%8DFICA.pdf

Baena, G. (2017). "Metodología de la investigación". Obtenido de http://www.biblioteca.cij.gob.mx/Archivos/Materiales_de_consulta/Drogas_de_Abuso/Articulos/metodologia%20de%20la%20investigacion.pdf

Baselly, J. (2019). Estimación del volumen comercial de cinchona officinalis l. (quina) en el bosque de protección de pagaibamba, distrito de querocoto, chota. Obtenido de https://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14074/3460/%E2%80%9CESTIMACI%C3%93N%20DEL%20VOLUMEN%20COMERCIA

L%20DE%20Cinchona%20officinalis%20L.%20%28QUINA%29%20EN%20EL%20BOSQUE%20DE%20PROTECCI%C3%93N%20D.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Burga, J. (2023). Mejoramiento de subrasante arcillosa con la finalidad de incrementar propiedades físico mecánicas adicionando polvo de piedra caliza, chota-Cajamarca, 2023. Obtenido de https://repositorio.unfv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.13084/8312/UNFV_FIC_Burga_Vasquez_Jordan_Titulo_profesional_2023.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Condori, B. (2019). El contenido de humedad en la simulación del comportamiento elastoplástico de los suelos, Huancayo en el año 2016. Obtenido de https://repositorio.unfv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.13084/3994/CONDORI%20QUISPE%20BETTY%20MARIA%20-%20DOCTORADO%20.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Condori, J., & Gonzalez, E. (2018). Caracterización del tipo de suelo y problemas especiales de cimentación de edificaciones de la asociación delta-pampa colorada del distrito Gregorio Albarracín Lanchipa. Obtenido de https://repositorio.upt.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12969/1052/Concori%20Cerezo-Gonzales%20Perca.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Dávila, G. (2006). *"El razonamiento inductivo y deductivo dentro del proceso investigativo en ciencias".* Obtenido de https://www.redalyc.org/pdf/761/76109911.pdf

Gonzales, K., & Rivera, J. (2022). Análisis de la variación de los parámetros geotécnicos que definen la resistencia al corte de un suelo arcilloso en un proyecto de edificación en el distrito de Chorrillos, Lima a partir de ensayos de corte directo en el laboratorio sobre especímenes inal. Obtenido de https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/10757/667675/17/Gonzales_CK.pdf

Huanacuni, D. (2024). Influencia de la aplicación de la ceniza de madera en el comportamiento mecánico de suelos arcillosos en las vías de la urbanización villa medica de la ciudad de Juliaca para la estabilización de la subrasante. Obtenido de https://repositorio.uancv.edu.pe/items/a0295ae8-c392-4e16-884d-865dcc63e4ed

Huisa, D. (2020). La calidad del suelo en campos de agricultura intensiva de café (Coffea arabica) VAR. CATIMOR en el anexo Alto Pitocuna del distrito de Río Negro. Satipo. 2018. Obtenido de https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/8447/4/IV_FIN_107_TE_Huisa_Altamirano_2020.pdf

Jiménez, L. (2020). "Impacto de la investigación cuantitativa en la actualidad". *Convergence Tech, 4*(1). doi:https://doi.org/10.53592/convtech.v4iIV.35

Laura, K. (2022). Estabilización de subrasante del suelo natural con adición de polímeros, en camino vecinal Maras Moray, Cusco, 2021. Obtenido de https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/12490/6/IV_FIN_105_TE_Laura_Aguilar_2022.pdf

Lescano, D. (2018). Suelo Características, Estructura, Textura, componentes químicos y físicos. Obtenido de https://repositorio.une.edu.pe/server/api/core/bitstreams/49fb4a25-fae2-4bc5-a8e6-abfbfb5c7a71/content

Lidonil, W. (2021). Etiología y patogénesis del hollín del quinual (polylepis racemosa ruiz & pavón) en conga buenos aires - bambamarca. Obtenido de https://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14074/4076/TESIS%20LIDONIL%20CH%C3%81VEZ%20WALTER.pdf?sequence=1&isAllowed=y

López, P., & Fachelli, S. (2015). *"Metodologia de la Investigación".* Obtenido de https://ddd.uab.cat/pub/caplli/2017/185163/metinvsoccua_cap2-4a2017.pdf

Mamanchura, E. (2022). Influencia del uso de cenizas volantes en la estabilización de suelos para la pavimentación en la Av. Alfonso Ugarte, distrito de San Antonio – Moquegua, 2021. Obtenido de

https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/12954/8/IV_FIN_105_TE_Mamanchura_Mamanchura_2022.pdf

Matos, Y., & Pasek, E. (2008). *"La observación, discusión y demostración: técnicas de investigación en el aula".* Obtenido de https://www.redalyc.org/pdf/761/76111892003.pdf

Mejía, E. (2015). *"Tecnicas e Instrumentos de investigacion".*

Mulluni, D. (2023). Percepción y participación ambiental en la conservación de los bosques de queñua (Polylepis pallidistigma) ubicados en la provincia de Lampa-Puno. Obtenido de https://tesis.pucp.edu.pe/server/api/core/bitstreams/899e72c6-b9b0-47ab-93d6-d806de0ef217/content

Ormeño, E., & Rivas, N. (2020). Estudio experimental para determinar la influencia de la aplicación de Cenizas de Cáscara de Arroz (RHA) en la estabilización de una subrasante de suelo arcilloso de baja plasticidad en Chota- Cajamarca. Obtenido de https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/653974/Orme%C3%B1o_ME.pdf?sequence=3&isAllowed=y

Ramirez, J. (2020). Dosis de ceniza y distanciamientos de siembra y su efecto en las características agronómicas y rendimiento de la canavalia ensiformis l. "canavalia" en zungarococha, Perú – 2019. Obtenido de https://api-

repositorio.unapiquitos.edu.pe/server/api/core/bitstreams/6b2d9fea-0da5-4602-8916-d655f7feb90a/content

Ramos, M. (2023). Cenizas de madera y cal para estabilizar suelos arcillosos en una subrasante para pavimentos urbanos, Lurigancho - Chosica 2023. Obtenido de https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/133811

Serna, E. (2018). "Metodología de investigación aplicada". Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/331500917_Metodologia_de_investigacion_aplicada

Tomas, W. (2025). Correlación entre la plasticidad y la calidad de drenaje en suelos de los caminos vecinales del distrito de Sicaya, provincia de Huancayo, 2023. Obtenido de https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/17021/4/IV_FIN_105_TE_Tomas_Rivera_2025.pdf

TESIS UANCV
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
"OFICINA DE INVESTIGACIÓN"

ANEXOS

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

Anexo 01. Matriz de consistencia

PREGUNTAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES E INDICADORES
PREGUNTA GENERAL	**OBJETIVO GENERAL**	**HIPÓTESIS GENERAL**	**V. DE ESTUDIO 1: Suelos de subrasante**
¿Cómo estabilizar los suelos de subrasante empleando cenizas de árboles oriundos en el distrito de Vilque Chico, Huancané – Puno 2025?	Analizar la estabilización de los suelos de subrasante empleando cenizas de árboles oriundos en el distrito de Vilque Chico, Huancané – Puno 2025.	Los suelos de la subrasante mejoraran significativamente empleando cenizas de árboles oriundos en el distrito de Vilque Chico, Huancané – Puno 2025.	**Variable independiente** / **Dimensiones** / **Indicadores** Cenizas de árboles oriundos / Dosificación de cenizas de arboles / Incorporación del 1%; Incorporación del 3%; Incorporación del 5%
PREGUNTAS ESPECÍFICAS	**OBJETIVOS ESPECÍFICOS**	**HIPÓTESIS ESPECÍFICAS**	**V. DE ESTUDIO 2: Estabilización del suelo**
PE1. ¿Cuáles son las propiedades físicas de los suelos de subrasante en el distrito de Vilque Chico, Huancané – Puno 2025?	**O1.** Identificar las propiedades físicas de los suelos de subrasante en el distrito de Vilque Chico, Huancané – Puno 2025.	**H1.** Las propiedades físicas de los suelos de subrasante no cumple con los parámetros de la normativa en el distrito de Vilque Chico, Huancané – Puno 2025.	**Variable Dependiente** / **Dimensiones** / **Indicadores** Estabilización del suelo / Propiedades físicas / – Clasificación granulométrica; – Contenido de humedad; – Límites de consistencia; – Índice de plasticidad
PE2. ¿Cuáles son las propiedades mecánicas de los suelos de subrasante en el distrito de Vilque Chico, Huancané – Puno 2025?	**O2.** Identificar las propiedades mecánicas de los suelos de subrasante en el distrito de Vilque Chico, Huancané – Puno 2025.	**H2.** Las propiedades mecánicas de los suelos de subrasante no cumple con los parámetros de la normativa en el distrito de Vilque Chico, Huancané – Puno 2025.	Propiedades mecánicas / – Cohesión; – Angulo de fricción
PE3. ¿Cuál es el porcentaje del CBR de los suelos de subrasante en el distrito de Vilque Chico, Huancané – Puno 2025?	**O3.** Calcular el porcentaje del CBR de los suelos de subrasante en el distrito de Vilque Chico, Huancané – Puno 2025.	**H3.** El porcentaje de CBR de los suelos de la subrasante con cenizas no cumple con la normativa en el distrito de Vilque Chico, Huancané – Puno 2025.	CBR / – Porcentaje

MÉTODO Y DISEÑO	POBLACIÓN Y MUESTRA	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS	ESTADÍSTICA
ENFOQUE DE INVESTIGACIÓN Mixto **MÉTODO DE INVESTIGACIÓN** Científico **TIPO DE INVESTIGACIÓN** Básica **NIVEL DE INVESTIGACIÓN** Descriptivo **Variable 1:** Suelos de subrasante **Variable 2:** Estabilización del suelo **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN** No experimental	**Población** De acuerdo a Borja (2012) desde un punto de vista de la ingeniería, se denomina población o Universo al conjunto de elementos o sujetos que serán motivo de estudio En este estudio, la población serán los suelos del distrito de Vilque Chico, Huancané – Puno 2025 **Muestra** Por lo tanto, la muestra será 10 muestras de suelos del distrito de Vilque Chico, Huancané – Puno 2025	**TÉCNICAS** De acuerdo a Ñaupas et al. (2018) son un conjunto de normas y procedimientos para regular un determinado proceso y alcanzar un determinado objetivo. Las técnicas a emplear serán: • Observación • Análisis documental **INSTRUMENTOS** De acuerdo a Ñaupas et al. (2018) son las herramientas conceptuales o materiales, mediante los cuales se recoge los datos e informaciones, mediante preguntas, ítems que exigen respuestas del investigado. Asumen diferentes formas de acuerdo con las técnicas que le sirven de base. Los instrumentos a emplear serán: • Observación directa	**DISEÑO DE CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS** **DISEÑO NO ESTADÍSTICO** La contratación de hipótesis se realizará mediante el planteamiento de la hipótesis nula (H0) y alterna (H1) De acuerdo a Los pasos a seguir son los siguientes: a) establecer la hipótesis a contrastar. b) elegir la distribución de contraste. La hipótesis a contrastar puede ser que dos parámetros sean iguales, que sean distintos, o que uno sea mayor que otro o viceversa (Montero, 2007).

Anexo 02. Matriz instrumental

Variable independiente	Dimensiones	Indicadores	Escala
Cenizas de árboles oriundos	Dosificación de cenizas de arboles	Incorporación del 1%	Nominal
		Incorporación del 3%	
		Incorporación del 5%	

Variable Dependiente	Dimensiones	Indicadores	
Estabilización del suelo	Propiedades físicas	– Clasificación granulométrica – Contenido de humedad – Límites de consistencia – Índice de plasticidad	Nominal
	Propiedades mecánicas	– Cohesión – Angulo de fricción	Nominal
	CBR	– Porcentaje	Nominal

Anexo 03. Instrumentos de la investigación

GRUPO D&M TIKARI S.A.C.

GRUPO D&M TIKARI S.A.C.
LABORATORIO DE INGENIERÍA
Asesoría, control de calidad en obra en Suelos, Concreto y Asfalto
RUC: 20602136001

DETERMINACIÓN DE CONTENIDO DE HUMEDAD
(ASTM D-2216)

TESIS	"ESTABILIZACIÓN DE SUELOS DE SUBRASANTE EMPLEANDO CENIZAS DE ARBOLES ORIUNDOS EN EL DISTRITO DE VILQUE CHICO, HUANCANÉ - PUNO 2025"
CANTERA:	CALICATA
MUESTRA:	C - 01 - ESTRATO 01 - PROFUNDIDAD: 1.50M. (TERRENO DE FUNDACION)
UBICACIÓN:	DISTRITO DE VILQUE CHICO
FECHA:	viernes, 7 de Noviembre de 2025
RESPONSABLE:	ING. GERARDO WILLIAM PARI QUISPE
SOLICITANTE:	BACH. FREDY QUISPE PACORI

CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL

RECIPIENTE:	W-1			
SUELO HUMEDO + RECIPIENTE:	203.36			
SUELO SECO + RECIPIENTE:	181.55			
PESO RECIPIENTE:	0.00			
PESO AGUA:	21.81			
PESO DEL SUELO SECO:	181.55			
CONTENIDO DE HUMEDAD:	12.00			
PROMEDIO:	12.00			

GRUPO D&M TIKARI S.A.C.

Dirección: Jr. Apurimac Nro. 1562, Manco Capac - Email: grupotikari@gmail.com

C - 168

GRUPO D&M TIKARI S.A.C.

GRUPO D&M TIKARI S.A.C.
LABORATORIO DE INGENIERÍA
Asesoría, control de calidad en obra en Suelos, Concreto y Asfalto
RUC: 20602136001

TESIS : "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS DE SUBRASANTE EMPLEANDO CENIZAS DE ARBOLES ORIUNDOS EN EL DISTRITO DE VILQUE CHICO, HUANCANÉ - PUNO 2025"

CANTERA : CALICATA
MUESTRA : C - 01 - ESTRATO 01 - PROFUNDIDAD 1.50M. (TERRENO DI
UBICACIÓN : DISTRITO DE VILQUE CHICO
SOLICITANTE : BACH. FREDY QUISPE PACORI
ING. RESPONSABLE : ING. GERARDO WILLIAM PARI QUISPE
FECHA : 07/11/2025

ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO
(ASTM D-422)

Tamices ASTM	Abertura mm	Peso Retenido	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Que Pasa	Especificaciones
3"	75.000					
2 1/2"	63.000				100.00	
2"	50.000	0.00	0.00	0.00	100.00	
1 1/2"	37.500	0.00	0.00	0.00	100.00	
1"	25.000	0.00	0.00	0.00	100.00	
3/4"	19.000	0.00	0.00	0.00	100.00	
1/2"	12.500	0.00	0.00	0.00	100.00	
3/8"	9.500	0.00	0.00	0.00	100.00	
No.04	4.750	1.22	1.00	1.00	99.00	
No.10	2.000	2.54	2.26	3.26	96.74	
No.20	0.840	3.56	3.17	6.43	93.57	
No.40	0.425	8.42	7.49	13.92	86.08	
No.100	0.150	10.23	9.10	23.02	76.98	
No.200	0.075	8.42	7.49	30.51	69.49	
<No.200		78.08	69.48	100.0		

DESCRIPCION DE LA MUESTRA		
Peso inicial	127.57	Grs
Peso fraccion	111.25	Grs
Grava	1.00	%
Arena	29.51	%
Fino	69.49	%
W natural	12.00	%
LIMITES DE CONSISTENCIA		
L.L.	26.00	%
L.P.	12.00	%
I.P.	14.00	%
Cu	1	
Cc	1	
CLASIFICACION		
SUCS	CL	
AASHTO	A-6(9)	

REPRESENTACION GRAFICA
TAMAÑO DE LAS MALLAS U.S. STANDARD



GRUPO D&M TIKARI S.A.C.

Dirección: Jr. Apurimac Nro. 1562, Manco Capac - Email: grupotikari@gmail.com

TESIS UANCV

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
"OFICINA DE INVESTIGACIÓN"

GRUPO D&M TIKARI S.A.C.

LABORATORIO DE INGENIERÍA

Asesoría, control de calidad en obra en Suelos, Concreto y Asfalto

RUC: 20602136001

TESIS	"ESTABILIZACIÓN DE SUELOS DE SUBRASANTE EMPLEANDO CENIZAS DE ARBOLES ORIUNDOS EN EL DISTRITO DE VILQUE CHICO, HUANCANÉ - PUNO 2025"
CANTERA	: CALICATA
MUESTRA	: C - 01 - ESTRATO 01 - PROFUNDIDAD: 1.50M. (TERRENO DE FUI
UBICACIÓN	: DISTRITO DE VILQUE CHICO
SOLICITANTE	: BACH. FREDY QUISPE PACORI
ING. RESP.	: ING. GERARDO WILLIAM PARI QUISPE
FECHA	: 07/11/2025

PROCTOR MODIFICADO
(ASTM D-1557)

ENSAYO N°	1	2	3	4	
DETERMINACION DE DENSIDAD					
PESO MOLDE+SUELO	5,282	5,320	5,297		
PESO MOLDE	3,807	3,807	3,807		
PESO SUELO COMPACTADO	1,475	1,513	1,490		
VOLUMEN DEL MOLDE	944	944	944		
DENSIDAD HUMEDA	1.56	1.60	1.58		
DETERMINACION DE CONTENIDO DE HUMEDAD					
RECIPIENTE N°	U-8	A-1	A-21	4	
SUELO HUMEDO + RECIPIENTE	121.61	113.63	188.12		
SUELO SECO + RECIPIENTE	109.12	100.56	162.10		
PESO RECIPIENTE	0.00	0.00	0.00		
PESO DE AGUA	12.49	13.07	26.02		
PESO DE SUELO SECO	109.12	100.56	162.10		
CONTENIDO DE HUMEDAD	11.40	13.00	16.10		
DENSIDAD SECA	1.40	1.42	1.36		



Max. densidad seca
1.42 gr/cm3

Conten. humedad optima
13.20 %

GRUPO D&M TIKARI S.A.C.

Dirección: Jr. Apurimac Nro. 1562, Manco Capac - Email:

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor

http://repositorio.uancv.edu.pe/

TESIS UANCV

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
"OFICINA DE INVESTIGACIÓN"

GRUPO D&M TIKARI S.A.C.

GRUPO D&M TIKARI S.A.C.
LABORATORIO DE INGENIERÍA
Asesoría, control de calidad en obra en Suelos, Concreto y Asfalto
RUC: 20602136001

TESIS	"ESTABILIZACIÓN DE SUELOS DE SUBRASANTE EMPLEANDO CENIZAS DE ARBOLES ORIUNDOS EN EL DISTRITO DE VILQUE CHICO, HUANCANÉ - PUNO 2025"
CANTERA	CALICATA
MUESTRA	C - 01 - ESTRATO 01 - PROFUNDIDAD: 1.50M. (TERRENO DE FUNDACION)
UBICACIÓN	DISTRITO DE VILQUE CHICO
RESPONSABLE	BACH. FREDY QUISPE PACORI
FECHA	07/11/2025
SOLICITANTE	BACH. FREDY QUISPE PACORI

LIMITES DE CONSISTENCIA
ASTM - D - 424

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

LIMITE LIQUIDO

TARRO N°		8	V-C
SUELO HUMEDO + TARRO	gr	38.02	36.06
SUELO SECO + TARRO	gr	33.16	31.65
PESO DEL TARRO	gr	14.89	15.01
PESO DEL AGUA	gr	4.86	4.41
PESO DEL SUELO SECO	gr	18.27	16.64
HUMEDAD %	%	26.60	26.50
N° DE GOLPES		21	21

LIMITE PLASTICO

T-R	F-10
26.09	24.24
25.58	23.80
21.31	18.29
0.51	0.64
4.27	5.51
11.94	12.05

LIMITE LIQUIDO	26.00	*LIMITE PLASTICO* :	12.00

INDICE PLASTICO : *14.00*

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

GRUPO D&M TIKARI S.A.C.

Dirección: Jr. Apurimac Nro. 1562, Manco Capac - Email: [redacted]

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

GRUPO D&M TIKARI S.A.C.

GRUPO D&M TIKARI S.A.C.
LABORATORIO DE INGENIERÍA
Asesoría, control de calidad en obra en Suelos, Concreto y Asfalto
RUC: 20602136001

TESIS	:	"ESTABILIZACIÓN DE SUELOS DE SUBRASANTE EMPLEANDO CENIZAS DE ARBOLES ORIUNDOS EN EL DISTRITO DE VILQUE CHICO, HUANCANÉ - PUNO 2025"
CANTERA	:	CALICATA
MUESTRA	:	C - 01 - ESTRATO 01 - PROFUNDIDAD: 1.50M. (TERRENO DE FUNI ING. RESP.
UBICACIÓN	:	DISTRITO DE VILQUE CHICO FECHA
SOLICITANTI	:	BACH. FREDY QUISPE PACORI

ING. GERARDO WILLIAM PARI QUISPE
07/11/2025

VALOR RELATIVO DE SOPORTE (C.B.R.)
(ASTM D-1883)

Molde N°		1		2		3	
Capa N°		5		5		5	
Golpes por capa N°		56		25		12	
Condición de la muestra		SIN SUMERGIR	SUMERG.	SIN SUMERGIR	SUMERG.	SIN SUMERGIR	SUMERG.
Peso molde + suelo húmedo	gr.	11760		11335		11095	
Peso del molde	gr.	8424		8224		8207	
Peso del suelo humedo	gr.	3361		3111		2888	
Volúmen del molde	cc.	2067		2089		2088	
Densidad Humeda	gr./cc	1.61		1.49		1.38	
Humedad	%	13.20		13.30		13.20	
Densidad seca	gr./cc	1.42		1.32		1.22	
Tarro N°		1		2		3	
Tarro suelo humedo	gr.	238.05		341.25		376.59	
Tarro suelo seco	gr.	210.25		301.25		332.65	
Agua	gr.	27.8		40		43.94	
Peso del Tarro	gr.	0		0		0	
Peso del suelo seco	gr.	210.25		301.25		332.65	
Humedad	%	13.20		13.30		13.20	
Promedio de la humedad	%						

ENSAYO EXPANSION

FECHA	HORA	TIEMPO	DIAL	EXPANSION m.m.	EXPANSION %	DIAL	EXPANSION m.m.	EXPANSION %	DIAL	EXPANSION m.m.	EXPANSION %
4-11-25	9.30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5-11-25	9.30	24	7	0.1778	0.140	9	0.2286	0.181	10	0.254	0.201
6-11-25	9.30	48	8	0.2032	0.161	10	0.254	0.201	12	0.3048	0.241
7-11-25	9.30	72	9	0.2286	0.040	11	0.2794	0.040	14	0.3556	0.080

PENETRACION

PENETRACION Tiempo	mm	pig	Lectura Dial	Lectura corregida	Presiones Lb/pig²	Lectura Dial	Lectura corregida	Presiones Lb/pig²	Lectura Dial	Lectura corregida	Presiones Lb/pig²
0.30	0.600	0.25	56.2	124	41	52.4	115.28	38	32.3	71.06	24
1.00	1.300	0.50	77.1	170	57	68.9	151.58	51	45.8	100.76	34
1.30	1.900	0.075	88.6	195	65	77.6	170.72	57	52.4	115.28	38
2.00	2.500	0.100	96.1	211	70	75.4	165.88	55	60.2	132.44	44
3.00	3.800	0.150	133.2	293	98	115.4	253.88	85	88.4	194.48	65
4.00	5.000	0.200	161.4	355	118	135.9	298.98	100	115.6	254.32	85
5.00	6.000	0.250	205.3	452	151	174.8	384.56	128	145.1	319.22	106
6.00	7.500	0.300	235.6	518	173	188.5	414.7	138	178.2	392.04	131
8.00	10.000	0.400									
10.00	12.500	0.500									

GRUPO D&M TIKARI S.A.C.

Dirección: Jr. Apurimac Nro. 1562, Manco Capac - Email: grupotikari@gmail.com

C - 166

GRUPO D&M TIKARI S.A.C.

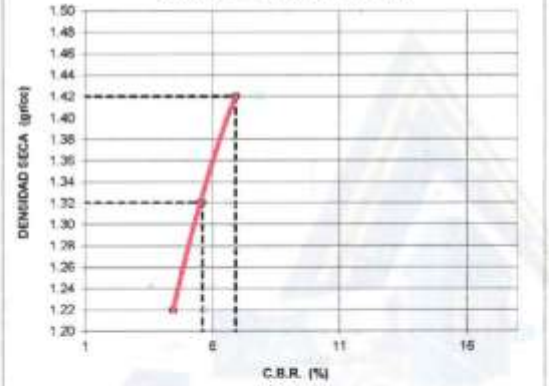
LABORATORIO DE INGENIERÍA

Asesoría, control de calidad en obra en Suelos, Concreto y Asfalto

RUC: 20602136001

TESIS	:	"ESTABILIZACION DE SUELOS DE SUBRASANTE EMPLEANDO CENIZAS DE ARBOLES QUEMADOS EN EL DISTRITO DE VILQUE CHICO, HUANCANÉ PUNO 2025"
CANTERA	:	CALICATA
MUESTRA	:	C - 01 - ESTRATO 01 - PROFUNDIDAD: 1.50M. (ING. RESP. : ING. GERARDO WILLIAM PARI QUISPE
UBICACIÓN	:	DISTRITO DE VILQUE CHICO
SOLICITANTE	:	BACH. FREDY QUISPE PACORI FECHA : 07/11/2025

GRAFICO DE C.B.R.



PARAMETROS DE C.B.R.

C.B.R.01" AL 100% = 7%

C.B.R. 01" AL 95% M.D.S. = 5.6%

LEYENDA

CURVA A 0.1"

C.B.R 0.1"= 6.9%



C.B.R 0.1"= 5.5%



C.B.R 0.1"= 4.5%



Dirección: Jr. Apurimac Nro. 1562, Manco Capac - Email:

C - 166

TESIS UANCV
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
"OFICINA DE INVESTIGACIÓN"

ANEXO 1
FORMULARIO DE AUTORIZACIÓN

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

Formato digital [X] Fecha de entrega: 10-07-2026

1. Datos del autor (es):

Nombres y Apellidos: FREDY QUISPE PACORI
Dirección: JR. PACHACUTEC 556 MZ I-1 LTE 13 URB. MARIA LUISA
DNI/Carné de Extranjería/Pasaporte N°: 75509978
Teléfono: 974484306 email: azimut090.pacori@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. CESAR GUILLERMO CAMARGO NAJAR
Esta obra se encuentra dentro de las siguientes denominaciones:
Trabajo de Investigación [ ] Tesis [X] Trabajo de Suficiencia Profesional [ ] Trabajo Académico [ ]
Título: ESTABILIZACIÓN DEL SUELO DE SUBRASANTE EMPLEANDO CENIZAS DE ARBOLES ORIUNDOS EN EL DISTRITO DE VILQUECHICO, HUANCANÉ – PUNO 2025

Palabras claves, (3 a 5 términos): cenizas de árboles, estabilización de suelo, propiedades mecánicas de suelo.

¿Esta obra se desarrolló en la UANCV [1, 2]?
2

[1] Indicar si su producción intelectual ha empleado recursos tales como, instalaciones, laboratorios, insumos, equipos, bases de datos, asesoría técnica por parte del personal de la UANCV, financiamiento, entré otros relacionados.
[2] Si su producción intelectual se desarrolló en la UANCV totalmente o parcialmente, deberá autorizar el depósito en el Repositorio de manera obligatoria.

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

2. Referencia de tesis:

[ ] Bachiller [x] Titulo [ ] 2da Especialidad [ ] Maestría [ ] Doctorado

3. Licencias:

a) Licencia estándar:

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

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

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

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

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

Autorizo su publicación (marque con una X)

[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 comérciales 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

[x] No autorizo

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

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.

- [x] Internacional
- [ ] Nacional

Línea de investigación: TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN – P17



Firma de Autor



huella digital

10 de julio del 2026

Fecha

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/