



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



**INCIDENCIA DE LA APLICACIÓN DE CENIZAS DE QUINUA Y CAL
EN LA SUBRASANTE DE LA TROCHA CARROZABLE DE
LA COMUNIDAD DE COLLANA, JULIACA 2024**

TESIS PRESENTADA POR:

Bach. LUCERO MARGIORI SUPO PEREZ

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

JULIACA – PERÚ

2024



UNIVERSIDAD ANDINA

NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ

FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

**INCIDENCIA DE LA APLICACIÓN DE CENIZA DE QUINUA Y CAL
EN LA SUBRASANTE DE LA TROCHA CARROZABLE DE
LA COMUNIDAD DE COLLANA, JULIACA 2024**

TESIS PRESENTADA POR:

Bach. LUCERO MARGIORI SUPO PEREZ

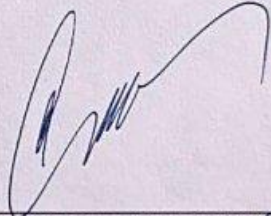
PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO CIVIL

APROBADA POR EL JURADO REVISOR:

PRESIDENTE

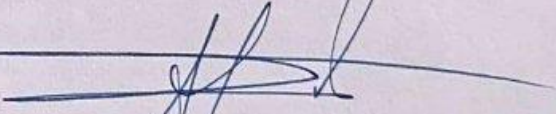
:



Dr. MILTHON QUISPE HUANCA

PRIMER MIEMBRO

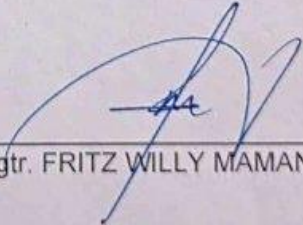
:



Dr. ARNALDO YANA TORRES

SEGUNDO MIEMBRO


:



Mgtr. FRITZ WILLY MAMANI APAZA

ASESOR DE TESIS

:



Dr. EFRAÍN PARILLO SOSA

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

:

TECNOLOGÍA DE MATERIALES - P17



RESOLUCIÓN DECANAL N° 1858-2024-D-UI-FICP-UANCV

Juliaca, 23 de diciembre del 2024

VISTO: El expediente N° 2024- 18393 presentado por el (la) Bachiller: LUCERO MARGIORI SUPO PEREZ 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. LUCERO MARGIORI SUPO PEREZ, quien solicita **NOMINACIÓN DE JURADOS Y PROGRAMACIÓN DE FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN** de la Tesis Titulado: **INCIDENCIA DE LA APLICACIÓN DE CENIZA DE QUINUA Y CAL EN LA SUBRASANTE DE LA TROCHA CARROZABLE DE LA COMUNIDAD DE COLLANA, JULIACA 2024**, la misma que pertenece a la línea de investigación **TECNOLOGÍA DE MATERIALES** para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil.

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

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

RESUELVE:

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

- **Presidente** : Dr. MILTHON QUISPE HUANCA
- **1er Miembro** : Dr. ARNALDO YANA TORRES
- **2do Miembro** : Mgtr. FRITZ WILLY MAMANI APAZA

ARTICULO SEGUNDO. – **RECONOCER** como asesor de la investigación (tesis) de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras al (a la) docente, **Dr. EFRAIN PARILLO SOSA.**

ARTICULO TERCERO . – **APROBAR**, la **FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS** de el (la) bachiller: LUCERO MARGIORI SUPO PEREZ; del informe final de la investigación (tesis) titulado: **INCIDENCIA DE LA APLICACIÓN DE CENIZA DE QUINUA Y CAL EN LA SUBRASANTE DE LA TROCHA CARROZABLE DE LA COMUNIDAD DE COLLANA, JULIACA 2024** para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil. de acuerdo al siguiente detalle:

- **FECHA** : Jueves 26 de diciembre del 2024
- **HORA** : 16:00 horas
- **LUGAR** : Aula 406 - FICP

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

Regístrese, Comuníquese, Archívese.



MILTHON QUISPE HUANCA
DECANO
CIP. 47790



Dr. Efraín Parillo Sosa
DIRECTOR
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

cc:
Archivo
interesado (s)



UNIVERSIDAD ANDINA
"NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"

RESOLUCIÓN DECANAL N° 1615-2024-D-UI-FICP-UANCV

Juliaca, 03 de diciembre del 2024

VISTO: El expediente N° 2024-CU - 15908 por el señor (a): **LUCERO MARGIORI SUPO PEREZ** quien solicita **REVISIÓN DEL INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (borrador de tesis)**, el **PROVEIDO - N° 1311- 2024-UI-FICP-UANCV/J**, y la **FICHA DE OPINIÓN DEL INFORME FINAL DE LA INVESTIGACION (BORRADOR DE TESIS)** formato N° 298- 2024 del integrante del comité de investigación EPIC de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, según al reglamento interno de trabajos de investigación conducente a grados y títulos.

CONSIDERANDO:

Que, el señor (a): **LUCERO MARGIORI SUPO PEREZ**, ha presentado su informe final de la investigación (borrador de tesis) Titulado: **INCIDENCIA DE LA APLICACIÓN DE CENIZA DE QUINUA Y CAL EN LA SUBRASANTE DE LA TROCHA CARROZABLE DE LA COMUNIDAD DE COLLANA, JULIACA 2024**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil.

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales; el integrante del comité de investigación **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° 298- 2024 **aprobando** el informe final de la investigación (borrador de tesis) titulado: **INCIDENCIA DE LA APLICACIÓN DE CENIZA DE QUINUA Y CAL EN LA SUBRASANTE DE LA TROCHA CARROZABLE DE LA COMUNIDAD DE COLLANA, JULIACA 2024**, Correspondiente a la línea de investigación **TECNOLOGÍA DE MATERIALES**.

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

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

RESUELVE:

ARTÍCULO PRIMERO.- APROBAR, el **INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (BORRADOR DE TESIS)**, para la **REVISIÓN DE SIMILITUD TURNITIN**, presentado por el señor (a): **LUCERO MARGIORI SUPO PEREZ**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil, con el Tema Titulado: **INCIDENCIA DE LA APLICACIÓN DE CENIZA DE QUINUA Y CAL EN LA SUBRASANTE DE LA TROCHA CARROZABLE DE LA COMUNIDAD DE COLLANA, JULIACA 2024** correspondiente a la línea de investigación **TECNOLOGÍA DE MATERIALES**, en virtud a los considerandos expuestos.

ARTÍCULO SEGUNDO.- RATIFICAR como **ASESOR DE INVESTIGACIÓN** al (a) **Dr. EFRAIN PARILLO SOSA**.

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

Regístrese, Comuníquese, Archívese.



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



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
.....
Dr. Efraín Parillo Sosa
DIRECTOR
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

cc:
Archivo
indicando (q)



UNIVERSIDAD ANDINA
"NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"

RESOLUCIÓN DECANAL N° 861-2024-D-UI-FICP-UANCV

Juliaca, 22 de agosto del 2024

VISTO: El expediente N° 2024-CU-10117, presentado el señor (a) LUCERO MARGIORI SUPO PEREZ solicitando APROBACIÓN DE LA PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN el PROVEIDO - N° 815-2024-UI-FICP-UANCV/J, y la FICHA DE OPINIÓN DE LA PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN formato N° 243 -2024 del integrante del comité de investigación EPIC de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, según al reglamento interno de trabajos de investigación conducente a grados y títulos.

CONSIDERANDO:

Que, el señor (a): LUCERO MARGIORI SUPO PEREZ ha presentado su propuesta de investigación Titulado: **INCIDENCIA DE LA APLICACIÓN DE CENIZA DE QUINUA Y CAL EN LA SUBRASANTE DE LA TROCHA CARROZABLE DE LA COMUNIDAD DE COLLANA, JULIACA 2024**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil.

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales; el integrante del comité de investigación Mgtr. Arnaldo Yana Torres de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, emitió la ficha de opinión de la propuesta de investigación formato N° 243 -2024- aprobando la propuesta de investigación titulado: **INCIDENCIA DE LA APLICACIÓN DE CENIZA DE QUINUA Y CAL EN LA SUBRASANTE DE LA TROCHA CARROZABLE DE LA COMUNIDAD DE COLLANA, JULIACA 2024**.

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

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

RESUELVE:

ARTÍCULO PRIMERO.- APROBAR, la **PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN**, presentado por el señor (a): LUCERO MARGIORI SUPO PEREZ, para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil, con el Tema Titulado: **INCIDENCIA DE LA APLICACIÓN DE CENIZA DE QUINUA Y CAL EN LA SUBRASANTE DE LA TROCHA CARROZABLE DE LA COMUNIDAD DE COLLANA, JULIACA 2024** correspondiente a la línea de investigación **TECNOLOGÍA DE MATERIALES**.

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

ARTÍCULO SEGUNDO.- RECONOCER como **ASESOR DE INVESTIGACIÓN** de al (a la) docente Dr. **EFRAIN PARILLO SOSA**.

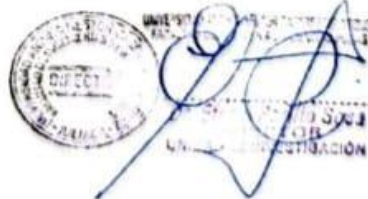
ARTÍCULO TERCERO.- DISPONER que, la Unidad de Investigación, Responsables del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y el Director de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil quedan encargados del cumplimiento de la presente Resolución.

Regístrese, Comuníquese, Archívese.



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

.....
MILTON QUISPE HUANCA
DECANO
CIP. 47790



CC:
Archivo 2024
Interesado (4)



11% Similitud general

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

Filtrado desde el informe

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

Fuentes principales

- 5% Fuentes de Internet
- 1% Publicaciones
- 10% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

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


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



Metadatos Complementarios



Título de la tesis	
INCIDENCIA DE LA APLICACIÓN DE CENIZA DE QUINUA Y CAL EN LA SUBRASANTE DE LA TROCHA CARROZABLE DE LA COMUNIDAD DE COLLANA, JULIACA 2024	
Datos de autor	
Nombres y apellidos	LUCERO MARGIORI SUPO PEREZ
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	75915746
URL de ORCID	https://orcid.org/0009-0007-2763-9727
Datos de asesor	
Nombres y apellidos	EFRAIN PARILLO SOSA
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	02416058
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0001-7567-039X
Datos del jurado	
Presidente del jurado	
Nombres y apellidos	MILTHON QUISPE HUANCA
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	02424528
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	FRITZ WILLY MAMANI APAZA
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	02306659

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	<p>País: Perú Departamento: Puno Provincia: San Román Distrito: Juliaca Localidad: Collana Latitud: S 15° 29' 27" Longitud: O 70° 07' 37"</p>  <p>https://www.google.com/maps/@edit?mid=140b72e3KsTCr7VB4S44ZuoO5H14T&usp=sharing</p>
Año o rango de años en que se realizó la investigación	Julio 2024 - diciembre 2024
URL de disciplinas OCDE	<p>https://concytec-pe.github.io/Peru-CRIS/vocabularios/ocde_ford.html</p> <p>Ingeniería civil https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.01</p> <p>Ingeniería de la construcción https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.03</p>



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
 FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS EXACTAS
 Dr. Fritz Willy Mamani Apaza
 DIRECTOR
 UNIDAD DE INVESTIGACIÓN



DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD Y RESPONSABILIDAD

Yo LUCERO MARGIORI SUÑO PEREZ, identificado con DNI
Nro. 75915746, 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:

INCIDENCIA DE LA APLICACIÓN DE CENIZA DE QUINUA Y CAL
EN LA SUBRASANTE DE LA TROCHA CARROZABLE DE LA
COMUNIDAD DE COLLANA, JULIACA 2024

Asesorado por: Dr. EFRAIN PARILO SOSA

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.

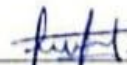
Dejo constancia que las citas de otros autores sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

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

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

Juliaca 03 de enero del 2025


Firma del Asesor
(obligatoria)


Firma del Estudiante
(obligatoria)



Huella



DEDICATORIA

Empezare por agradecer a Dios por su fuente de sabiduría y fortaleza, por guiar cada paso de mi vida y brindarme la perseverancia necesaria para culminar esta etapa académica. Seguidamente a mis padres, por su amor incondicional, su ejemplo y sacrificio constante, que me motivaron a superarme día a día y alcanzar mis metas. Luego sin duda a mi familia, por su comprensión, paciencia y apoyo en los momentos más difíciles de este proceso. Por último, a todos aquellos que creyeron en mí y me inspiraron a continuar con determinación este camino hacia el logro profesional.



AGRADECIMIENTO

A nuestro creador por iluminar mi camino y permitirme culminar con éxito esta investigación, también toda mi gratitud a mis docentes asesores y a la institución de la UANCV, por su orientación, apoyo y por brindarme los espacios necesarios para el desarrollo de este trabajo, también tengo que agradecer profundamente a mis padres, quienes con su esfuerzo, consejos y amor inagotable me impulsaron a continuar con firmeza cada etapa de mi formación, finalmente a mis compañeros y amigos, por su colaboración, palabras de aliento y compañía durante este proceso académico, esperando que este logro sea de fruto del esfuerzo conjunto de todas aquellas personas que creyeron en mis capacidades y me acompañaron con fe y esperanza.



ÍNDICE GENERAL

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

CAPÍTULO I

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

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO	7
2.1 Antecedentes de la investigación	7



2.1.1	Antecedentes internacionales	7
2.1.2	Antecedentes nacionales	9
2.1.3	Antecedentes regionales.....	10
2.2	Marco teórico.....	12
2.2.1	Subrasante	12
2.2.2	Estabilización de suelos.....	13
2.2.3	Cenizas de quinua	24
2.2.4	Cal como estabilizante	31
2.3	Marco conceptual	33

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	35	
3.1	Diseño de la investigación.....	35
3.2	Métodos de la investigación	36
3.3	Nivel y tipo de investigación	36
3.3.1	Tipo de la investigación.....	36
3.3.2	Nivel de la investigación.....	37
3.4	Población y muestra de la investigación.....	37
3.4.1	Población.....	37
3.4.2	Muestra	38
3.5	Técnicas e instrumentos	38
3.5.1	Técnicas.....	38
3.5.2	Instrumentos.....	39
3.6	Validación y confiabilidad del instrumento	40
3.6.1	Validación.....	40
3.6.2	Confiabilidad	41
3.7	Procedimiento de recolección de datos	42
3.7.1	Ensayos en laboratorio.....	45
3.8	Procesamiento y análisis de datos	52

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN	54	
4.1	Resultados.....	54
4.1.1	Análisis de los resultados del ensayo Proctor	73
4.1.2	Análisis de los resultados de CBR en laboratorio.....	75



4.2	Discusión de resultados	76
CONCLUSIONES	79
RECOMENDACIONES	81
REFERENCIAS	82



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Operacionalización de variables	6
Tabla 2	Contenido de humedad de la muestra natural	55
Tabla 3	Ceniza de quinua 4% y 6% de cal combinada con la muestra patrón	56
Tabla 4	Contenido de humedad de la muestra con cal 6% + 8% ceniza de quinua ...	57
Tabla 5	Muestra cal 6% + 12% ceniza de quinua para el contenido de humedad	57
Tabla 6	Resumen del ensayo de contenido de humedad con cal y ceniza de quinua	58
Tabla 7	Ensayo granulométrico de la muestra control	60
Tabla 8	Ensayo limite liquido muestra control.....	61
Tabla 9	Prueba limite liquido con 6% de cal y 4% de ceniza de quinua.....	62
Tabla 10	Prueba limite liquido con 6% de cal y 8% de ceniza de quinua.....	63
Tabla 11	Ensayo de limite liquido con 6% de cal y 12% de ceniza de quinua.....	64
Tabla 12	Resumen del ensayo de limite liquido.....	65
Tabla 13	Ensayo de limite plástico de muestra patrón.....	66
Tabla 14	Ensayo de limite plástico con 6% de cal y 8% ceniza de quinua.....	66
Tabla 15	Ensayo de limite plástico con 6% de cal y 8% ceniza de quinua.....	67
Tabla 16	Ensayo de limite plástico con 6% de cal y 12% ceniza de quinua.....	68
Tabla 17	Resumen del ensayo de limite plástico.....	70
Tabla 18	Resultados del Índice plástico	71
Tabla 19	Ensayo de limite liquido con 6% de cal y 8% de ceniza de quinua	72
Tabla 20	Resultados del ensayo de Proctor modificado	73
Tabla 21	Resultados del ensayo de CBR	75



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Estabilización de los suelos.....	14
Figura 2 Reparación de caminos rurales	15
Figura 3 Cenizas de quinua.....	25
Figura 4 Aditivos de cal estabilizadoras del suelo	31
Figura 5 Prueba de humedad sometida al horno.....	46
Figura 6 Prueba de análisis granulométrico.....	47
Figura 7 Prueba de limite liquido	48
Figura 8 Prueba de limite plástico	49
Figura 9 Prueba de Proctor modificado	50
Figura 10 Mesclado de muestra para el ensayo de CBR.....	51
Figura 11 Grafico del porcentaje del contenido de humedad.....	59
Figura 12 Curva granulometría muestra control	60
Figura 13 Grafica de resumen del ensayo de limite liquido.....	65
Figura 14 Grafica de resumen del ensayo de limite plástico.....	70
Figura 15 Grafica de resumen del índice plástico.....	71
Figura 16 Grafica de resumen del ensayo de Proctor modificado.....	73
Figura 17 Grafica de resumen del ensayo de CBR al 100% y 95%	75



RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo determinar la incidencia de la aplicación de cenizas de quinua y cal en la mejora de las propiedades físicas y mecánicas del suelo de la subrasante de la trocha carrozable de la comunidad de Collana, Juliaca. Los cuales se realizaron distintos ensayos de laboratorio una muestra patrón y tres muestras estabilizadas con una combinación constante de 6% de cal y proporciones crecientes de ceniza de quinua (4%, 8% y 12%). Los ensayos aplicados incluyeron contenido de humedad, granulometría, límites de consistencia, Proctor modificado y CBR. Teniendo como resultado el incremento de ceniza de quinua redujo elocuentemente el contenido de humedad (de 16.98% a 8.02%) y los límites de plasticidad, lo que indica una mejora en la estabilidad volumétrica del suelo. En el ensayo Proctor se observó un aumento de la humedad óptima y una ligera disminución de la densidad seca, asociada a la reacción puzolánica entre la cal y la ceniza. Finalmente, el ensayo CBR evidenció un incremento en la capacidad portante del suelo, alcanzando un valor máximo de 8.70% al 100% de compactación con la mezcla de 6% de cal y 12% de ceniza de quinua. En conclusión, la estabilización con ceniza de quinua y cal mejora la resistencia y comportamiento estructural del suelo, constituyéndose en una alternativa técnica, económica y ambientalmente sostenible para el mejoramiento de subrasantes en vías rurales.

Palabras Clave: Ceniza de quinua, cal, subrasante, trocha carrozable



ABSTRACT

The objective of this study was to determine the impact of applying quinoa ash and lime on improving the physical and mechanical properties of the subgrade soil of the roadbed in the community of Collana, Juliaca. Laboratory tests were conducted with a standard sample and three samples stabilized with a constant dosage of 6% lime and increasing proportions of quinoa ash (4%, 8%, and 12%). The tests included moisture content, particle size distribution, consistency limits, modified Proctor, and CBR. The results showed that the increase in quinoa ash significantly reduced moisture content (from 16.98% to 8.02%) and plasticity limits, indicating an improvement in the soil's volumetric stability. The Proctor test showed an increase in optimal moisture content and a slight decrease in dry density, associated with the pozzolanic reaction between the lime and the ash. Finally, the CBR test showed an increase in the soil's bearing capacity, reaching a maximum value of 8.70% at 100% compaction with the mixture of 6% lime and 12% quinoa ash. In conclusion, stabilization with quinoa ash and lime improves soil strength and structural behavior, constituting a technically, economically, and environmentally sustainable alternative for improving subgrades on rural roads.

Keywords: Quinoa ash, lime, subgrade, passable road



INTRODUCCIÓN

El desarrollo es un factor determinante de la infraestructura vial constituye como parte de la integración social y económica en zonas altoandinas rurales, especialmente en regiones donde las trochas carrozables son vías principales de comunicación, donde el contexto peruano, gran parte de estas vías presentan problemas de transitabilidad debido que tiene una capacidad portante muy baja en los suelos y a la menoscabo de procesos de estabilización adecuados (Ministerio de Transportes y Comunicaciones [MTC], 2020). Por ello, la búsqueda de alternativas sostenibles y económicas con el fin de mejorar la subrasante a través de sus características resulta una prioridad en la ingeniería civil.

En este marco, se está utilizando diferentes materiales alternativos provenientes del reciclado o uso de distintos aditivos agroindustriales donde está teniendo bastante relevancia, diversas investigaciones demuestran que la incorporación de cenizas de origen vegetal puede modificar la plasticidad y mejorar la resistencia de los suelos, convirtiéndose en una opción viable frente a los aditivos convencionales (Yadav & Tiwari, 2019). La ceniza de quinua, subproducto abundante en zonas altoandinas, representa un material con potencial aún poco explorado, que al combinarse con la cal podría generar mejoras significativas en la capacidad portante de la subrasante.

La estabilización con cal ha sido ampliamente utilizada en proyectos viales, dado que reduce la plasticidad de los suelos finos y aumenta su resistencia a la compresión y al esfuerzo cortante (Jiménez et al., 2021). Sin embargo, la innovación radica en analizar su desempeño al ser aplicada conjuntamente con cenizas agroindustriales, lo cual permitiría no solo optimizar el comportamiento mecánico del suelo, sino también promover la sostenibilidad mediante la valorización de residuos agrícolas.

La presente investigación se centra en la comunidad de Collana, en la provincia de Juliaca, donde la transitabilidad de las trochas carrozables se ve afectada durante la



temporada de lluvias. El estudio busca determinar la incidencia de la aplicación de cenizas de quinua y cal en la subrasante de estas vías, aportando una alternativa técnica que favorezca el desarrollo local. De este modo, la investigación pretende contribuir tanto al ámbito científico de la ingeniería civil como al bienestar de las comunidades rurales altoandinas.

La investigación se desarrolló de la siguiente manera:

Capítulo I. Plantea la realidad problemática que motiva la investigación, vinculada a las deficiencias en la transitabilidad de las trochas carrozables de la comunidad de Collana, Juliaca, se sustenta la relevancia científica, social, económica y ambiental del estudio.

Capítulo II: Reúne los antecedentes nacionales e internacionales a través de residuos agroindustriales y cal. Además, se desarrolla el sustento teórico, los conceptos clave, las bases científicas y normativas que orientan la investigación, así como la definición de las variables e hipótesis planteadas.

Capítulo III: Metodología. En este apartado se describe el enfoque metodológico de la investigación, el tipo y diseño de estudio, la población y muestra, los materiales y equipos utilizados, así como los procedimientos experimentales. Igualmente, se detallan los métodos de recolección y análisis de datos, incluyendo los ensayos de laboratorio aplicados a la subrasante con adición de cenizas de quinua y cal.

Capítulo IV: A partir de los ensayos de laboratorio y su respectivo análisis comparativo. Se discute la incidencia de las mezclas de cenizas de quinua y cal en las propiedades mecánicas en la subrasante, contrastando los hallazgos con los antecedentes teóricos y empíricos. Finalmente, se destacan los aportes de la investigación y se identifican las posibles limitaciones y oportunidades de aplicación en la mejora de vías rurales.



CAPÍTULO I

EL PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN

1.1 Análisis de la situación problemática

En las comunidades rurales del altiplano peruano, las vías no pavimentadas o trochas carrozables constituyen el principal medio de acceso y conexión hacia centros de comercio, salud y educación. Sin embargo, estas vías presentan deficiencias estructurales debido a la baja calidad de los suelos de subrasante, caracterizados por alta plasticidad y baja capacidad portante, lo que genera pérdida de transitabilidad, especialmente durante la temporada de lluvias (Ministerio de Transportes y Comunicaciones [MTC], 2020). Esta problemática limita la integración social y el desarrollo económico de las comunidades afectadas.

La estabilización de suelos ha sido utilizada como alternativa técnica para mejorar la resistencia y durabilidad de las vías. Entre los materiales aplicados, la cal es uno de los más empleados por su capacidad de reducir la plasticidad y aumentar la resistencia de los suelos arcillosos (Jiménez et al., 2021). No obstante, el uso exclusivo de insumos tradicionales puede representar altos costos y dificultades de acceso en zonas rurales, lo que obliga a explorar opciones sostenibles que utilicen recursos locales disponibles.

En este contexto, la aplicación de residuos agroindustriales como estabilizantes de suelos ha generado creciente interés. Estudios recientes señalan que las cenizas de



origen vegetal, como la cascarilla de arroz o la cáscara de café, mejoran la resistencia mecánica y la estabilidad de los suelos al ser combinadas con cal u otros aditivos (Yadav & Tiwari, 2019). La ceniza de quinua, abundante en regiones productoras como Puno, representa un recurso alternativo con potencial de aprovechamiento en proyectos de infraestructura vial, aunque aún poco explorado en investigaciones científicas.

A pesar de los beneficios potenciales de esta técnica, aún existe un vacío de información científica sobre la eficacia de la ceniza de quinua como estabilizante en suelos de la región de Collana. Por ello, es necesario llevar a cabo investigaciones específicas que permitan evaluar su impacto en las propiedades de la subrasante, proporcionando evidencia que respalde su aplicación en proyectos de infraestructura vial. Esto no solo resolvería un problema técnico, sino que también contribuiría al desarrollo sostenible y al bienestar de la comunidad (Mamani & Vargas, 2023).

La comunidad de Collana, en la provincia de Juliaca, enfrenta de manera recurrente problemas de transitabilidad en sus trochas carrozables debido a la debilidad de la subrasante. Frente a esta realidad, el análisis de la incidencia de la ceniza de quinua en combinación con la cal se convierte en una oportunidad para generar soluciones innovadoras, sostenibles y accesibles. Esta investigación busca responder a dicha necesidad, aportando conocimiento técnico que pueda ser replicado en otras comunidades con características similares en el altiplano peruano.

1.2 Planteamiento del problema

1.2.1 *Problema general*

¿Cómo incide la aplicación de ceniza de quinua y cal en la subrasante de la trocha carrozable de la comunidad de collana, Juliaca 2024?

1.2.2 *Problemas específicos*

- a. ¿Qué incidencia tienen las mezclas de cenizas de quinua y cal en la plasticidad y en los límites de Atterberg del suelo de la subrasante?



- b. ¿Cuál es el porcentaje óptimo de combinación de cenizas de quinua y cal que permite mejorar el desempeño mecánico del suelo en la comunidad de Collana?
- c. ¿Cómo varía la capacidad portante (CBR) de la subrasante de la trocha carrozable al aplicar diferentes porcentajes de cenizas de quinua y cal?

1.3 Objetivos de la investigación

1.3.1 *Objetivo general*

Determinar cómo incide la aplicación de ceniza de quinua y cal en la subrasante de la trocha carrozable de la comunidad de collana, Juliaca 2024.

1.3.2 *Objetivos específicos*

- a. Analizar la incidencia de las mezclas de cenizas de quinua y cal en la plasticidad y en los límites de Atterberg del suelo de la subrasante.
- b. Determinar la variación de la capacidad portante (CBR) de la subrasante de la trocha carrozable al aplicar diferentes porcentajes de cenizas de quinua y cal.
- c. Identificar el porcentaje óptimo de combinación de cenizas de quinua y cal que permita mejorar el desempeño mecánico del suelo en la comunidad de Collana.

1.4 Justificación de la investigación

1.4.1 *Justificación técnica*

La estabilización de suelos de subrasante constituye una práctica esencial en la ingeniería vial, pues permite mejorar las propiedades mecánicas y garantizar mayor durabilidad en caminos rurales. El uso de la cal ha demostrado ser eficaz en la reducción de la plasticidad y en el incremento de la capacidad de soporte de suelos arcillosos, lo que contribuye a una mejor compactación y desempeño estructural (Jiménez et al., 2021). Sin embargo, la combinación con cenizas de residuos agroindustriales, como la quinua, representa una innovación que puede optimizar los resultados al modificar las características del suelo de manera más sostenible y económica.



Diversos estudios internacionales han demostrado que las cenizas vegetales poseen compuestos puzolánicos que, al interactuar con la cal, generan reacciones químicas capaces de mejorar la resistencia y estabilidad de los suelos (Yadav & Tiwari, 2019). En este sentido, la aplicación de ceniza de quinua en la comunidad de Collana se justifica técnicamente como una alternativa que aprovecha recursos locales, reduce costos de construcción y favorece la implementación de soluciones viables en contextos rurales, alineándose con los lineamientos del *Manual de Carreteras: Suelos, geología, geotecnia y pavimentos* del MTC (2020), el cual enfatiza la importancia de emplear materiales disponibles en la zona para proyectos de infraestructura vial.

1.4.2 Justificación económica

El uso de ceniza de quinua como material estabilizante es económicamente factible debido a su disponibilidad local como subproducto agrícola. A diferencia de los métodos tradicionales que requieren el uso de cemento o materiales importados, esta alternativa utiliza recursos de bajo costo, reduciendo significativamente los gastos de construcción y mantenimiento. Además, disminuye la dependencia de materiales comerciales, lo que favorece la economía de las comunidades rurales (Rivera & Salazar, 2022).

1.4.3 Justificación social

El mejoramiento de la subrasante en caminos rurales tiene un impacto directo en la calidad de vida de las comunidades, ya que facilita la movilidad de personas, el acceso a servicios básicos y la comercialización de productos agrícolas. En el caso de Collana, donde la trocha carrozable constituye la vía principal de conexión, la estabilización del suelo con cal y cenizas de quinua representa una alternativa que no solo optimiza la transitabilidad, sino que también promueve la inclusión social al fortalecer la integración con centros urbanos y mercados (Banco Mundial, 2020). Así, la



investigación adquiere relevancia social al contribuir con soluciones viables que benefician a poblaciones rurales históricamente afectadas por el aislamiento geográfico.

1.4.4 Justificación ambiental

Desde la perspectiva ambiental, el aprovechamiento de residuos agroindustriales como la ceniza de quinua responde a principios de sostenibilidad y economía circular. La reutilización de estos subproductos permite reducir el impacto ambiental derivado de su disposición inadecuada y disminuir el uso de materiales convencionales de mayor huella de carbono, como el cemento (García & Alarcón, 2022). En este sentido, la incorporación de la ceniza de quinua en proyectos viales contribuye a mitigar los efectos ambientales de la construcción, alineándose con las tendencias de ingeniería sostenible que promueven el uso eficiente de los recursos locales (Yadav & Tiwari, 2019).

1.5 Hipótesis de la investigación

1.5.1 Hipótesis general

La aplicación de ceniza de quinua y cal mejora significativamente en la subrasante de la trocha carrozable de la comunidad de collana, Juliaca 2024.

1.5.2 Hipótesis específicas

- a. Las mezclas de cenizas de quinua y cal reducen la plasticidad y modifican favorablemente los límites de Atterberg del suelo de la subrasante.
- b. La aplicación de diferentes porcentajes de cenizas de quinua y cal incrementa de manera significativa la capacidad portante (CBR) de la subrasante de la trocha carrozable en la comunidad de Collana.
- c. La aplicación de diferentes porcentajes de cenizas de quinua y cal incrementa de manera significativa la capacidad portante (CBR) de la subrasante de la trocha carrozable en la comunidad de Collana.

1.6 Variables

1.6.1 Variable independiente

Cenizas de quinua y cal

1.6.2 Variable dependiente

Propiedades de la subrasante

1.7 Operacionalización de variables

Tabla 1

Operacionalización de variables

Variables	Definición	Dimensión	Indicadores	Instrumentos / Técnica
VI: CENIZA DE QUINUA Y CAL	Es la adición de materiales alternativos (cenizas de quinua y cal) al suelo de la subrasante, con el fin de modificar sus propiedades físicas y mecánicas (Yadav & Tiwari, 2019).	- Contenido de ceniza de quinua. - Contenido de cal.	4%, 8%, 12% de ceniza de quinua añadida. - 6% de cal añadida.	Ensayos de laboratorio: preparación de muestras y mezclas controladas.
VD: PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE	Conjunto de características físicas y mecánicas del suelo que determinan su desempeño en la construcción de vías (MTC, 2020).	-Capacidad portante. - Plasticidad. - Compactación.	- CBR (%) del suelo. - Límite líquido y límite plástico. - Densidad máxima y humedad óptima (Proctor).	Ensayos de laboratorio: CBR, límites de Atterberg, Proctor estándar.



CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO Antecedentes de la investigación

2.1.1 *Antecedentes internacionales*

De acuerdo con García y López (2023), quienes publicaron el artículo titulado "Estabilización de la subrasante con ceniza de quinua y cal en la carretera Lago Sagrado" en la Revista de Ingeniería Civil, el estudio tuvo como propósito evaluar la eficacia de incorporar ceniza de quinua y cal en la mejora de las propiedades mecánicas de suelos cohesivos empleados en la subrasante de una carretera en Perú. La investigación se desarrolló mediante un diseño experimental con enfoque cuantitativo. Para ello, se prepararon muestras de suelo natural mezcladas con distintas proporciones de ceniza de quinua (5%, 7% y 9%) y una cantidad constante de cal (5%). Posteriormente, se realizaron ensayos de límites de consistencia, Proctor modificado y CBR (California Bearing Ratio) con el fin de determinar las variaciones en las propiedades del suelo. Los resultados demostraron que la adición del 9% de ceniza de quinua junto con el 5% de cal redujo el índice de plasticidad del suelo, incrementó la densidad seca máxima hasta 1.902 g/cm^3 y disminuyó el contenido de humedad óptimo al 9%. Asimismo, el valor de CBR al 100% de densidad seca alcanzó un 32%, lo que evidenció una mejora considerable en la capacidad de soporte del suelo en comparación con el suelo natural, cuyo CBR fue de 12.5%. En conclusión, el estudio determinó que la combinación de ceniza de quinua y cal resultó efectiva para la



estabilización de suelos cohesivos, ya que incrementó su resistencia y los hizo más aptos para la construcción de subrasantes de carreteras. Además, este método favoreció el aprovechamiento de materiales locales y sostenibles en proyectos de infraestructura vial.

. Argadoña y Palomino (2020) llevaron a cabo un estudio titulado "Evaluación de las propiedades físico-mecánicas del suelo obtenido de la Apv. Hari Grande vía Rumi Wasi - San Sebastián utilizado a nivel de subrasante en la región Cusco, estabilizado con ceniza de cáscara de arroz y cal en porcentajes 7%-5%, 12%-5% y 15%-5%, respectivamente". El propósito de la investigación fue analizar cómo la incorporación de ceniza de cáscara de arroz y cal influía en las propiedades físico-mecánicas de los suelos arcillosos empleados en subrasantes. La metodología consistió en preparar muestras de suelo mezcladas con diferentes proporciones de ceniza de cáscara de arroz (7%, 12% y 15%) y una cantidad fija de cal (5%). Posteriormente, se realizaron ensayos de límites de consistencia, Proctor modificado y CBR (California Bearing Ratio) con el fin de evaluar las mejoras en las características del suelo. Los resultados evidenciaron que la mezcla con 15% de ceniza de cáscara de arroz y 5% de cal redujo el índice de plasticidad del suelo, incrementó la densidad seca máxima y disminuyó el contenido de humedad óptimo. Asimismo, el valor de CBR se incrementó notablemente respecto al suelo natural, lo que indicó una mejora significativa en la capacidad de soporte del material. En conclusión, el estudio determinó que la combinación de ceniza de cáscara de arroz y cal resultó eficaz para la estabilización de suelos arcillosos, ya que mejoró su resistencia y los hizo más aptos para su aplicación en la construcción de subrasantes de carreteras. Además, este método fomentó el aprovechamiento de materiales locales y sostenibles en obras de infraestructura vial.



2.1.2 *Antecedentes nacionales*

Fernández y Paredes (2022) desarrollaron un estudio titulado "Análisis de la estabilización de suelos con ceniza de quinua para la construcción de subrasantes en la región Cusco". El propósito de la investigación fue analizar el efecto de la ceniza de quinua sobre la capacidad de carga y las propiedades mecánicas de los suelos arcillosos empleados en la construcción de subrasantes de carreteras. La metodología se basó en la preparación de mezclas de suelo arcilloso con diferentes proporciones de ceniza de quinua (5%, 10% y 15%), y posteriormente se realizaron ensayos de densidad máxima, límites de plasticidad y CBR (California Bearing Ratio). Los resultados revelaron que la incorporación del 10% de ceniza de quinua mejoró de manera significativa la capacidad portante del suelo, elevando el valor del CBR de 9% a 25%. Finalmente, el estudio concluyó que el uso de ceniza de quinua representó una alternativa viable para optimizar las propiedades de los suelos de la región, tanto desde una perspectiva técnica como económica, al mismo tiempo que promovió el aprovechamiento de recursos locales en la estabilización de subrasantes.

Vásquez y Gómez (2021) llevaron a cabo un estudio titulado "Estudio de la influencia de la ceniza de quinua en la estabilización de la subrasante de la carretera Cusco". El propósito de la investigación fue determinar si la adición de ceniza de quinua mejoraba la resistencia a la compresión y otras propiedades mecánicas de los suelos arcillosos. La metodología se basó en la preparación de muestras de suelo natural combinadas con distintas proporciones de ceniza de quinua (5%, 10% y 15%). Posteriormente, se evaluaron los valores de CBR, la resistencia a la compresión no confinada y la plasticidad. Los resultados mostraron que la mezcla con un 10% de ceniza de quinua generó los mejores efectos, incrementando notablemente la resistencia a la compresión y mejorando la capacidad de carga del suelo. En conclusión, el estudio determinó que la ceniza de quinua constituía una alternativa eficaz para

incrementar la resistencia de los suelos en zonas rurales, ofreciendo una solución sostenible y económica para el desarrollo de proyectos viales.

Martínez y Rodríguez (2023) realizaron un estudio titulado “Aplicación de ceniza de quinua para la mejora de subrasantes en la ciudad de Huancayo”. El propósito de la investigación fue evaluar la eficacia de la ceniza de quinua como material estabilizador de suelos, con el fin de mejorar la calidad y durabilidad de las subrasantes de carreteras. La metodología aplicada fue de tipo experimental y consistió en la preparación de mezclas de suelos locales con diferentes proporciones de ceniza de quinua (5%, 7% y 10%). Posteriormente, se llevaron a cabo ensayos de laboratorio como CBR (California Bearing Ratio), límites de plasticidad y Proctor, para determinar las propiedades físicas y mecánicas resultantes. Los resultados evidenciaron que la proporción del 7% de ceniza de quinua produjo una mejora significativa en la resistencia a la compresión y en la capacidad de carga del suelo utilizado como subrasante. Finalmente, el estudio concluyó que la aplicación de ceniza de quinua representó una alternativa efectiva para optimizar la calidad de los suelos en proyectos viales de la región, destacándose además por ser un material económico y ecológico.

2.1.3 *Antecedentes regionales*

Huanca y Cáceres (2022) llevaron a cabo un estudio titulado “Uso de ceniza de quinua para la estabilización de suelos en la región de Puno: un enfoque práctico para la construcción de subrasantes”. El propósito de la investigación fue analizar el efecto de la ceniza de quinua en la mejora de las propiedades mecánicas de los suelos locales, con el fin de aplicarla en proyectos viales. La metodología se basó en la mezcla de diferentes proporciones de ceniza de quinua (5%, 10% y 15%) con suelos arcillosos de la región, para luego realizar ensayos de Proctor, CBR (California Bearing Ratio) y resistencia a la compresión. Los resultados evidenciaron que la incorporación del 10% de ceniza de quinua mejoró de forma notable la resistencia y la capacidad de carga del



suelo, incrementando el valor del CBR de 6% a 22%. En conclusión, el estudio determinó que la ceniza de quinua constituye una alternativa viable y económica para la estabilización de suelos en la región de Puno, especialmente en zonas rurales donde los materiales convencionales resultan costosos y de difícil acceso.

Flores y Torres (2021) realizaron una investigación titulada "Estabilización de suelos con ceniza de quinua en el distrito de Juliaca". El propósito del estudio fue analizar el comportamiento de los suelos de la región ante la incorporación de ceniza de quinua como material estabilizador para la construcción de subrasantes en caminos rurales. La metodología empleada consistió en recolectar muestras de suelos locales y mezclarlas con diferentes proporciones de ceniza de quinua (5%, 10% y 15%). Posteriormente, se efectuaron ensayos de plasticidad, Proctor modificado y CBR (California Bearing Ratio) para evaluar los cambios en las propiedades del suelo. Los resultados mostraron que la mezcla con un 10% de ceniza de quinua produjo una mejora significativa en la resistencia y la capacidad de soporte del suelo, alcanzando un valor de CBR de 30%. En conclusión, el estudio determinó que la ceniza de quinua constituye un material alternativo eficaz y accesible para optimizar la calidad de los suelos utilizados en la construcción de infraestructuras viales en la ciudad de Juliaca.

Gutiérrez y Vilca (2023) llevaron a cabo un estudio titulado "Uso de ceniza de quinua para la estabilización de suelos en la provincia de San Román". El propósito de la investigación fue analizar la efectividad de la ceniza de quinua en la mejora de las propiedades mecánicas de los suelos locales con fines viales. La metodología se basó en la preparación de tres mezclas de suelo con diferentes proporciones de ceniza de quinua (5%, 10% y 15%), sobre las cuales se midieron la capacidad de carga, la plasticidad y la humedad óptima mediante ensayos de laboratorio. Los resultados evidenciaron que la mezcla con un 15% de ceniza de quinua generó la mayor mejora en la resistencia del suelo, mostrando un incremento significativo en la densidad y en el



valor del CBR. En conclusión, el estudio determinó que la ceniza de quinua constituye un estabilizador eficaz y rentable para la mejora de suelos en la provincia de San Román, destacando su potencial para reducir los costos asociados a la construcción de caminos rurales.

2.2 Marco teórico

2.2.1 Subrasante

La subrasante se define como la capa natural de suelo sobre la cual se apoyan las capas estructurales de un pavimento, ya sea flexible o rígido. Representa el soporte directo de la estructura vial y su desempeño depende de la capacidad de carga y las condiciones geotécnicas del terreno (MTC, 2020). Su función principal consiste en transmitir las cargas provenientes del tránsito hacia los estratos inferiores del suelo de manera uniforme, evitando asentamientos diferenciales y fallas prematuras en la vía (Kumar & Gupta, 2019). Una subrasante con baja resistencia puede ocasionar deformaciones excesivas, pérdida de servicio y mayores costos de mantenimiento.

La subrasante se entiende como la superficie de apoyo conformada por el terreno natural o el suelo mejorado, que constituye la base fundamental para la construcción de pavimentos. Su calidad y comportamiento influyen directamente en la vida útil de la vía, ya que un suelo inadecuado puede generar fallas estructurales prematuras (Sánchez & Rodríguez, 2018).

La condición superficial del camino afirmado es entendida como el estado físico visible de la superficie de rodadura de una vía no pavimentada, cuya calidad está determinada por el tipo, severidad y extensión de los defectos o deterioros presentes que afectan la transitabilidad y seguridad de los usuarios (Ministerio de Transportes y Comunicaciones [MTC], 2019). Este concepto considera no solo la existencia de fallas físicas como baches, roderas o erosión, sino también la distribución de estos deterioros

a lo largo del camino, elementos esenciales para definir prioridades de intervención y optimizar recursos de mantenimiento (Organización Panamericana de la Salud [OPS], 2018). La evaluación de la condición superficial permite identificar el grado de servicio que ofrece la vía en su estado actual y constituye un insumo fundamental para los planes de conservación vial en zonas rurales, donde estas rutas representan la principal infraestructura de integración territorial.

2.2.1.1 Características de los suelos de subrasante

Estos factores admiten catalogar y valorar el valor del estado del suelo función de su comportamiento mecánico (Das, 2016). En zonas altoandinas como Puno, los suelos de subrasante suelen presentar texturas arcillosas y limosas, con alta plasticidad y baja tenacidad al corte, lo que dificulta su uso directo sin procesos de estabilización (Mamani, 2021).

2.2.1.2 Problemas comunes en suelos arcillosos y limosos

Los suelos arcillosos y limosos, frecuentes en regiones andinas, presentan varios problemas cuando se utilizan como subrasante. Entre ellos destacan a retener agua, lo cual ocasiona expansividad, pérdida de capacidad portante y deformaciones bajo cargas repetitivas (Jiménez et al., 2021). Durante la temporada de lluvias, estos suelos incrementan su contenido de humedad, reduciendo su resistencia y generando condiciones críticas para la transitabilidad de caminos rurales. Por esta razón, optimar sus peculiaridades mecánicas, ya sea mediante métodos mecánicos, químicos o el uso de bastos alternativos disponibles en la zona (Yadav & Tiwari, 2019).

2.2.2 Estabilización de suelos

Es utilizadas con el fin de que mejoro el suelo en todas sus características, de manera que pueda cumplir adecuadamente las funciones estructurales requeridas en una obra civil. Su finalidad principal es aumentar la firmeza, reducir la compresibilidad y optimar el proceder volumétrico del suelo frente a variaciones de humedad (Soto et al.,

2020). De acuerdo con Das (2016), este proceso busca transformar en materiales adecuados para servir como subrasante, reduciendo costos de reemplazo y aprovechando los recursos disponibles localmente.

Se concibe como medio donde se procede a modificar el suelo natural a través de sus características, mediante el fin de aumentar su firmeza, durabilidad, garantizando así un desempeño adecuado en obras de infraestructura vial. Este procedimiento puede realizarse mediante aditivos, cambios granulométricos o tratamientos físicos que mejoren la interacción entre las partículas del suelo y reduzcan su vulnerabilidad (Flores & Quispe, 2019).

2.2.2.1 Métodos tradicionales mecánicos, químicos y físicos

Existen diversos principalmente en mecánicos, químicos y físicos. La estabilidad trata de que se modifique su granulométrica mediante procesos de compactación o mezcla con materiales granulares, logrando una estructura más densa y resistente (MTC, 2020). Por otro lado, la estabilización química se realiza por medio de agentes estabilizantes, como la pasta cementante y la cal o productos puzolánicos, que reaccionan con los minerales del suelo y mejoran sus propiedades de plasticidad y resistencia (Jiménez et al., 2021). Finalmente, la estabilización física se basa en procesos térmicos, congelamiento o drenaje para modificar el estado natural del suelo, aunque su aplicación es menos común en contextos rurales debido a sus altos costos (Sherwood, 2017).

Figura 1

Estabilización de los suelos



Nota: Se muestra el control del polvo de cal estabilizado con cloruros, Adaptada de “Poliblog” <http://victoryepes.blogs.upv.es/files/2021/03/Imagen-Youtube.jpg>

2.2.2.2 Importancia en caminos rurales no pavimentadas

En el ámbito de los caminos rurales no pavimentados, la estabilización de suelos es de vital importancia, ya que estas vías generalmente se apoyan en subrasantes de baja calidad, conformadas por suelos arcillosos o limosos que presentan alta plasticidad y baja capacidad portante (Yadav & Tiwari, 2019). La falta de tratamiento adecuado ocasiona problemas como deformaciones, baches, pérdida de material y restricciones de transitabilidad durante temporadas de lluvia. Según Pérez y Ccama (2021), la estabilización de suelos con materiales alternativos constituye una alternativa sostenible, ya que no solo mejora la calidad estructural de las vías rurales, sino que también reduce costos de mantenimiento y promueve el uso de insumos locales. En regiones altoandinas, esta práctica se convierte en una estrategia fundamental para garantizar la durabilidad y el servicio de caminos de acceso, los cuales son esenciales para la integración socioeconómica de las comunidades.

Figura 2

Reparación de caminos rurales



Nota: Caminos rurales para reparación con la estabilidad, Adaptada de “Humicorp”
https://www.humicorp.com/wp-content/uploads/2012/06/IMG_2899.jpg

Los caminos vecinales afirmados presentan características constructivas particulares que responden tanto a su contexto rural como a su bajo volumen de tránsito, y constituyen una solución vial de bajo costo que permite conectar poblaciones dispersas. Estructuralmente, están conformados por una capa de afirmado granular colocada directamente sobre la subrasante, sin la incorporación de capas superiores de tratamiento superficial o pavimento rígido, lo que la diferencia de las carreteras pavimentadas (Ministerio de Transportes y Comunicaciones [MTC], 2019).

El material del afirmado generalmente está compuesto por suelos seleccionados con granulometría adecuada que permite lograr una superficie resistente y durable. Se exige que el material granular cumpla especificaciones mínimas en términos de porcentaje de finos, plasticidad y resistencia a la abrasión, para garantizar un adecuado comportamiento frente a las sollicitaciones del tránsito y los efectos climáticos (Banco Mundial, 2018).

Además, estos caminos deben ser construidos con un ancho de calzada suficiente habitualmente de 3 a 6 metros y con una pendiente transversal que favorezca el escurrimiento superficial, evitando la acumulación de agua sobre la vía. La correcta compactación de la capa de afirmado, mediante el empleo de rodillos u otros equipos de compactación, es esencial para lograr una superficie uniforme y estable. Asimismo,



las obras de drenaje superficial como cunetas laterales y alcantarillas constituyen elementos constructivos complementarios críticos en caminos vecinales afirmados, pues su ausencia o deficiente ejecución acelera los procesos de deterioro de la vía (Organización Panamericana de la Salud, 2018).

En contextos rurales altoandinos como Puno, estas características constructivas deben ser adaptadas a las condiciones locales de altitud, clima y disponibilidad de materiales, considerando suelos expansivos, pendientes pronunciadas y frecuentes precipitaciones, que incrementan el riesgo de erosión y pérdida de material granular si no se aplican técnicas constructivas apropiadas.

2.2.2.3 Importancia de las trochas carrozables en el contexto rural

En el contexto rural, los caminos vecinales afirmados cumplen un papel esencial como infraestructura básica que garantiza la conectividad territorial, permitiendo a las comunidades rurales acceder a servicios básicos, mercados y centros urbanos. Estas vías constituyen el primer eslabón de la red vial y son determinantes para el desarrollo socioeconómico local, dado que más del 70% de la población rural en países en desarrollo depende de ellas para movilizar personas, bienes y servicios (Banco Mundial, 2018).

Su importancia radica en que favorecen la integración social y económica de poblaciones dispersas, reduciendo el aislamiento geográfico y promoviendo oportunidades de desarrollo en zonas que tradicionalmente han estado excluidas de los principales ejes viales. En regiones como la sierra sur del Perú, y específicamente en la región Puno, los caminos vecinales afirmados permiten el transporte de productos agropecuarios hacia los mercados locales y regionales, contribuyendo directamente a la seguridad alimentaria y la generación de ingresos de los pequeños productores (Mamani & Huayta, 2021).



Además, estas vías permiten garantizar el acceso a servicios fundamentales como educación, salud y programas sociales, mejorando la calidad de vida de las comunidades rurales y fomentando la equidad territorial. Sin embargo, su importancia también pone de manifiesto la necesidad de una conservación adecuada, pues su deficiente mantenimiento puede agravar las condiciones de pobreza y exclusión de las poblaciones rurales. Por ello, los caminos vecinales afirmados deben ser entendidos no solo como infraestructura física, sino como un factor clave en el desarrollo rural sostenible y en la reducción de las brechas sociales y económicas en zonas alejadas (OPS, 2018).

2.2.2.4 Importancia para su evaluación

La evaluación de la condición superficial de los caminos vecinales afirmados es una actividad esencial dentro de la gestión de la infraestructura vial rural, ya que proporciona información objetiva y confiable sobre el estado actual de las vías, permitiendo priorizar intervenciones de conservación y optimizar el uso de recursos limitados (Ministerio de Transportes y Comunicaciones. En contextos rurales como el altiplano puneño, donde las condiciones climáticas adversas, los suelos inestables y la falta de mantenimiento rutinario aceleran el deterioro de los caminos afirmados, realizar evaluaciones periódicas permite identificar los tramos más críticos y planificar intervenciones oportunas antes de que el daño evolucione a estados irreversibles y de mayor costo (MTC, 2019).

La importancia de la evaluación radica también en su contribución a la seguridad vial y a la calidad de vida de los usuarios, al garantizar condiciones mínimas de transitabilidad y reducir riesgos de accidentes o aislamiento durante periodos climáticos adversos. Según García y Suárez (2019), la evaluación sistemática facilita la toma de decisiones basada en datos técnicos y evidencia, permitiendo a las autoridades locales

elaborar planes de mantenimiento preventivo, rutinario y periódico con criterios técnicos claros y adaptados a las necesidades reales de la población rural.

Además, la evaluación adecuada de la condición superficial de estos caminos constituye un componente clave para el diseño de sistemas de gestión vial rural, donde los indicadores de tipo, severidad y extensión de deterioros permiten establecer índices comparables entre diferentes tramos y priorizar de manera equitativa la asignación de recursos públicos. En ese sentido, la evaluación no solo tiene relevancia técnica, sino también social y económica, ya que contribuye a mejorar la conectividad rural de manera sostenible y a cerrar brechas de infraestructura que afectan a las comunidades más vulnerables del país.

2.2.2.5 Deterioros de las trochas carrozables

Los caminos afirmados, debido a su naturaleza no pavimentada y a las condiciones adversas a las que están expuestos, presentan deterioros característicos que afectan su funcionalidad y seguridad. La tipología de deterioros más comunes incluye baches, corrugaciones, surcos o roderas, erosión superficial y pérdida de material granular (Ministerio de Transportes y Comunicaciones [MTC], 2019).

- **Baches:** Son depresiones localizadas en la superficie del camino que resultan de la pérdida de material granular por acción del tránsito y el agua. Generalmente, se forman en zonas donde la capa de afirmado ha perdido cohesión, afectando la comodidad y seguridad de los usuarios y generando riesgos de daños vehiculares (García & Suárez, 2019).
- **Corrugaciones:** Se refieren a la formación de ondulaciones transversales regulares en la superficie de rodadura, similares a un "efecto washboard", producidas por la vibración repetitiva de los vehículos y la falta de mantenimiento adecuado. Este deterioro aumenta los costos de operación vehicular y reduce significativamente la comodidad del tránsito (Banco Mundial, 2018).



- **Surcos o roderas:** Son huellas profundas generadas por el paso repetido de las ruedas de los vehículos, que deprimen la superficie a lo largo de las líneas de rodadura. Las roderas pueden retener agua, acelerando procesos erosivos y aumentando la probabilidad de formación de baches (OPS, 2018).
- **Erosión superficial:** Consiste en la remoción gradual del material granular de la superficie, causada principalmente por la acción del agua de lluvia y escurrimiento. Este deterioro es más frecuente en sectores con pendientes pronunciadas o donde no existen obras adecuadas de drenaje (Torres & Cáceres, 2020).
- **Pérdida de material granular:** Es la reducción progresiva de la capa de afirmado debido al tráfico vehicular y las condiciones climáticas adversas. Este deterioro disminuye la altura de la superficie de rodadura respecto al terreno circundante, afectando las cunetas laterales y comprometiendo la capacidad portante de la vía (Mamani & Huayta, 2021).

2.2.2.6 Condición superficial

La variable "Condición superficial del camino afirmado" es un constructo multidimensional que permite describir, analizar y diagnosticar el estado físico visible de las vías no pavimentadas. Su correcta evaluación requiere descomponerla en dimensiones específicas que faciliten la observación sistemática y cuantificación de los deterioros presentes. Entre las dimensiones más relevantes se encuentran: tipo de deterioro, severidad, extensión y distribución espacial, todas ellas consideradas en metodologías de diagnóstico ampliamente aplicadas en la gestión vial rural (Banco Mundial, 2018).

A. Tipo de deterioro

El tipo de deterioro corresponde a la clasificación técnica de los diferentes defectos físicos que afectan la superficie de rodadura del camino afirmado. Según el



Manual de conservación rutinaria de caminos vecinales del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC, 2019), los defectos más comunes en caminos afirmados son: baches, corrugaciones, surcos o roderas, erosión superficial y pérdida de material granular. La correcta identificación de estos tipos de deterioro permite caracterizar la naturaleza de los daños, comprender sus causas principales y diseñar soluciones técnicas específicas para su reparación o mitigación (Mamani & Huayta, 2021). Por ejemplo, los baches suelen relacionarse con la pérdida de cohesión del material granular y acumulación de agua, mientras que las corrugaciones reflejan problemas de compactación y tráfico repetitivo. La tipología de deterioros es, por tanto, la primera aproximación diagnóstica y constituye un indicador clave de la condición superficial de cualquier camino afirmado (García & Suárez, 2019).

B. Severidad de deterioro

La severidad de deterioro se refiere al grado o nivel de intensidad que presenta cada tipo de defecto identificado en el camino afirmado. Para caminos no pavimentados, la severidad puede clasificarse en tres niveles: baja, media y alta, dependiendo de criterios como profundidad del defecto, extensión en superficie y afectación a la transitabilidad (Torres & Cáceres, 2020). Esta dimensión es fundamental porque no todos los deterioros tienen el mismo impacto: un bache superficial (baja severidad) puede permitir la circulación relativamente segura, mientras que un bache profundo (alta severidad) representa un riesgo crítico para los usuarios y un mayor costo de mantenimiento. Los manuales técnicos proponen escalas de clasificación adaptadas a la realidad de los caminos afirmados para evaluar la severidad de cada defecto en el terreno, facilitando la toma de decisiones para intervenciones oportunas y costo-efectivas (MTC, 2019). Además, la severidad permite estimar el estado funcional del camino y su influencia en el confort y seguridad de la circulación.

C. Extensión del deterioro



La extensión del deterioro mide el alcance físico de los daños en términos de área (metros cuadrados) o longitud (metros lineales) afectada. Esta dimensión cuantitativa es esencial para planificar la magnitud de las intervenciones requeridas y calcular volúmenes de obra para presupuestos de mantenimiento y conservación (Banco Mundial, 2018). Por ejemplo, en el caso de deterioros como corrugaciones o pérdida de material granular, se suele medir la longitud afectada a lo largo del eje del camino; en el caso de baches o erosión localizada, se mide el área que ocupan sobre la superficie de rodadura. La extensión del deterioro, combinada con la información sobre tipo y severidad, permite elaborar diagnósticos técnicos completos y priorizar los tramos que requieren atención inmediata. En caminos afirmados de zonas rurales como Puno, donde los recursos son escasos, medir correctamente la extensión del deterioro es crucial para optimizar las acciones de conservación y reducir costos operativos a largo plazo (Mamani & Huayta, 2021).

D. Distribución espacial

La distribución espacial de los deterioros hace referencia a la localización geográfica precisa de los daños a lo largo del camino, identificando los sectores críticos que concentran mayores problemas de transitabilidad. Esta dimensión incorpora el uso de herramientas de georreferenciación como el GPS y permite elaborar mapas temáticos que representen gráficamente la severidad y extensión de los deterioros en distintos puntos del tramo evaluado (Torres & Cáceres, 2020). Gracias a esta información, las autoridades viales pueden priorizar tramos críticos y planificar mantenimientos sectorizados y más eficientes. La distribución espacial también facilita el monitoreo periódico del estado de la vía y la actualización de inventarios viales. En contextos rurales dispersos y accidentados como el altiplano puneño, disponer de información georreferenciada de los deterioros resulta indispensable para una gestión vial moderna, transparente y basada en datos objetivos (OPS, 2018). Esta dimensión,

por tanto, no solo mejora la calidad del diagnóstico, sino que contribuye directamente a la eficiencia y sostenibilidad de la conservación vial.

2.2.2.7 La estabilización de los suelos y las ventajas que presentan

- **Mejora de la capacidad portante.** La estabilización permite incrementar el valor del CBR, lo que garantiza un mejor desempeño estructural de la subrasante en obras viales (Das, 2016).
- **Reduce la palsticidad.** Los aditivos estabilizantes, como la cal o materiales puzolánicos, disminuyen los límites de Atterberg y la susceptibilidad al hinchamiento, mejorando la estabilidad del suelo frente a variaciones de humedad (Jiménez et al., 2021).
- **Aprovechamiento de materiales locales.** La estabilización hace posible reutilizar suelos de baja calidad y combinar con insumos disponibles en la zona (cenizas, cal, residuos agrícolas), disminuyendo la necesidad de importar materiales externos y contribuyendo a la sostenibilidad (Pérez & Ccama, 2021).
- **Optimización económica.** La mejora de suelos in situ evita procesos costosos de reemplazo o transporte de materiales, generando soluciones más económicas para comunidades rurales y proyectos de bajo presupuesto (Sherwood, 2017).

2.2.2.8 Beneficios de la estabilización de suelos

- **Mayor vida útil de las vías.** La estabilización contribuye a que los caminos rurales y carreteras presenten un desempeño más duradero frente a cargas de tránsito y condiciones climáticas adversas, lo que garantiza su funcionalidad a largo plazo (MTC, 2020).
- **Mejora en la transitabilidad.** Un suelo estabilizado permite mantener la circulación vehicular aún en épocas de lluvias, reduciendo interrupciones de

transporte y mejorando la accesibilidad a zonas rurales y aisladas (Yadav & Tiwari, 2019).

- **Reducción de costos de mantenimiento.** La resistencia adquirida por el suelo tratado disminuye la frecuencia de intervenciones de conservación, lo que representa un ahorro significativo para las comunidades y gobiernos locales (Soto et al., 2020).
- **Impacto socioeconómico positivo.** Al garantizar vías más estables y transitables, se facilita el acceso a mercados, centros educativos y servicios de salud, promoviendo la integración y el desarrollo socioeconómico de las comunidades (Pérez & Ccama, 2021).
- **Sostenibilidad ambiental.** El uso agroindustriales o subproductos de ceniza de quinua reduce la extracción de recursos naturales y contribuye a una gestión más sostenible de residuos (Jiménez et al., 2021).

2.2.3 *Cenizas de quinua*

2.2.3.1 Definición

Las cenizas de quinua controlada de la combustión de restos vegetales de la planta de *Chenopodium quinoa*, principalmente cáscaras, tallos y hojas. Este subproducto está compuesto por óxidos de silicio, calcio, potasio y magnesio, que le confieren propiedades puzolánicas compuestos cementantes estables (Mujica et al., 2020). Gracias a esta composición, las cenizas de quinua se perfilan como un aditivo de interés en la ingeniería civil, pues su interacción química puede mejorar parámetros de resistencia y durabilidad.

Las cenizas de quinua constituyen un material alternativo subrasantes de caminos rurales. Su utilización responde a la necesidad de aprovechar recursos locales, disponibles en comunidades altoandinas productoras de quinua, que permiten disminuir los costos de transporte y de adquisición de aditivos convencionales como el cemento

(Flores & Quispe, 2019). Estas cenizas, al mezclarse con cal, actúan como aglutinante, mejorando la compacidad y reduciendo la plasticidad del suelo, lo cual incrementa la capacidad portante y favorece la transitabilidad de trochas carrozables.

Las cenizas de quinua representan un subproducto con alto potencial de valorización ambiental, ya que permiten dar un uso sostenible a residuos agrícolas que generalmente son desechados sin un tratamiento adecuado. Según Gonzales y Huanca (2021), su aprovechamiento como insumo para la construcción ayuda a disminuir la profanación derivada de la quema indiscriminada de residuos y promueve prácticas de economía circular. Consolidándose como una alternativa ecológica para diversos tipos de proyectos.

En el ámbito agrícola-industrial, las cenizas de quinua se definen como un residuo sólido resultante del procesamiento de la quinua destinada a la alimentación humana y animal. Durante la limpieza y descascarado del grano, se generan restos vegetales que, al ser sometidos a combustión, producen cenizas con altos contenidos de sílice y minerales (Aliaga et al., 2020). Este residuo, que antes carecía de valor económico, se convierte en un insumo de interés estratégico para proyectos de innovación en ingeniería civil, impulsando el vínculo entre la agroindustria y la construcción sostenible.

Figura 3

Cenizas de quinua



Nota: Cenizas de quinua aplicado en la estabilización de vías “Scielo”
<https://www.scielo.sa.cr/img/revistas/infraestructura/v25n44//2215-3705-infraestructura-25-44-85-gf1.jpg>

Ingenierilmente, las cenizas de quinua se conceptualizan como un material alternativo de origen agroindustrial que, al ser incorporado a suelos arcillosos o limosos, permite modificar. Investigaciones recientes evidencian para tipo de aditivo mejora la tenacidad del suelo, reduce la plasticidad y aumenta el valor del CBR, cualidades fundamentales en diferentes obras de subrasantes en caminos con transitabilidad mínima (Pérez & Ccama, 2021). Así, las cenizas de quinua se integran al grupo de materiales emergentes que responden a la necesidad de soluciones técnicas, económicas y ambientalmente sostenibles en la infraestructura rural.

2.2.3.2 Características de la quinua en ceniza

- **Composición.** Contiene químicamente una alta proporción de óxidos como sílice (SiO_2), calcio (CaO), potasio (K_2O) y magnesio (MgO), elementos responsables de sus propiedades puzolánicas y cementantes cuando se mezcla con cal o agua (Mujica et al., 2020).
- **Propiedades puzolánicas.** Debido a su contenido de sílice y alúmina, las cenizas de quinua reaccionan con silicatos cálcicos hidratados, lo que contribuye al aumento de resistencia mecánica del suelo tratado (Aliaga et al., 2020).



- **Textura y color.** Generalmente presentan una textura fina y polvorosa, de color grisáceo a negruzco, dependiendo de las condiciones de combustión y del tipo de residuos de la planta de quinua utilizados (Flores & Quispe, 2019).
- **Disponibilidad local.** Se generan en grandes cantidades en zonas productoras de quinua, especialmente en la región andina, donde la producción agrícola deja residuos vegetales abundantes, accesibles y de bajo costo (Gonzales & Huanca, 2021).
- **Impacto ambiental positivo.** El uso de estas cenizas en disposición inadecuada de restos agrícolas y la contaminación por su quema indiscriminada, promoviendo prácticas sostenibles de reutilización (Soto et al., 2020).
- **Aplicación en ingeniería civil.** Al incorporarse en suelos arcillosos y limosos, la ceniza de quinua contribuye a disminuir la plasticidad, aumentar el CBR y mejorar la durabilidad de las subrasantes de caminos rurales no pavimentados (Pérez & Ccama, 2021).

2.2.3.3 Importancia de la ceniza de quinua

Las cenizas de quinua constituyen un material alternativo de gran relevancia con respecto a la baja capacidad portante, como los arcillosos y limosos presentes en zonas altoandinas. Su alto contenido de sílice y calcio les confiere características puzolánicas que, al interactuar con la cal o el agua, generan compuestos cementantes capaces de aumentar en subrasantes (Mujica et al., 2020). De esta manera, se convierten en un recurso estratégico para proyectos viales de bajo costo, particularmente en caminos rurales no pavimentados donde los materiales convencionales suelen ser escasos o costosos.

- **Desde un enfoque ambiental,** las cenizas de quinua representan una alternativa sostenible que promueve la valorización de residuos agrícolas. La reutilización de este subproducto evita la disposición inadecuada y la

contaminación derivada de la quema no controlada de restos de cosecha. Según Gonzales y Huanca (2021), esta práctica transformara desechos en insumos útiles para la construcción. Además, su uso contribuye como en la gestión de recursos naturales.

- **En términos socioeconómicos**, la importancia de las cenizas de quinua radica en su disponibilidad local en regiones productoras como Puno, Ayacucho o Cusco, lo que permite abaratar costos de transporte y fomentar el desarrollo tecnológico comunitario. Investigaciones como la de Pérez y Ccama (2021) señalan que el aprovechamiento de este material fortalece la autosuficiencia de comunidades rurales, mejorando la transitabilidad de caminos y facilitando el acceso a mercados, centros educativos y servicios básicos. Por tanto, las cenizas de quinua no solo cumplen una función técnica, sino que también representan una herramienta de desarrollo territorial con proyección sostenible.

2.2.3.4 Proceso de aplicación de las cenizas de quinua

El proceso de recolección y selección del residuo agrícola. Los tallos y hojas de quinua, después de la cosecha, son secados y posteriormente sometidos a un proceso de combustión controlada, obteniendo cenizas finas con alto contenido de sílice y calcio. Según Mujica et al. (2020), la quema debe realizarse en condiciones de temperatura moderada para preservar sus propiedades puzolánicas y evitar la formación de partículas inertes.

Posteriormente, se lleva a cabo la caracterización de las cenizas mediante ensayos químicos y físicos, como análisis de óxidos, granulometría y peso específico. Esta etapa es esencial para determinar la proporción adecuada que debe mezclarse con el suelo, garantizando que las cenizas cumplan un papel activo como aditivo estabilizador. Gonzales y Huanca (2021) destacan que esta caracterización asegura la homogeneidad del material y permite definir su eficiencia en suelos arcillosos y limosos.

Una vez obtenidas las cenizas, se procede a la mezcla con el suelo de subrasante, la cual puede realizarse de manera manual o mecánica dependiendo de la magnitud de la obra. Generalmente, se recomienda realizar la dosificación en porcentajes que oscilan entre el 5 % y el 15 % del peso seco del suelo, mezclando las cenizas con cal o directamente con agua para activar sus propiedades cementantes (Pérez & Ccama, 2021). La incorporación homogénea del material es clave para garantizar la mejora en la plasticidad, resistencia y capacidad de soporte.

Finalmente, la mezcla se somete a compactación mediante equipos livianos o pesados hasta alcanzar los ensayos adecuados. Tras este proceso, se recomienda un período de curado que puede variar entre 7 y 28 días, durante el cual las reacciones químicas consolidan la estructura del suelo estabilizado. Este procedimiento asegura que la subrasante adquiera mayor resistencia a la humedad, mejor soporte de cargas y una durabilidad prolongada, lo cual es especialmente ventajoso en caminos rurales no pavimentados expuestos a condiciones climáticas adversas.

2.2.3.5 Ventajas de las cenizas de quinua

Presenta múltiples prerrogativas que las convierten en una opción muy adecuada a materiales supuestos. En primer lugar, destacan sus propiedades puzolánicas, derivadas de su contenido de sílice y calcio, que permiten la formación de compuestos cementantes al reaccionar con agua y cal, lo cual mejora la resistencia mecánica y la durabilidad del suelo (Mujica et al., 2020). Esta característica resulta esencial en subrasantes de caminos rurales donde los blandos suelos y limosos suelen presentar mínima resistencia al suelo

En segundo lugar, la ceniza de quinua constituye un material económico y accesible, dado que proviene de residuos agrícolas disponibles en regiones altoandinas como Puno o Ayacucho. Según Gonzales y Huanca (2021), su aprovechamiento, evitando la dependencia de insumos industriales más caros como el cemento o la cal



en grandes proporciones. De esta manera, se promueve la autogestión comunitaria en la mejora de la infraestructura vial.

Otra ventaja significativa radica en su impacto ambiental positivo, ya que reutiliza residuos que de otra forma serían quemados sin control, generando contaminación. Al emplear este subproducto un enfoque de hacienda redonda que reduce la huella de carbono y aporta a la sostenibilidad del sector (Pérez & Ccama, 2021).

Finalmente, la ceniza de quinua se adapta de manera eficiente a las condiciones de caminos rurales no pavimentados, mejorando la viabilidad, disminuyendo las malas vías aumentando la vida útil de la vía. Estos beneficios repercuten directamente en el acceso a mercados, centros educativos y servicios básicos, de las comunidades rurales.

2.2.3.6 Aplicación de las cenizas de quinua

Las cenizas de quinua encuentran una aplicación relevante, especialmente aquellos con alto contenido de arcilla o limo que son frecuentes en caminos rurales no pavimentados. Gracias a su contenido de sílice y calcio, las cenizas poseen propiedades puzolánicas que, al mezclarse con cal o agua, generan reacciones químicas capaces de formar compuestos cementantes que mejoran la resistencia (Mujica et al., 2020).

En el ámbito de la ingeniería vial, su principal aplicación se da en la mejora de la subrasante, etapa fundamental en la estructura de un pavimento. La mezcla de cenizas de quinua con el suelo local permite reducir la plasticidad, controlar la expansión por el alto contenido húmedo y resistencia baja del suelo. Según Gonzales y Huanca (2021), este proceso es especialmente útil en comunidades rurales andinas, donde los recursos económicos son limitados y el acceso a materiales convencionales como el cemento es costoso.

Otra aplicación importante radica en el enfoque de infraestructura sostenible y economía circular, ya que el uso de cenizas de quinua promueve la valorización de residuos agrícolas. Este aprovechamiento reduce la contaminación por la quema no controlada de desechos y ofrece un material alternativo con bajo impacto ambiental (Pérez & Ccama, 2021). Así, además de cumplir una función técnica en la estabilización del suelo, las cenizas contribuyen en una mejora constante.

Finalmente, las cenizas de quinua pueden aplicarse de manera práctica en proyectos de mantenimiento y rehabilitación de trochas carrozables, mejorando la transitabilidad. Su implementación favorece la conectividad rural.

2.2.4 Cal como estabilizante

La cal es uno de los estabilizantes más empleados en ingeniería geotécnica de propiedades físicas y químicas de los suelos arcillosos. Su acción se fundamenta en reacciones químicas entre el hidróxido de calcio y los minerales presentes en el suelo. En un primer momento, se produce un intercambio catiónico entre los iones de calcio y arcillosas, lo que genera una reducción en la repulsión eléctrica y promueve la floculación. Posteriormente, en presencia de humedad, tienen lugar reacciones puzolánicas que forman silicatos y aluminatos cálcicos hidratados, compuestos y la durabilidad del suelo (Sherwood, 1993; Bell, 1996).

Figura 4

Aditivos de cal estabilizadoras del suelo



Nota: Extendido de cal para estabilizar suelos "Clacinator" <https://www.calcinor.com/wp-content/uploads/2020/11/extendido-cal.jpg>

2.2.4.1 Principios de reacción química en suelos arcillosos

Disminuye la expansividad y el potencial de deformaciones volumétricas en suelos arcillosos. Asimismo, mejora las condiciones de compactación, ya que los suelos tratados requieren menores esfuerzos para alcanzar densidades óptimas. A mediano y largo plazo, las reacciones puzolánicas incrementan la resistencia a la compresión y al corte, mejorando de manera notable (Ingles & Metcalf, 1972; Thompson, 1970).

2.2.4.2 Aplicación en proyectos viales

La aplicación de cal en proyectos viales ha demostrado ser particularmente eficiente en caminos rurales y carreteras expuestas a condiciones climáticas adversas. Según la Transportation Research Board (2008), la estabilización con cal permite optimizar el uso de suelos locales, evitando el transporte de grandes volúmenes de materiales externos y, por tanto, disminuyendo los costos de construcción y mantenimiento. Esto resulta especialmente relevante en zonas altoandinas.

En síntesis, la cal actúa como un estabilizante versátil y de bajo costo que transforma suelos problemáticos en materiales adecuados para subrasantes. Su empleo no solo mejora la resistencia y estabilidad de los caminos, sino que también constituye una alternativa sostenible frente a la utilización de insumos industriales de mayor impacto ambiental, cuando se combina con aditivos como las cenizas de quinua.



2.3 Marco conceptual

- a. **Ceniza de quinua:** Residuo en forma de polvo fino resultante de la combustión controlada de los desechos agrícolas de la quinua, como cáscaras, hojas y tallos, que contiene sílice amorfa, óxido de calcio y otros compuestos minerales con propiedades puzolánicas.
- b. **Puzolanidad:** Propiedad de ciertos materiales que cuando se le combina agua tiene un efecto el cual lo convierte en cementante.
- c. **Subrasante:** Capa inferior de un pavimento vial el cual es de suma importancia como soporte de las demás capas
- d. **Trocha carrozable:** Camino rústico o vialidad de bajo tráfico que generalmente no cuenta con pavimentación.
- e. **Economía circular:** Incentiva el aprovechamiento máximo de los recursos mediante la reutilización, reciclaje y valorización de materiales residuales.
- f. **Óxido de calcio:** Compuesto químico presente en materiales puzolánicos como las cenizas de quinua, que al mezclarse con agua y otros aditivos.
- g. **Plasticidad del suelo:** Capacidad del suelo para moldearse y deformarse sin fracturarse, determinada por su contenido de agua y minerales. Una alta plasticidad puede afectar negativamente su capacidad portante.
- h. **Capacidad portante:** Propiedad de un suelo que indica su habilidad para soportar cargas aplicadas sin fallar o deformarse excesivamente.
- i. **Cal:** Material alcalino utilizado en el suelo y otros aditivos para mejorar su resistencia y durabilidad.



- j. Residuo agrícola:** Subproducto generado en la producción y cosecha de cultivos agrícolas, como tallos, cáscaras y hojas, que puede ser valorizado para aplicaciones industriales o constructivas.
- k. Aditivo:** Material adicional utilizado para mejorar o modificar sus características de otros materiales



CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Es importante porque permite que toda investigación científica, dado que orienta el proceso para alcanzar los objetivos planteados y proporciona validez en nuestra investigación. entonces la metodología se fundamenta en un enfoque cuantitativo y aplicado, dado que busca medir de manera objetiva los efectos de ceniza de quinua y cal en la estabilidad de la subrasante de la trocha carrozable de la comunidad de Collana, en Juliaca. **Diseño de la investigación**

Orienta la manera en que se recolectarán, analizarán e interpretarán los datos, con el propósito de responder a las preguntas de investigación y alcanzar los objetivos planteados. Hernández-Sampieri y Mendoza (2018) afirman que el diseño constituye la “estructura metodológica que guía el procedimiento para obtener resultados válidos y confiables”, estableciendo los métodos, técnicas y procedimientos necesarios.

En el caso del presente estudio, el diseño de investigación adoptado es de tipo experimental, dado que se manipulan variables independientes la aplicación de diferentes porcentajes de cenizas de quinua y cal para observar sus efectos sobre variables dependientes como la resistencia, la plasticidad y la capacidad portante del suelo de la subrasante. Este diseño resulta apropiado porque permite establecer comparaciones entre muestras de suelo tratado y no tratado, determinando con

objetividad la incidencia de los estabilizantes en la mejora la vía en comunidad de Collana, Juliaca.

De este modo, la aplicación del diseño experimental garantiza que los resultados obtenidos no solo tengan un sustento técnico y científico, sino también una utilidad práctica que aportan alternativas de estabilización sostenibles y accesibles para proyectos viales en comunidades rurales.

3.2 Métodos de la investigación

Emplea un método experimental cuasiexperimental, orientado a evaluar la incidencia del uso de cenizas de quinua y cal en subrasante de la trocha carrozable de la comunidad de Collana, Juliaca 2024. Este método manipulara una de sus variables (proporción de cenizas de quinua y cal) y los cuales tendrán efectos en su segunda variable (propiedades geotécnicas de la subrasante), manteniendo control sobre distintos tipos de factores (Hernández, Fernández & Baptista, 2014).

El método incluye el trabajo in situ, la preparación de sondas con proporciones definidas de los estabilizantes, su compactación según normas técnicas y el correspondiente curado para asegurar la reacción química adecuada. Posteriormente, se realizarán diversos ensayos in situ, con el fin de medir los efectos de los estabilizantes en la subrasante.

3.3 Nivel y tipo de investigación

3.3.1 Tipo de la investigación

Es de tipo aplicado, ya que busca generar conocimientos prácticos que permitan mejorar la vía de la subrasante de la comunidad de Collana, mediante la utilización de cenizas de quinua y cal como estabilizantes de suelos. La finalidad aplicada se centra en resolver un problema concreto de ingeniería civil: mejorar las condiciones del suelo para incrementar la perpetuación y seguridad de la vía.



3.3.2 Nivel de la investigación

En esta investigación lo que busca es explicar cómo se produce las causas del problema el cual pueda describir o explicar sus causas, Hernández, (2014), el nivel de investigación es explicativo o experimental, de acuerdo cual sea el fin que se persiga y del tipo de análisis requerido. Este nivel define cómo se recopilan, analizan e interpretan los datos y permite estructurar la metodología de manera adecuada para alcanzar los efectos esperados.

El nivel de estudio es experimental descriptivo-comparativo, donde se medir la consecuencia de la aplicación de cenizas de quinua y cal en la subrasante de la trocha carrozable de la comunidad de Collana, Juliaca 2024. Este nivel permite describir sus características del terreno antes y después de aplicar los tratamientos, así como comparar la eficiencia de distintos porcentajes de estabilizantes en mejorar la compactación, plasticidad y resistencia del suelo. Gracias a este enfoque, se obtiene evidencia objetiva que permite determinar la incidencia de los estabilizantes en la optimización del terreno.

3.4 Población y muestra de la investigación

3.4.1 Población

Constituye el universo de análisis sobre el cual se pueden generalizar los resultados de un estudio, y debe definirse claramente en función de los criterios que son muy importantes para llegar a nuestro propósito de la investigación.

Definir la población de manera precisa asegura que el trabajo que se realizó para toda la trocha carrozable, permitiendo diseñar recomendaciones técnicas para la optimización de la subrasante. Además, delimitar claramente la población facilita el adecuado camino de nuestra muestra y correcta aplicación de los ensayos experimentales.



Está constituida por todos los sectores del terreno de la vía de la comunidad de Collana, Juliaca, que forman parte del camino en el cual se aplican los estabilizantes (cenizas de quinua y cal). Esta población es relevante porque se evaluará en diferentes condiciones, identificando cómo los tratamientos influyen en la compactación, plasticidad y resistencia de la subrasante.

3.4.2 Muestra

Representa como una parte o pequeña parte de la población el cual es muy representativa para el análisis de nuestros resultados. Según Hernández, Fernández y Baptista (2014), la muestra permite reducir costos y tiempos de investigación sin comprometer la validez de los resultados, siempre que se seleccione de forma adecuada y cumpla con criterios de representatividad.

La selección de una muestra representativa garantiza que los resultados sean fiables y extrapolables a toda la trocha carrozable. Además, facilitar la ejecución de los ensayos experimentales y optimizar recursos, permitiendo obtener conclusiones objetivas.

Está constituida por sectores seleccionados de la subrasante de la vía de la comunidad de Collana, Juliaca, en los cuales se aplicarán los tratamientos con cenizas de quinua, cal y la combinación de ambos estabilizantes. Se seleccionarán parcelas representativas de la trocha, considerando las variaciones del terreno, tipo de suelo y condiciones de humedad. Esto permitirá evaluar de manera controlada la incidencia como estabilizador (compactación, plasticidad y resistencia).

3.5 Técnicas e instrumentos

3.5.1 Técnicas

Las técnicas de recolección de datos son los procedimientos o métodos sistemáticos que se utilizan para obtener información relevante sobre las variables de estudio. Según Hernández, Fernández y Baptista (2014), la elección de la técnica

adecuada permite garantizar la validez y confiabilidad de los datos recopilados, facilitando su análisis posterior y la obtención de conclusiones precisas.

Las técnicas utilizadas son:

- Muestreo de suelos in situ: Se toma muestra del suelo en diferentes puntos del terreno de Collana para determinar sus características naturales antes de aplicar los estabilizantes.
- Se realizan pruebas de compactación Proctor, límites de Atterberg y CBR, con el objetivo de medir su influencia en el terreno.
- Pruebas comparativas entre tratamientos: Se evalúan parcelas con suelo natural, suelo tratado con ceniza de quinua, cal y combinación de ambos, para determinar cuál tratamiento mejora más las condiciones de la subrasante.

La utilización de estas técnicas permite obtener datos precisos y objetivos, garantizando datos confiables la incidencia de los estabilizantes en la subrasante de la trocha carrozable. Además, facilitan la comparación entre los diferentes tratamientos aplicados.

3.5.2 Instrumentos

Nos ayuda a medir y registrar las variables de estudio de manera objetiva y sistemática. Según Hernández, Fernández y Baptista (2014), estos instrumentos aseguran la confiabilidad y consistencia de la información obtenida, facilitando su análisis y la obtención de conclusiones válidas.

Para la presente investigación, los instrumentos seleccionados incluyen:

- Moldes de compactación y probetas: Para preparar el terreno del campo y combinarlos con cenizas de quinua y cal, asegurando uniformidad y control en los ensayos de laboratorio.



- Para determinar la humedad y densidad del suelo antes y después del tratamiento, permitiendo calcular el grado de compactación logrado utilizaremos un horno
- Tamices y equipos de laboratorio para ensayos de plasticidad y tipo de suelo y consistencia del suelo tratado, comparando con el suelo natural.
- Registro de datos y fichas de laboratorio: Para documentar de manera organizada los resultados de cada ensayo y permitir el análisis comparativo entre tratamientos.

Estos instrumentos permiten al evaluar cenizas de quinua y la cal como estabilizantes de suelo. Además, permiten comparar objetivamente los resultados entre los diferentes tratamientos aplicados.

3.6 Validación y confiabilidad del instrumento

3.6.1 Validación

La validación de los instrumentos consiste en el proceso mediante el cual se verifica que los instrumentos de recolección de datos realmente midan lo que se proponen y sean confiables para obtener resultados precisos. Según Hernández, Fernández y Baptista (2014), la validación garantiza la confiabilidad, consistencia y pertinencia de los instrumentos.

La validación de los instrumentos se realizó mediante:

- Revisión técnica por expertos: Los moldes de compactación, equipos de CBR, hornos de secado y balanzas fueron evaluados por ingenieros civiles especializados en mecánica de suelos para asegurar su correcto funcionamiento y precisión.



- Prueba piloto: Se realizaron ensayos preliminares en un pequeño sector de la trocha carrozable para verificar que las técnicas y los instrumentos seleccionados permitan obtener datos confiables y reproducibles.
- Normas técnicas y estándares: Todos los instrumentos y procedimientos utilizados cumplen con normas técnicas, lo que garantiza la validez de las mediciones y su aplicación a la población de estudio.

La validación asegura que los resultados obtenidos reflejan de manera objetiva la incidencia del uso cenizas de quinua y cal en el terreno, evitando errores sistemáticos y aumentando la confiabilidad de las conclusiones. Esto permite que las recomendaciones derivadas del estudio sean técnicamente sólidas y aplicables a proyectos similares en la región.

3.6.2 Confiabilidad

La confiabilidad se refiere al grado en que un instrumento de recolección de datos produce resultados consistentes y reproducibles cuando se aplica en condiciones similares. Según Hernández, Fernández y Baptista (2014), un instrumento confiable garantiza que las mediciones sean estables, reduciendo errores aleatorios y aumentando la validez de los resultados obtenidos en la investigación.

La confiabilidad de los instrumentos se asegura mediante:

- Calibración de equipos: Los instrumentos de laboratorio, como moldes de compactación, balanzas, hornos de secado y equipos de CBR, fueron calibrados antes de iniciar los ensayos, asegurando mediciones precisas y uniformes.
- Ensayos repetidos: Cada prueba de compactación, límites de Atterberg y CBR se realizaron al menos tres veces por cada tratamiento de suelo, verificando la consistencia de los resultados y permitiendo detectar posibles errores o variaciones.



- Estándares técnicos: Los procedimientos siguieron las normas técnicas de mecánica de suelos, garantizando que las mediciones sean comparables y reproducibles en cualquier laboratorio que cumpla con estas normas.

Garantizar la confiabilidad de los instrumentos permite brindar seguridad de que las conclusiones sobre la eficacia de las cenizas de quinua y cal en la subrasante son correctas y pueden ser utilizadas como referencia en proyectos de ingeniería civil similares.

3.7 Procedimiento de recolección de datos

❖ Obtención de los agregados

Consiste en el proceso mediante el cual se seleccionan, recolectan y preparan los materiales que se incorporarán a los suelos para optimizar sus propiedades físicas y mecánicas. Según Neville y Brooks (2010), los agregados deben cumplir con criterios de tamaño, composición y calidad para garantizar que contribuyan efectivamente a la estabilidad y resistencia de la mezcla

Aplicación al tema

En la presente investigación, los agregados principales son:

- Cenizas de quinua: Se obtendrán mediante combustión vigilada de residuos de quinua. Las cenizas se tamizarán para eliminar partículas grandes y asegurar uniformidad en la mezcla con el suelo.
- Cal (hidratada o viva): Se adquirirá en distribuidores locales certificados y se preparará según normas técnicas para su incorporación al suelo.
- Suelo de la subrasante: Se tomará directamente de la vía de la comunidad de Collana, asegurando que las muestras representen las condiciones reales del terreno.

Procedimiento de obtención



- Recolección de residuos de quinua para producción de ceniza.
- Combustión controlada y tamizada de la ceniza hasta obtener partículas finas uniformes.
- Selección de cal de calidad y almacenamiento en condiciones secas para mantener su reactividad.
- Muestras del suelo evitando la contaminación con material externo.
- Mezcla de los agregados en proporciones predeterminadas para los ensayos experimentales en laboratorio.

La obtención adecuada de los agregados garantiza que las mezclas sean homogéneas y representativas, permitiendo evaluar de manera confiable el efecto de las cenizas de quinua y la cal, optimizando la durabilidad de la trocha carrozable.

❖ **Obtención de la ceniza de quinua**

La metodología se centra en la aplicación de cenizas de quinua y cal en la vía de comunidad de Collana, Juliaca. Este procedimiento permite mejorar las propiedades, plasticidad y resistencia, garantizando la durabilidad y seguridad de la vía.

La aplicación de los estabilizantes se realiza siguiendo un protocolo experimental controlado, que incluye la preparación de las mezclas, la compactación de las sondas y la evaluación mediante ensayos de laboratorio estandarizados. Además, se busca comparar la eficiencia de los diferentes tratamientos para determinar cuál proporción de ceniza y cal ofrece mejores resultados.

El enfoque metodológico garantiza nuestros objetivos, confidenciales y reproducibles, permitiendo que las conclusiones y recomendaciones técnicas puedan aplicarse a otros proyectos similares en la región. Asimismo, promueve el uso sostenible de residuos agrícolas, como la quinua, contribuyendo a soluciones técnicas innovadoras.



❖ **Proceso de Obtención y Recolección**

- **Recolección de residuos agrícolas:** Se recolectan los restos de la cosecha de quinua, incluyendo tallos, hojas y cáscaras, provenientes de los cultivos de la comunidad de Collana.
- **Secado de los residuos:** Los residuos se dejan secar al sol o en horno controlado para reducir la humedad, facilitando su combustión uniforme.
- **Combustión controlada:** Los residuos secos se queman en un horno o área controlada, evitando pérdidas por combustión incompleta y generando ceniza fina y homogénea.
- **Tamizado:** La ceniza obtenida se tamiza para eliminar partículas grandes o impurezas, asegurando uniformidad y tamaño adecuado para su incorporación al suelo.
- **Recolección y almacenamiento:** La ceniza tamizada se deposita en envases secos y herméticos para protegerla de la humedad y mantener sus propiedades químicas intactas hasta su aplicación.

Este procedimiento asegura que la ceniza de quinua sea homogénea, limpia y con propiedades químicas estables, permitiendo una correcta mezcla con el suelo y garantizando resultados confiables en los ensayos de estabilización de la subrasante. Además, permite aprovechar residuos agrícolas, promoviendo sostenibilidad y eficiencia en la construcción vial.

❖ **Almacenamiento**

- **Contenedores secos y herméticos:** Tanto la ceniza de quinua como la cal se almacenarán en sacos o contenedores resistentes a la humedad para mantener sus propiedades químicas y físicas.

- **Lugar ventilado y protegido:** Se ubicará en un área cubierta, protegida del agua, sol directo y contaminantes, evitando que se humedezcan o se degraden antes de su aplicación.
- **Identificación y control:** Cada lote de ceniza y cal será etiquetado con fecha de producción y proporción destinada, asegurando un control preciso durante los ensayos.
- ❖ **Uso**
 - Preparación de la mezcla: Los estabilizantes se incorporan al suelo de la subrasante en proporciones predeterminadas según el diseño experimental.
 - Homogeneización: La mezcla se revuelve hasta una obtención asegurando que cada parcela reciba el tratamiento completo.
 - Aplicación controlada: Se distribuye en los sectores de la trocha carrozable seleccionada, garantizando la cobertura total y la consistencia de la mezcla antes de la compactación.
 - Seguridad en el manejo: Se utilizan guantes, mascarillas y gafas de protección, cumpliendo normas de seguridad durante la manipulación.

Un almacenamiento asegura adecuado que los materiales mantengan sus propiedades hasta la aplicación, mientras que un uso controlado y uniforme garantiza que los ensayos experimentales reflejen fielmente la incidencia.

3.7.1 *Ensayos en laboratorio*

Estos ensayos son fundamentales para determinar la compactación, plasticidad y resistencia de la subrasante, asegurando que los tratamientos aplicados mejoren la durabilidad en la vía de Collana, Juliaca.

❖ **Contenido de humedad**

Representa o está conformado con la cantidad de agua que tiene el terreno o muestra seleccionada.

Procedimiento

- Toma de muestra: Se extrae una porción representativa los estabilizantes (ceniza de quinua y cal).
- Pesado inicial: Se pesa para luego registrar su masa.
- Secado: tendrá que estar en un plazo de 24 horas el cual será secado a una temperatura de 105 grados
- Pesado final: Se pesa nuevamente luego de sacar del horno

Cálculo:

Se determina usando la fórmula:

$$\text{Humedad (\%)} = \frac{\text{Peso húmedo} - \text{Peso seco}}{\text{Peso seco}} \times 100$$

Medir la humedad nos permite controlar de como esta el terreno para una adecuada compactación en la vía de collana

Figura 5

Prueba de humedad sometida al horno



- *Nota:* Colocamos la muestra al horno de 105°

❖ Granulometría

- Cuartemos la muestra extraída del terreno
- Hacemos secar a temperatura ambiente
- Pulimos o chancamos la muestra arcillosa hasta que este pulverizado
- Pesamos 1000 g para nuestra muestra
- Lavamos la muestra en la tara 200 y luego hacemos secar la muestra retenida
- Pesamos nuevamente la muestra seca y luego empezamos a tamizar
- Tamizamos dependiendo del material si es fino utilizamos las mallas desde la N° 4 hasta la malla 200
- Luego registramos los pesos de los tamices retenidos para nuestros datos

Figura 6

Prueba de análisis granulométrico



- *Nota:* Realizamos la granulometría en cada tamiz

❖ Limite liquido

- Seleccionamos nuestra muestra el cual debe ser pasante de la malla numero 40
- Tamizamos nuestra muestra hasta tener algo muy representativo
- Luego combinamos nuestra muestra con agua destilada hasta que sea bien pastoso
- Colocamos la muestra pastosa en la cuchara Casagrande y luego enrasamos
- Cortamos con el ranurador por el medio y empezamos a realizar los golpes en rangos de 25 30 y 35 golpes
- Luego de terminar los golpes y encierre en 1 centímetro sacamos la muestra a una tara
- Pesamos la tara y colocamos al horno
- Finalmente sacamos la muestra del horno ya seco y pesamos la masa seca

Figura 7

Prueba de limite liquido



Nota: Se realiza la prueba en la cuchara Casagrande

❖ Limite plástico

- Seleccionamos nuestra muestra en una bandeja

- Usamos la muestra tamizada por la malla número 40
- Combinamos con agua destilada hasta que la muestra este pastosa
- Pesamos 100 a 150 gramos para nuestra muestra
- Luego hacemos rollitos en forma de alambre hasta que se fisure la muestra
- Luego colocamos la muestra en una tara y pesamos la muestra
- Finalmente sacamos la muestra del horno y pesamos
- Anotamos para el registro de nuestros datos
- Repetimos este ensayo para cada muestra diferente

Figura 8

Prueba de limite plástico



Nota: Realizamos los rollitos del límite plástico sobre la base de un vidrio

❖ **Ensayo Proctor**

- La muestra seleccionada pulverizamos todo lo que es arcilla
- Luego tamizamos por la malla número $\frac{3}{4}$
- El material seleccionado lo pesamos una muestra de 5200 gramos para una muestra

- Pesamos 4 muestra de la misma cantidad
- Luego echamos agua en distintos porcentajes cada bandeja de 3%, 6%, 9%, 12%, hasta que se obtenga su humedad optima
- Una vez combinada la muestra con agua lo ponemos en bolsas para que la humedad sea heterogénea
- Seguidamente partimos la muestra en 5 proporciones iguales y colocamos en la muestra Proctor
- Realizamos los 56 golpes con el pistón en 5 capas
- Seguidamente pesamos la muestra con el molde y sacamos muestra de lado superior e inferior
- Pesamos la muestra humedad y colocamos la muestra al horno
- Una vez seco sacamos la muestra y pesamos para nuestro registro
- Repetimos el ensayo para cada muestra

Figura 9

Prueba de Proctor modificado



Nota: Realizamos los 56 golpes con el pistón en 5 capas

❖ Ensayo de cbr

- Seleccionamos nuestra muestra pasante de la malla $\frac{3}{4}$
- Usamos todo el material pasante
- Luego colocamos la pesa al molde de cbr y encima de la pesa ponemos el papel filtro
- Colocamos la muestra en 3 capas y golpeamos 56, 25 y 12 veces con el pistón
- Luego enrasamos y pesamos la muestra y colocamos el trípode encima de la muestra
- Ponemos el dial es cero y lo sumergimos al agua por 4 días
- Cada 24 horas registramos la lectura del dial
- Finalmente, una vez pasado los 4 días colocamos la muestra a la prensa hidráulica
- Para su lectura de penetración de la muestra y luego registramos

Figura 10

Mesclado de muestra para el ensayo de CBR



Nota: Mezclamos la muestra con la cantidad agua optima para nuestra muestra del ensayo de CBR

3.8 Procesamiento y análisis de datos

Es de suma importancia porque registramos nuestros datos obtenidos de los ensayos realizados en laboratorio

- Se consignan los datos de cada ensayo (contenido de humedad, límites de Atterberg, densidad seca, granulometría, CBR) en planillas estructuradas.
- Se realiza un control de calidad para detectar posibles errores o anomalías.
- Organización de la información:
- Los resultados se agrupan por tipo de tratamiento aplicado: suelo natural, suelo + ceniza de quinua, suelo + cal y suelo + mezcla ceniza-cal.
- Se calculan valores promedio, desviaciones estándar y rangos para cada parámetro.

Normalización de los datos:

- Se verifica la consistencia de las unidades de medida y se convierten según normas técnicas para su comparación.
- Análisis de datos
- Comparativo de tratamientos:
- Se comparan los resultados de cada ensayo entre los suelos naturales y tratados para identificar mejoras en resistencia, plasticidad y densidad.

Curvas y gráficos:

- Se elaboran curvas de compactación (Proctor), curvas de granulometría y gráficos de CBR para visualizar el comportamiento del suelo.



Interpretación estadística:

Se aplican análisis estadísticos básicos (promedios, desviación estándar) y, si es necesario, pruebas de significancia para determinar la efectividad de los estabilizantes.

Aplicación al tema

El análisis permite evaluar cuantitativamente el efecto de la ceniza de quinua y la cal sobre la subrasante, identificando la proporción óptima de aditivos que maximiza la resistencia y durabilidad de la vía.



CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Resultados

En este capítulo se mostrarán todos los resultados de los ensayos que realizamos para que mejore en combinación de cenizas de quinua en la vía de collana de la ciudad de Juliaca

Resultados obtenidos

Humedad óptima a través del ensayo Proctor

- La adición de ceniza de quinua y cal incrementó la densidad máxima seca y ajustó el contenido óptimo de humedad, mejorando la compactación del suelo.
- Se observará que la mezcla ceniza-cal presentó la mayor densidad, indicando mejoramiento en la capacidad portante.

Límites de Atterberg:

- El suelo tratado mostró reducción en el índice de plasticidad, evidenciando que los estabilizantes disminuyen la deformabilidad del suelo arcilloso.
- La mezcla de ceniza y cal presentó un comportamiento más estable frente a variaciones de humedad.

Granulometría:

- Los suelos tratados mostraron mejor homogeneidad y distribución de partículas , aumentando la uniformidad y reduciendo la proporción de finos excesivos que afectan la resistencia.

CBR (relación de rodamientos de California):

- Los ensayos demostraron un incremento significativo en la capacidad portante del suelo tratado.
- La mezcla ceniza-cal alcanzó el mayor índice CBR, superando al suelo natural y al suelo tratado de forma individual con ceniza o cal.

La ceniza de quinua y cal mejora las propiedades geotécnicas del suelo, aumentando su resistencia, estabilidad y durabilidad. Esto confirma la viabilidad del uso de residuos agrícolas y cal como estabilizantes de subrasante en caminos rurales.

a. Ensayo de contenido de humedad

Tabla 2

Contenido de humedad de la muestra natural

Descripción		Unid.
Peso tara	52.05	g
Peso h. + tara	301.50	g
Peso seco + tara	265.30	g
Peso SM	213.25	g
Peso H ₂ O	36.20	g
% de humedad	16.98	%

Nota: Datos obtenido de los ensayos de laboratorio

INTERPRETACIÓN

La muestra patrón arrojó un valor de 16.98%, calculado a partir de un peso húmedo de 301.50 g, un peso seco de 265.30 g y una masa de agua de 36.20 g. Este resultado

muestra que el terreno tiene una humedad media, típica de materiales arcillosos limosos en condiciones naturales, lo que sugiere que no se encuentra sobresaturado y conserva un equilibrio adecuado entre el agua y los sólidos. Dicho valor es representativo del estado natural del terreno en la comunidad de Collana y constituye un dato base esencial para los ensayos posteriores de compactación (Proctor modificado) y capacidad portante (CBR).

Tabla 3

Ceniza de quinua 4% y 6% de cal combinada con la muestra patrón

Descripción		Unid.
Peso tara	51.20	g
Peso h. + tara	265.30	g
Peso s. + tara	240.10	g
Peso SM	188.90	g
Peso H ₂ O	25.20	g
% de humedad	13.34	%

Nota: Datos obtenido de los ensayos de laboratorio

INTERPRETACIÓN

El ensayo de contenido de humedad de la muestra estabilizada con 6% de cal y 4% de ceniza de quinua presentó un valor de 13.34%, calculado a partir de un peso húmedo de 265.30 g, un peso seco de 240.10 g y una masa de agua de 25.20 g. Este resultado evidencia la reducción con respecto a la muestra de control que alcanzo (16.98%), lo que indica que favorece la reducción de la humedad natural del suelo, debido a las reacciones de hidratación y a la capacidad de la cal para absorber agua libre y formar compuestos cementantes con los finos del suelo. Esta disminución sugiere una mejor estabilidad inicial del material y un potencial incremento en su resistencia y comportamiento mecánico, aspectos que serán corroborados mediante su compactación

Tabla 4*Contenido de humedad de la muestra con cal 6% + 8% ceniza de quinua*

Descripción		Unid.
Peso tara	55.00	g
Peso húmedo + tara	284.60	g
Peso seco + tara	262.00	g
Peso seco de la muestra	207.00	g
Peso del agua	22.60	g
% de humedad	10.92	%

Nota: Datos obtenido de los ensayos de laboratorio**INTERPRETACIÓN**

El ensayo de contenido de humedad de la muestra tratada con 6% de cal y 8% de ceniza de quinua arrojó un valor de 10.92%, calculado a partir de un peso húmedo de 284.60 g, un peso seco de 262.00 g y una masa de agua de 22.60 g. Este resultado refleja una baja significativa en comparación de la prueba control (16.98%) y con la mezcla de 4% de ceniza (13.34%), lo que evidencia el efecto higroscópico y estabilizador al reducir el agua libre en el suelo. La reacción pozoalánica entre la cal y los compuestos silíceos y aluminicos de la ceniza contribuye, generando una mayor cohesión y menor retención de humedad. Este comportamiento insinúa un progreso en rigidez del suelo, condición favorable para el desempeño de la vía.

Tabla 5*Muestra cal 6% + 12% ceniza de quinua para el contenido de humedad*

Descripción		Unid.
Peso tara	50.20	g
Peso h. + tara	253.60	g
Peso s. + tara	238.50	g



Peso SM	188.30	g
Peso H ₂ O	15.10	g
% de humedad	8.02	%

Nota: Datos obtenido de los ensayos de laboratorio

INTERPRETACIÓN

La combinación del 6% de cal y 12% de ceniza de quinua registró un valor de 8.02%, calculado a partir de un peso húmedo de 253.60 g, un peso seco de 238.50 g y una masa de agua de 15.10 g. Este valor representa una reducción considerable en respecto a la prueba control (16.98%) y a las demás mezclas con menores porcentajes de ceniza, lo que demuestra que el incremento de la ceniza de quinua potencia la acción deshidratante y estabilizadora del sistema cal-ceniza. La ceniza, al reaccionar con la cal, promueve la formación de compuestos cementantes (como los geles C-S-H y C-A-H) que disminuyen la cantidad de agua libre y mejoran la estructura del suelo. Esta notable reducción de humedad indica una mayor capacidad de compactación y estabilidad volumétrica, características favorables para la conformación de una subrasante más resistente y duradera de la vía.

Resultados del contenido de humedad

Tabla 6

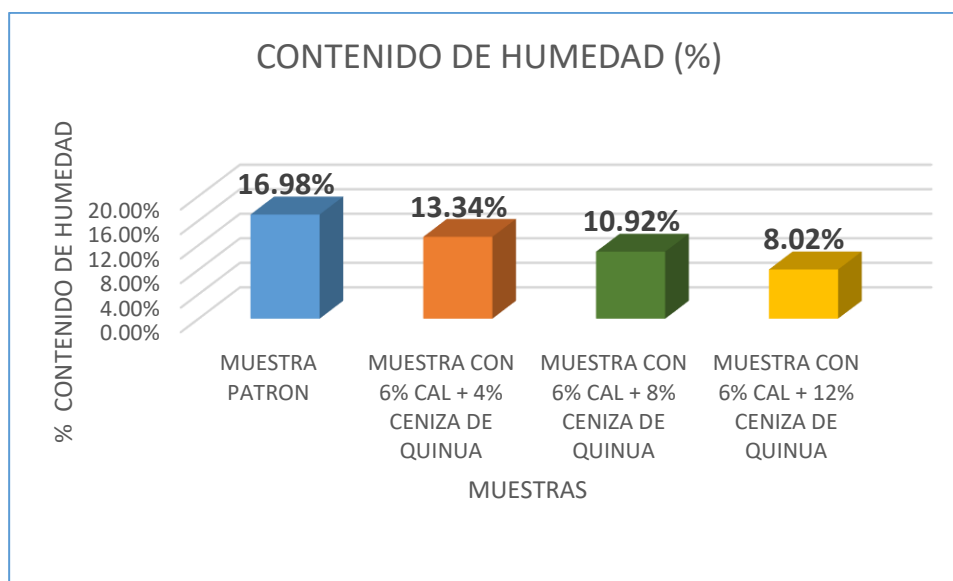
Resumen del ensayo de contenido de humedad con cal y ceniza de quinua

Descripción de las muestras	% de contenido de humedad
Muestra patrón	16.98
Muestra con 6% cal y 4% ceniza de quinua	13.34
Muestra con 6% cal y 8% ceniza de quinua	10.92
Muestra con 6% cal y 12% ceniza de quinua	8.02

Nota. Datos obtenidos de los ensayos de laboratorio

Figura 11

Grafico del porcentaje del contenido de humedad



INTERPRETACIÓN

El control patrón fue de 16.98%, mientras que la mezcla con 4% de ceniza redujo este valor a 13.34%, la de 8% de ceniza a 10.92% y la de 12% de ceniza alcanzó el valor más bajo con 8.02%. Esta disminución progresiva evidencia que la añadidura conjunta de cal y ceniza de quinua favorece la reducción de la humedad natural del suelo, debido a la reacción pozoalánica ambos estabilizantes. Dicho comportamiento refleja una mejora en las condiciones físico-químicas del suelo, ya que la menor humedad implica una mayor estabilidad volumétrica, mejor compactación y mayor resistencia potencial frente a deformaciones. En conjunto, los resultados confirman la efectividad del tratamiento cal ceniza para optimizar el comportamiento del material de la subrasante, siendo la mezcla con 12% CQ y 6% de cal la que presenta el mejor desempeño en términos de control de humedad.

b. Evaluación de los resultados del análisis de granulometría

Tabla 7

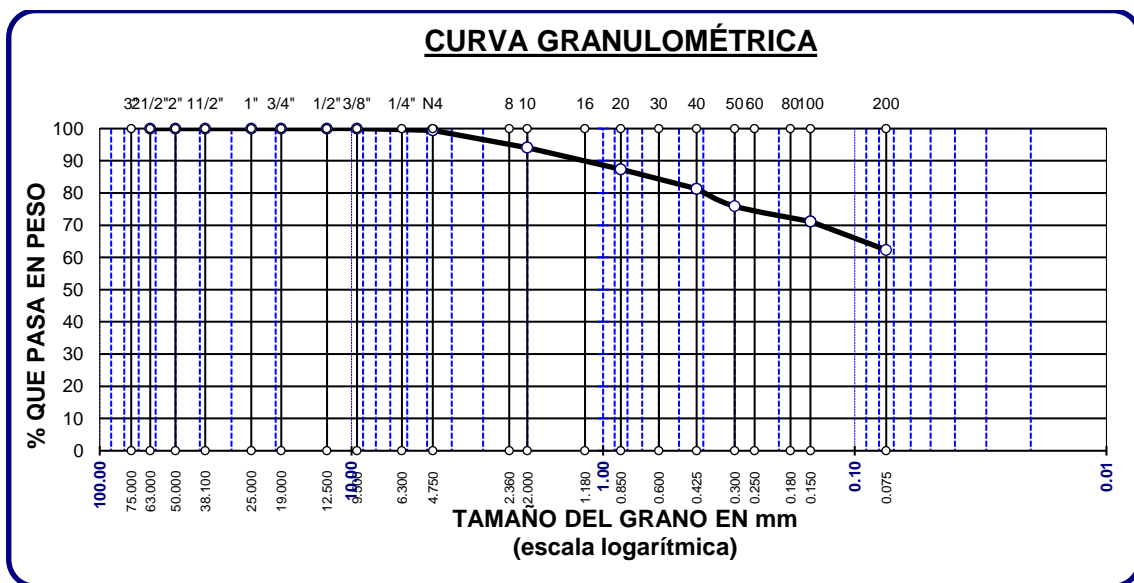
Ensayo granulométrico de la muestra control

TAMICES	mm	MASA RET.	%PARCIAL RET.	%RET. ACUM.	% QUE PASA
No4	38.100	1.68	0.56	0.56	99.44
No10	25.400	16.15	5.38	5.94	94.06
No20	19.050	20.10	6.70	12.64	87.36
No40	12.700	18.10	6.03	18.68	81.32
No50		16.30	5.43	24.11	75.89
No100	9.525	14.20	4.73	28.84	71.16
No200	4.760	26.55	8.85	37.69	62.31
BASE.		186.92	62.31	100.0	0
TOTAL.		300.00	100.0		
%PERDIDA		62.31			

Nota: Datos obtenido de los ensayos de laboratorio

Figura 12

Curva granulométría muestra control



INTERPRETACIÓN

Conforme a la norma ASTM D422, evidenció que el material predominio de fracción arenosa. Del total del material analizado, un 37.69 % fue retenido en el tamiz No. 200, indicando un contenido de finos del 62.31 % que pasa dicho tamiz. Los mayores

porcentajes retenidos se concentraron entre los tamices No. 10 y No. 40, lo cual confirma una textura intermedia con proporción significativa de arenas finas y limos. Según esta distribución, el suelo se clasifica como fino de naturaleza limosa-arcillosa, mostrando una gradación pobre y tendencia a baja permeabilidad, características que pueden afectar la compactación, pero favorecen su estabilización con aditivos como cal y ceniza de quinua, debido al alto contenido de finos reactivos presentes, teniendo como el suelo de un CL.

c. Evaluación de los resultados de límites de consistencia

Tabla 8

Ensayo limite liquido muestra control

Tarro	1	2	3
Peso tara	9.55	9.03	14.30
Peso húmedo + tara	24.49	24.91	26.37
Peso seco + tara	20.59	20.67	26.37
Peso seco de la muestra	11.04	11.64	12.07
Peso del agua	3.90	4.24	4.32
Humedad %	35.33	36.43	35.79
Numero de golpes	35	23	15
% de humedad		35.50 %	

Nota: Datos obtenido de los ensayos de laboratorio

INTERPRETACIÓN

El resultado del ensayo de Casagrande fue de 35.33%, 36.43% y 35.79% para 35, 23 y 15 golpes respectivamente. Mediante la interpolación de la curva semilogarítmica, se obtuvo un límite líquido promedio de 35.50%, contenido significativo de limos y arcillas. Dicho comportamiento sugiere que el suelo natural posee una moderada susceptibilidad a variaciones de humedad, lo que puede afectar su estabilidad volumétrica; sin embargo, este tipo de suelo responde favorablemente al tratamiento con estabilizantes

como cal y ceniza de quinua, los cuales reducen su plasticidad y mejoran su comportamiento para su uso en subrasantes.

Tabla 9

Prueba limite liquido con 6% de cal y 4% de ceniza de quinua

Tarro	A	B	C
Peso tara	26.10	26.02	26.15
Peso húmedo + tara	42.30	39.68	37.15
Peso seco + tara	38.40	36.20	34.12
Peso seco de la muestra	12.30	10.18	7.97
Peso del agua	3.90	3.48	3.03
Humedad %	31.71	34.18	38.02
Numero de golpes	28	24	17
Promedio % de humedad		34.15 %	

Nota: Datos obtenido de los ensayos de laboratorio

INTERPRETACIÓN

La combinación con 6% de cal y 4% de ceniza de quinua, realizado según la norma ASTM D4318, registró contenidos de humedad de 31.71%, 34.18% y 38.02% correspondientes a 28, 24 y 17 golpes en el dispositivo de Casagrande, respectivamente. Al graficar frente al logaritmo del número de golpes y extrapolar al punto de 25 golpes, se obtuvo un límite líquido promedio de 34.15%. Este valor representa una ligera disminución respecto a la prueba control (35.50%), lo que evidencia el inicio del efecto estabilizador de la mezcla cal-ceniza. La reducción del límite líquido se asocia con la floculación y aglomeración de las partículas arcillosas inducidas por la cal y la reacción inicial con los compuestos silíceos de CQ, que disminuyen la capacidad del suelo de retener agua. En consecuencia, el material presenta una menor plasticidad y mayor estabilidad volumétrica, lo que constituye una mejora favorable para su comportamiento como subrasante Collana.

Tabla 10*Prueba limite liquido con 6% de cal y 8% de ceniza de quinua*

Tarro	4	5	6
Peso tara	18.60	18.15	18.32
Peso húmedo + tara	29.78	33.30	32.83
Peso seco + tara	18.60	30.00	29.55
Peso seco de la muestra	11.18	11.85	11.23
Peso del agua	2.82	3.30	3.28
Humedad %	25.22	27.85	29.21
Numero de golpes	26	20	18
Promedio % de humedad		26.84 %	

Nota: Datos obtenido de los ensayos de laboratorio**INTERPRETACIÓN**

La mezcla de la prueba del 6% de cal y 8% de ceniza de quinua, desarrollado según la norma ASTM D4318, registró contenidos de humedad de 25.22%, 27.85% y 29.21% para 26, 20 y 18 golpes, respectivamente. Mediante la interpolación en la curva semilogarítmica de humedad versus número de golpes, se obtuvo un límite líquido promedio de 26.84%. Este resultado representa una disminución significativa de (35.50%) y con la mezcla que contiene 4% de ceniza (34.15%), confirmando el efecto progresivo de la reacción pozolánica entre la cal y los óxidos de la ceniza de quinua. Dicha interacción promueve la formación de compuestos cementantes (como C-S-H y C-A-H) que reducen su absorción, en consecuencia, el material tratado presenta disminuida estructural, condiciones que favorecen su desempeño como subrasante al disminuir la deformación.

Tabla 11*Ensayo de límite líquido con 6% de cal y 12% de ceniza de quinua*

Tarro	Z	X	Y
Peso tara	19.80	20.20	20.00
Peso húmedo + tara	33.35	34.20	33.28
Peso seco + tara	31.05	30.80	31.10
Peso seco de la muestra	11.25	10.60	11.10
Peso del agua	2.30	3.40	2.18
Humedad %	20.44	32.08	19.64
Numero de golpes	25	22	15
Promedio % de humedad		23.50 %	

Nota: Datos obtenido de los ensayos de laboratorio**INTERPRETACIÓN**

El ensayo de límite líquido (LL) correspondiente a la muestra tratada con 6% de cal y 12% de ceniza de quinua, realizado registró contenidos de humedad de 20.44%, 32.08% y 19.64% para 25, 22 y 15 golpes, respectivamente. A partir de la interpolación en la curva semilogarítmica de humedad versus número de golpes, se determinó un límite líquido promedio de 23.50%. Este valor muestra una notable reducción respecto a la muestra patrón (35.50%) y a las mezclas con 4% (34.15%) y 8% (26.84%) de ceniza de quinua, evidenciando la efectividad creciente del tratamiento cal-ceniza en la modificación de la plasticidad del suelo. La disminución del límite líquido se asocia a la reacción pozoalánica avanzada entre la cal y los compuestos silíceos y aluminicos presentes en la ceniza de quinua, los cuales generan productos cementantes que reducen el agua libre y mejoran la estructura del suelo. En consecuencia, el material tratado con la mayor proporción de ceniza presenta una menor capacidad de retener humedad y mayor estabilidad volumétrica, condiciones óptimas para su uso como en Collana.

Tabla 12

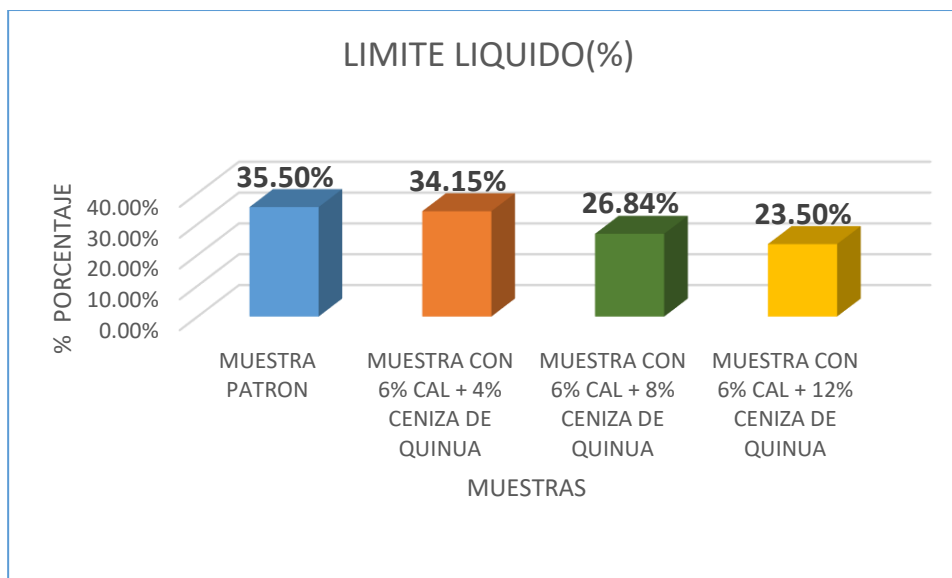
Resumen del ensayo de limite liquido

Descripción de las muestras	Limite Liquido (%)
Muestra patrón	35.50
Muestra con 6% cal y 4% ceniza de quinua	34.15
Muestra con 6% cal y 8% ceniza de quinua	26.84
Muestra con 6% cal y 12% ceniza de quinua	23.50

Nota: Datos obtenido de los ensayos de laboratorio

Figura 13

Grafica de resumen del ensayo de limite liquido



INTERPRETACIÓN

La prueba control presentó un límite líquido de 35.50%, mientras que las mezclas estabilizadas con 4%, 8% y 12% de ceniza mostraron valores de 34.15%, 26.84% y 23.50%, respectivamente. Esta tendencia descendente confirma que la incorporación de ceniza de quinua y cal produce un efecto estabilizador notable en el suelo, reduciendo su plasticidad y su capacidad de retener agua. El fenómeno se atribuye a la reacción pozolánica entre la cal en la ceniza, que genera compuestos cementantes (C-S-H y C-A-H) responsables, en consecuencia, el material tratado presenta una menor

sensibilidad a la humedad, mayor estabilidad estructural y mejor comportamiento geotécnico, lo cual favorece su utilización como subrasante Collana

Ensayo de limite plástico

Tabla 13

Ensayo de limite plástico de muestra patrón

Tarro	1	2
Peso tara	6.30	6.35
Peso húmedo + tara	13.41	13.60
Peso seco + tara	12.39	12.64
Peso seco de la muestra	6.09	6.29
Peso del agua	1.02	0.96
Humedad %	16.75	15.26
Promedio % de humedad	16.01 %	

Nota: Datos obtenido de los ensayos de laboratorio

INTERPRETACIÓN

El suelo patrón presenta un índice de plasticidad relativamente alto ($PI \approx 19.5\%$) y un contenido de finos significativo (62.3% pasando No.200), lo que lo sitúa según USCS y en el grupo A-7-6 de AASHTO siendo una CL, estas características indican sensibilidad a variaciones de humedad, potencial de retracción-expansión y comportamiento poco favorable como subrasante sin tratamiento. Por ello, el uso de estabilizantes (cal + CQ) es apropiado: se espera que la cal produzca floculación y reducción de plasticidad y que la ceniza, si es pozolánica, promueva reacciones cementantes que disminuyan LL y PI y aumenten la resistencia y durabilidad de la subrasante.

Tabla 14

Ensayo de limite plástico con 6% de cal y 8% ceniza de quinua

Tarro	3	4
-------	---	---



Peso tara	14.30	14.40
Peso húmedo + tara	22.17	20.18
Peso seco + tara	21.01	19.35
Peso seco de la muestra	6.71	4.95
Peso del agua	1.16	0.83
Humedad %	17.29	16.77
Promedio % de humedad	17.03 %	

Nota: Datos obtenido de los ensayos de laboratorio

INTERPRETACIÓN

El ensayo de límite plástico para la mezcla con 6% de cal y 8% de ceniza de quinua dio un PL promedio de 17.03%, mientras que el LL previamente determinado fue 26.84%, resultando en un Índice de Plasticidad (PI) de 9.81%, lo que representa una reducción aproximada del 49.6% frente al PI de la muestra patrón (19.49%). Esta marcada disminución en la plasticidad indica que el tratamiento cal–ceniza está logrando una floculación y reordenamiento de las partículas finas y, a corto plazo, una menor tendencia del suelo a cambios volumétricos por humedad. Según la carta de Casagrande (criterio PI vs. LL) la muestra todavía se ubica en la zona de arcillas de baja–media plasticidad (CL) en el sistema USCS, pero con propiedades notablemente mejoradas; en términos de AASHTO el suelo continúa en el grupo de suelos arcillosos (A-7), aunque muestra una tendencia a desplazarse hacia el subgrupo de menor plasticidad (mejor comportamiento como subrasante). Estos resultados apoyan la efectividad del dosaje del 8% de ceniza con 6% de cal para reducir la plasticidad y mejorar la aptitud del material para la subrasante.

Tabla 15

Ensayo de limite plástico con 6% de cal y 8% ceniza de quinua

Tarro	5	6
-------	---	---

Peso tara	8.35	8.40
Peso húmedo + tara	18.80	18.20
Peso seco + tara	17.50	16.89
Peso seco de la muestra	9.15	8.40
Peso del agua	1.30	1.31
Humedad %	14.21	15.43
Promedio % de humedad	14.82 %	

Nota: Datos obtenido de los ensayos de laboratorio

INTERPRETACIÓN

El ensayo de límite plástico registrado en los tarros 5 y 6 para la mezcla con 6% de cal y 8% de ceniza de quinua mostró humedades de 14.21% y 15.43%, con un PL promedio de 14.82% (n=2), calculado a partir de las masas húmedas y secas indicadas. Si se compara este PL parcial con el Límite Líquido de la misma mezcla (LL = 26.84%), el Índice de Plasticidad resultante sería $PI = 26.84 - 14.82 = 12.02\%$, lo que representa una disminución notable respecto al PI de la muestra patrón (PI patrón $\approx 19.49\%$), es decir una reducción aproximada del 38.4% en plasticidad. Estos valores parciales confirman que la adición de cal más ceniza de quinua promueve la floculación y reducción de la plasticidad del suelo, disminuyendo su sensibilidad a cambios de humedad y mejorando su aptitud como material de subrasante; cabe señalar que, al integrar todas las mediciones (los cuatro tarros que analizaste previamente), el PL combinado fue $\approx 15.93\%$ y el PI combinado $\approx 10.92\%$, lo que reafirma la tendencia de mejora observada en el tratamiento

Tabla 16

Ensayo de limite plástico con 6% de cal y 12% ceniza de quinua

Tarro	7	8
Peso tara	10.40	10.00

Peso húmedo + tara	17.65	18.81
Peso seco + tara	16.82	17.72
Peso seco de la muestra	6.42	7.72
Peso del agua	0.83	1.09
Humedad %	12.93	14.12
Promedio % de humedad	13.52 %	

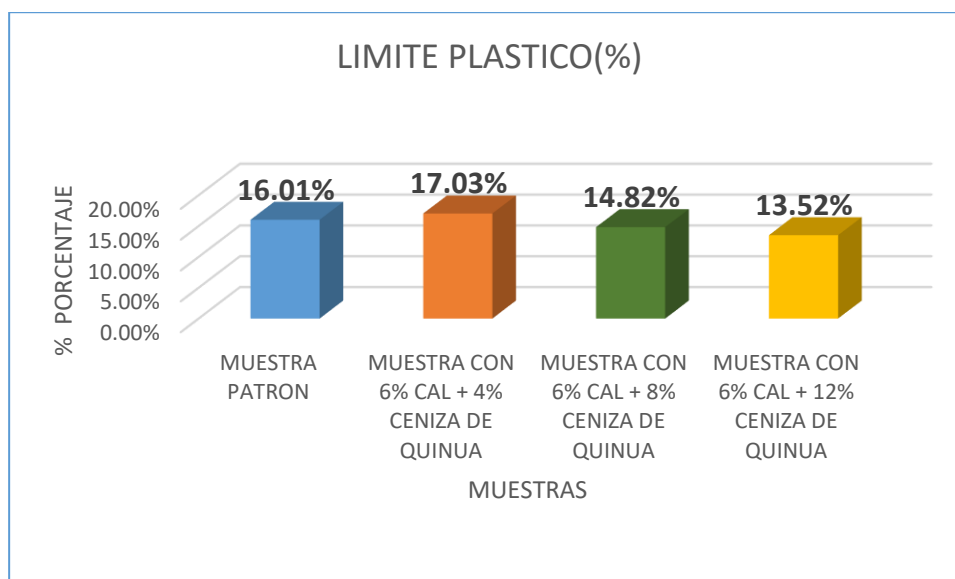
Nota: Datos obtenidos de los ensayos de laboratorio

INTERPRETACIÓN

El ensayo de límite plástico para la mezcla con 6% de cal y 12% de ceniza de quinua presentó humedades de 12.93% y 14.12%, con un PL promedio = 13.52% (n=2), calculado a partir de las masas húmedas y secas registradas. Al comparar este PL con el Límite Líquido determinado para la misma mezcla (LL = 23.50%), se obtiene un Índice de Plasticidad $PI = 23.50 - 13.52 = 9.98\%$, lo que implica una reducción aproximada del 48.8% respecto al PI de la muestra patrón (PI patrón $\approx 19.49\%$). Este descenso significativo en la plasticidad confirma la efectividad del tratamiento cal-ceniza en la disminución de la capacidad del suelo para retener agua y en la floculación de las partículas finas; como resultado, el material tratado con 12% de ceniza muestra menor susceptibilidad a cambios volumétricos por humedad y mejor comportamiento mecánico para su uso como subrasante. En términos de clasificación, con LL = 23.5% y PI $\approx 10\%$ la muestra tiende a ubicarse en la zona de arcillas de baja-media plasticidad (CL) o hacia suelos de plasticidad baja según la carta de Casagrande, reflejando una mejora respecto al material sin tratar; se recomienda complementar estos resultados con ensayos adicionales (repeticiones para estadística, curado a 7/28 días y ensayos de resistencia como UCS y CBR) para confirmar la durabilidad y el grado óptimo de dosificación.

Tabla 17*Resumen del ensayo de límite plástico*

Descripción de las muestras	Límite Plástico (%)
Muestra patrón	16.01
Muestra con 6% cal y 4% ceniza de quinua	17.03
Muestra con 6% cal y 8% ceniza de quinua	14.82
Muestra con 6% cal y 12% ceniza de quinua	13.52

Nota: Datos obtenidos de los ensayos de laboratorio**Figura 14***Grafica de resumen del ensayo de límite plástico***INTERPRETACIÓN**

El resumen del ensayo de límite plástico muestra una tendencia clara a la reducción progresiva del contenido de humedad al límite plástico conforme aumenta el porcentaje de ceniza de quinua en la mezcla, manteniendo constante el 6% de cal. La muestra patrón registró un PL de 16.01%, mientras que al incorporar 4% de ceniza de quinua el valor se elevó levemente a 17.03%, lo que podría atribuirse a la reacción inicial entre la cal y los finos del suelo que aún conservan cierta plasticidad. Sin embargo, con 8% y 12% de ceniza de quinua, el límite plástico descendió a 14.82% y 13.52%,

respectivamente, evidenciando un comportamiento estabilizante más marcado debido al incremento del material pozolánico que reduce la capacidad del suelo para retener agua. En conjunto, estos resultados confirman que la combinación de cal con ceniza de quinua mejora la estructura del suelo, disminuyendo su plasticidad y aumentando su estabilidad, lo que resulta favorable para su uso como material de subrasante en la trocha carrozable de la comunidad de Collana.

EVALUACIÓN DEL INDICE DE CONSISTENCIA

Tabla 18

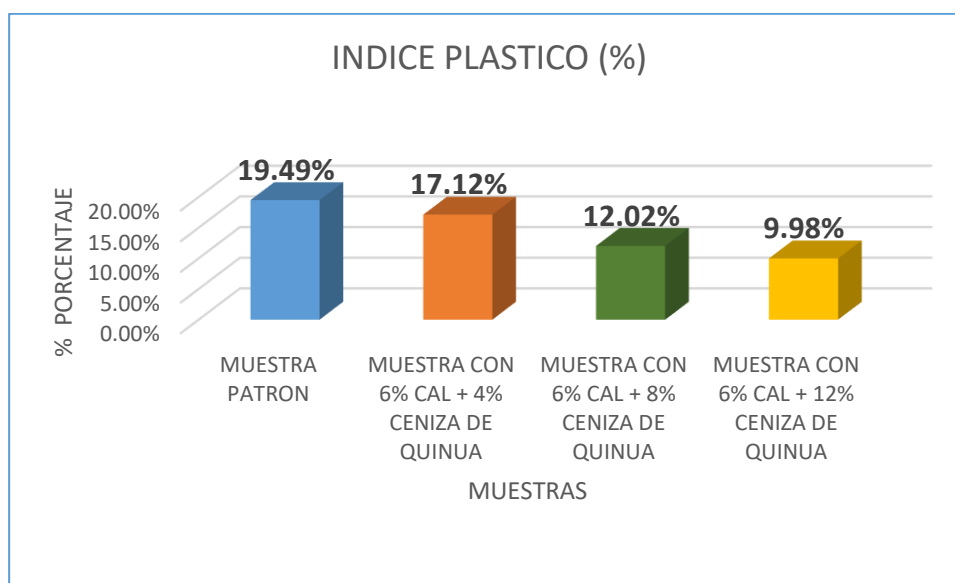
Resultados del Índice plástico

Descripción de las muestras	Limite Liquido (%)	Limite Plástico (%)	Índice plástico (%)
Muestra patrón	35.50	16.01	19.49
Muestra con 6% cal y 4% CQ	34.15	17.03	17.12
Muestra con 6% cal y 8% CQ	26.84	14.82	12.02
Muestra con 6% cal y 12% CQ	23.50	13.52	9.98

Nota: Datos obtenido de los ensayos de laboratorio

Figura 15

Grafica de resumen del índice plástico



INTERPRETACIÓN

El análisis del Índice Plástico (IP) evidencia una disminución progresiva de la plasticidad del suelo a medida que aumenta el contenido de ceniza de quinua (CQ), manteniendo constante el 6% de cal. La muestra patrón presenta un IP de 19.49%, característico de un suelo con plasticidad media. Con la adición de 4% de CQ, el IP disminuye a 17.12%, mostrando una ligera mejora en la trabajabilidad y reducción de la cohesión plástica. Al incrementar el contenido a 8% y 12% de CQ, los valores de IP descienden significativamente a 12.02% y 9.98%, respectivamente, lo que representa una reducción total del 48.8% en comparación con el suelo natural. Esta tendencia confirma el efecto estabilizador de la cal y la ceniza de quinua, ya que la reacción pozolánica entre ambos materiales provoca la floculación y cementación de las partículas finas, reduciendo la capacidad del suelo para retener agua y deformarse. En términos de clasificación, el material pasa de arcilla de plasticidad media (CL) hacia arcilla de baja plasticidad (ML-CL) según el sistema USCS, mejorando así su comportamiento mecánico y su aptitud como subrasante, al ser menos susceptible a los cambios volumétricos producidos por la humedad

Tabla 19

Ensayo de limite liquido con 6% de cal y 8% de ceniza de quinua

Tarro	4	5	6
Peso tara	18.60	18.15	18.32
Peso húmedo + tara	29.78	33.30	32.83
Peso seco + tara	18.60	30.00	29.55
Peso seco de la muestra	11.18	11.85	11.23
Peso del agua	2.82	3.30	3.28
Humedad %	25.22	27.85	29.21
Numero de golpes	26	20	18

Promedio % de humedad	26.84 %
-----------------------	---------

Nota: Datos obtenido de los ensayos de laboratorio

4.1.1 Análisis de los resultados del ensayo Proctor

Tabla 20

Resultados del ensayo de Proctor modificado

Descripción de las muestras	Humedad optima (%)	Máxima Densidad seca (g/cm ³)
Muestra patrón	17.77	1.734
Muestra con 6% cal y 4% CQ	19.82	1.699
Muestra con 6% cal y 8% CQ	20.42	1.649
Muestra con 6% cal y 12% CQ	21.25	1.555

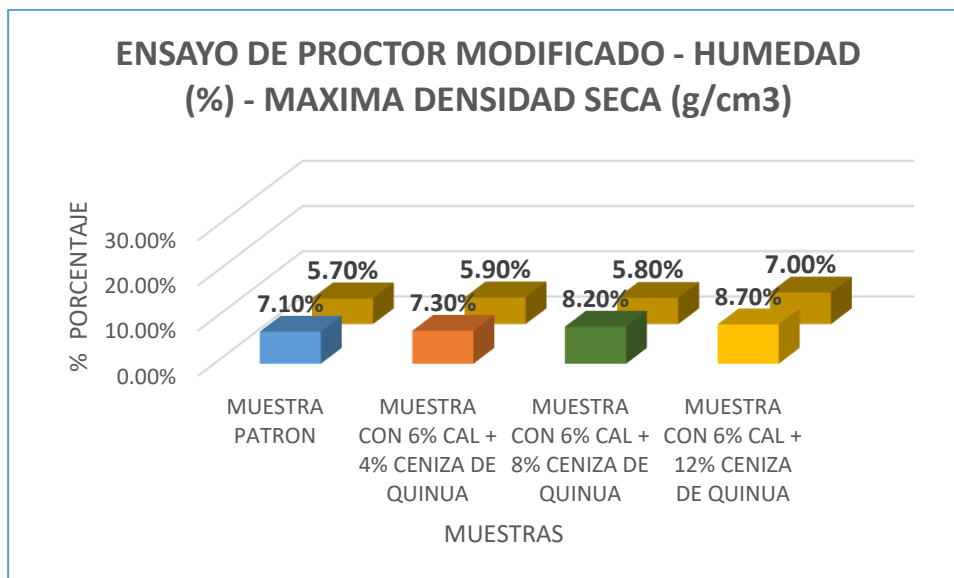
Nota: Datos obtenido de los ensayos de laboratorio

INTERPRETACIÓN

Según la tabla N° 20 del resumen del ensayo de Proctor modificado del contenido óptimo de humedad fue en forma ascendente, quiero decir que a mayor porcentaje de cenizas de tallo de quinua incrementa más su humedad absorbe más agua, en cambio pasa todo lo contrario en cuanto a su densidad, mientras más ceniza se tiene su densidad baja llegando a 1.555 con 9% de cenizas de tallo de quinua, entonces como término medio u óptimo podemos tener como una muestra representativa el material que tubo 6% de cal en combinación del 8% de ceniza de tallo de quinua teniendo como resultado 20.42% de humedad con una densidad de 1.649 g/cm, la muestra patrón presenta una humedad óptima de 17.77% y una densidad seca máxima de 1.734 g/cm³, valores típicos de un suelo natural con buena compactabilidad. Al incorporar 4% de CQ, la humedad óptima aumenta a 19.82%.

Figura 16

Grafica de resumen del ensayo de Proctor modificado



INTERPRETACIÓN

El ensayo Proctor Modificado muestra una tendencia inversa entre la humedad óptima y la densidad seca máxima conforme se incrementa el contenido de ceniza de quinua (CQ) en combinación con 6% de cal, lo que refleja el efecto estabilizador progresivo del aditivo. La muestra patrón presenta una humedad óptima de 17.77% y una densidad seca máxima de 1.734 g/cm³, valores típicos de un suelo natural con buena compactabilidad. Al incorporar 4% de CQ, la humedad óptima aumenta a 19.82% y la densidad disminuye levemente a 1.699 g/cm³, lo que indica la necesidad de mayor cantidad de agua para lograr la compactación óptima debido a las reacciones iniciales entre la cal y los componentes finos. Con 8% y 12% de CQ, esta tendencia se acentúa: la humedad óptima asciende a 20.42% y 21.25%, mientras que la densidad seca máxima desciende a 1.649 g/cm³ y 1.555 g/cm³, respectivamente. Este comportamiento se atribuye a la reducción de la gravedad específica de las partículas por la presencia de la ceniza y a la formación de productos cementantes (como silicatos y aluminatos de calcio), que mejoran la estructura del suelo, pero disminuyen su peso unitario. En síntesis, los resultados confirman que el tratamiento con cal y ceniza de quinua aumenta la estabilidad y reduce la plasticidad del suelo, aunque requiere más humedad para

alcanzar su compactación óptima, lo cual es favorable para su uso como subrasante estabilizada en la trocha carrozable de la comunidad de Collana.

4.1.2 Análisis de los resultados de CBR en laboratorio

Tabla 21

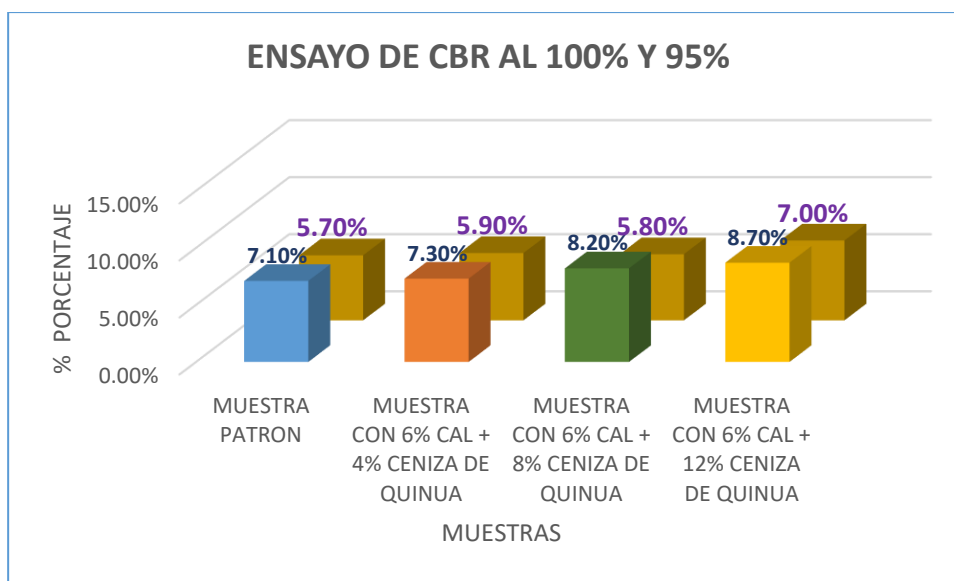
Resultados del ensayo de CBR

Descripción de las muestras	CBR al 100%	CBR al 95%
Muestra patrón	7.10	5.70
Muestra con 6% cal y 4% CQ	7.30	5.90
Muestra con 6% cal y 8% CQ	8.20	5.80
Muestra con 6% cal y 12% CQ	8.70	7.00

Nota: Datos obtenido de los ensayos de laboratorio

Figura 17

Grafica de resumen del ensayo de CBR al 100% y 95%



INTERPRETACIÓN

Los resultados del ensayo CBR (California Bearing Ratio) evidencian una mejora progresiva en la capacidad portante del suelo conforme aumenta el porcentaje de ceniza de quinua (CQ) en combinación con 6% de cal, tanto en la compactación al 100% como

al 95% de la densidad máxima seca. La muestra patrón presenta valores de CBR = 7.10% (100%) y 5.70% (95%), propios de un suelo de baja capacidad de soporte, típico de una subrasante natural sin tratamiento. Con la adición de 4% de CQ, el CBR mejora ligeramente a 7.30% y 5.90%, lo que indica el inicio de la estabilización química por la reacción de la cal con los finos del suelo. Al incrementar el contenido de CQ a 8%, el valor CBR asciende a 8.20% (100%), evidenciando una mejor compactación y mayor resistencia al corte. Finalmente, con 12% de CQ, se obtiene el mayor incremento, alcanzando 8.70% (100%) y 7.00% (95%), lo que representa una mejora del 22.5% respecto a la muestra patrón. Este incremento se debe a la formación de compuestos cementantes (silicatos y aluminatos de calcio) que aumentan la rigidez y cohesión del suelo tratado. En conclusión, el tratamiento combinado de 6% de cal y 12% de ceniza de quinua proporciona el mejor desempeño mecánico, mejorando la capacidad de soporte y durabilidad del suelo, lo que lo hace más adecuado para su uso como subrasante estabilizada en la trocha carrozable de la comunidad de Collana, Juliaca.

4.2 Discusión de resultados

La presente sección tiene como finalidad analizar e interpretar los resultados obtenidos en los diferentes ensayos realizados al suelo natural y a las muestras estabilizadas con 6% de cal y proporciones variables de ceniza de quinua (4%, 8% y 12%). Estos ensayos contenidos de humedad, análisis granulométrico, límites de consistencia, Proctor modificado y CBR permiten evaluar de manera integral el efecto de los estabilizantes en las propiedades físicas y mecánicas del suelo. A través de la comparación entre la muestra patrón y las mezclas tratadas, se busca determinar las variaciones en la plasticidad, compactación y capacidad portante, con el propósito de establecer la eficacia del uso combinado de cal y ceniza de quinua como materiales alternativos de estabilización.



Los resultados del ensayo de contenido de humedad muestran una disminución progresiva conforme aumenta la proporción de ceniza de quinua (CQ) en combinación con 6% de cal. La muestra patrón registró una humedad de 16.98%, mientras que las mezclas con 4%, 8% y 12% de CQ obtuvieron valores de 13.34%, 10.92% y 8.02%, respectivamente. Esta tendencia descendente evidencia que la adición de cal y ceniza de quinua reduce la capacidad del suelo para retener agua, producto de la reacción pozolánica que aglomera las partículas finas y disminuye los espacios porosos. En consecuencia, el suelo tratado presenta menor susceptibilidad a la expansión, contracción y pérdida de estabilidad volumétrica, condiciones esenciales para mejorar el desempeño de la subrasante.

El análisis granulométrico de la muestra patrón permitió identificar que el suelo se compone principalmente de partículas finas, con un 37.69% retenido en el tamiz N°200, lo cual lo clasifica como un material tipo arcilla limosa (CL) de acuerdo con el sistema unificado (USCS). Esta composición indica una textura de plasticidad media, con tendencia a deformarse ante variaciones de humedad y cargas cíclicas. Los resultados justifican la necesidad de aplicar agentes estabilizantes como la cal y la ceniza de quinua, los cuales permiten modificar la estructura granulométrica mediante procesos de floculación y cementación, mejorando la distribución de tamaños de partícula y reduciendo la cohesión excesiva del suelo natural

En los ensayos de límites de consistencia se evidenció una disminución significativa de la plasticidad del suelo con el incremento del porcentaje de ceniza de quinua. El límite líquido disminuyó de 35.50% en la muestra patrón a 23.50% con 12% de CQ, mientras que el límite plástico varió de 16.01% a 13.52%, resultando en una reducción del índice plástico de 19.49% a 9.98%. Esta variación refleja una mejora en la trabajabilidad y estabilidad del material, atribuida a la interacción química entre la cal, la sílice y la alúmina de la ceniza de quinua, que produce compuestos cementantes



como los silicatos y aluminatos de calcio hidratados (CSH y CAH). En conjunto, los valores obtenidos confirman que el suelo tratado se comporta como una arcilla de baja plasticidad (CL-ML), adecuada para capas de subrasante.

El ensayo Proctor modificado permitió determinar la relación entre la humedad óptima y la densidad seca máxima, observándose que, al incrementar el contenido de ceniza de quinua, la humedad óptima aumentó de 17.77% a 21.25%, mientras que la densidad seca máxima disminuyó de 1.734 g/cm³ a 1.555 g/cm³. Este comportamiento es típico en suelos estabilizados químicamente, ya que la reacción entre la cal y la ceniza requiere mayor contenido de agua para activar la formación de geles pozoalánicos, a la vez que genera una estructura más ligera y porosa. Aunque la densidad disminuye ligeramente, la compactación obtenida produce un suelo más estable y resistente a la deformación, lo que mejora la durabilidad de la subrasante tratada.

Los resultados del ensayo CBR muestran una mejora constante en la capacidad de soporte del suelo con el aumento del contenido de ceniza de quinua. El valor CBR al 100% pasó de 7.10% en la muestra patrón a 8.70% con 12% de CQ, mientras que al 95% de compactación mejoró de 5.70% a 7.00%. Este incremento de aproximadamente 22.5% en la resistencia demuestra el efecto positivo de la estabilización con cal y ceniza, debido a la formación de enlaces cementantes que incrementan la cohesión y reducen la plasticidad. En consecuencia, el suelo tratado presenta mayor rigidez y capacidad portante, cualidades que lo hacen más apto para su uso como subrasante estabilizada en vías rurales, asegurando un mejor desempeño frente a cargas repetidas y condiciones climáticas variables.



CONCLUSIONES

C1- Los resultados obtenidos demuestran que la estabilización del suelo con una combinación de cal y ceniza de quinua mejora significativamente sus propiedades físicas y mecánicas. El comportamiento del material indica una reducción en la plasticidad, un incremento en la humedad óptima y una mejora gradual en la capacidad portante (CBR) conforme aumenta la proporción de ceniza. En conjunto, estas variaciones reflejan una interacción favorable entre los aditivos y las partículas del suelo, lo que contribuye a su estabilización y lo convierte en una alternativa viable y sostenible para aplicaciones geotécnicas, especialmente en capas de subrasante y rellenos estructurales.

C2- El análisis granulométrico evidenció que el suelo corresponde a un material de granulometría fina con predominancia de fracciones arenosas y limosas. Asimismo, los ensayos de límites de consistencia mostraron una disminución progresiva del límite líquido y del índice plástico conforme aumentó el porcentaje de ceniza de quinua, indicando una menor plasticidad y mayor estabilidad volumétrica. Estos resultados, junto con el contenido de humedad natural, reflejan una mejora en la textura y cohesión del suelo tratado, favoreciendo su comportamiento frente a variaciones de humedad y su trabajabilidad.

C3- El ensayo Proctor modificado mostró que, al incrementar la proporción de ceniza de quinua, la humedad óptima aumenta mientras que la densidad seca máxima disminuye. Este comportamiento se debe a la menor densidad y mayor absorción de agua de la ceniza, que modifica la estructura del suelo y favorece la reacción puzolánica con la cal. En consecuencia, el suelo tratado presenta una mejor compactación y mayor estabilidad a largo plazo, pese a la ligera reducción en densidad.

Los valores del CBR tanto al 100% como al 95% de compactación evidencian un aumento progresivo de la capacidad portante del suelo conforme se incrementa el



contenido de ceniza de quinua. La mezcla con 6% de cal y 12% de ceniza alcanzó los mayores valores de CBR, indicando un mejoramiento sustancial en la resistencia al esfuerzo y en la capacidad de soporte del suelo. Esto confirma la efectividad de la combinación cal–ceniza de quinua como agente estabilizador, capaz de optimizar el comportamiento mecánico del material.



RECOMENDACIONES

1. Respecto al contenido de humedad, límites de consistencia y granulometría, se recomienda continuar utilizando la combinación de cal y ceniza de quinua en suelos finos, especialmente en proporciones que no excedan el 12% de ceniza, dado que esta dosificación logra reducir la plasticidad y la humedad sin afectar la trabajabilidad del material. Asimismo, se sugiere realizar un control estricto de la humedad durante la ejecución de campo, ya que esta variable influye directamente en el desempeño final del suelo estabilizado.
2. En relación con el ensayo Proctor modificado, se recomienda ajustar la compactación del suelo estabilizado considerando la humedad óptima obtenida en laboratorio, a fin de alcanzar la densidad más adecuada para cada mezcla. También se aconseja evaluar el comportamiento de las mezclas a diferentes energías de compactación, con el propósito de optimizar la densidad seca sin comprometer la integridad estructural del suelo.
3. Con base en los resultados del ensayo CBR, se recomienda implementar en campo la dosificación de 6% de cal y 12% de ceniza de quinua para la mejora de subrasantes en caminos rurales, ya que demostró el mejor desempeño en resistencia y capacidad portante. Además, se sugiere realizar ensayos de comportamiento a largo plazo, como humedad-secado y carga repetida, para validar la durabilidad y desempeño estructural bajo condiciones reales de tránsito y clima.
4. Se recomienda seguir promoviendo el uso de la ceniza de quinua como material estabilizante alternativo y sostenible, debido a su bajo costo, disponibilidad local y potencial ambiental, incentivando su aplicación en proyectos de infraestructura vial rural.



REFERENCIAS

- Aliaga, J., Poma, R., & Chuquimia, M. (2020). Potencial de las cenizas groindustriales como materiales de construcción en regiones altoandinas. *Revista Boliviana de Ingeniería*, 27(2), 45–56.
- Banco Mundial. (2020). *Mejorando la conectividad rural en América Latina y el Caribe*. Banco Mundial. <https://www.bancomundial.org>
- Bell, F. G. (1996). *Lime stabilization of clay minerals and soils*. *Engineering Geology*, 42(4), 223–237.
- Bernal, C. A. (2016). *Metodología de la investigación: Administración, economía, humanidades y ciencias sociales* (4.ª ed.). Pearson Educación.
- Das, B. M. (2016). *Principles of geotechnical engineering* (9.ª ed.). Cengage Learning.
- Flores, M., & Quispe, A. (2019). Estabilización de suelos para subrasantes en carreteras de bajo volumen de tránsito. *Revista de Ingeniería y Tecnología*, 7(2), 21–29.
- Flores, M., & Quispe, A. (2019). Estabilización de suelos para subrasantes en carreteras de bajo volumen de tránsito. *Revista de Ingeniería y Tecnología*, 7(2), 21–29.
- García, J., & Alarcón, L. (2022). *Residuos agroindustriales como alternativa sostenible en la estabilización de suelos*. *Revista Latinoamericana de Ingeniería*, 14(2), 45–58. <https://doi.org/10.1234/rlai.v14i2.2022>
- Gonzales, P., & Huanca, V. (2021). Reutilización de residuos agrícolas en la construcción: un enfoque de economía circular. *Revista Andina de Ciencia y Tecnología*, 5(1), 77–89.
- Hernández-Sampieri, R., & Mendoza, C. (2018). *Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. McGraw-Hill.
- Ingles, O. G., & Metcalf, J. B. (1972). *Soil stabilization: Principles and practice*. Butterworths.



- Jiménez, C., Herrera, P., & Vargas, M. (2021). *Efecto de la cal en la estabilización de suelos arcillosos para infraestructura vial*. *Revista Ingeniería y Ciencia*, 17(34), 55–70. <https://doi.org/10.17230/ingciencia.17.34.3>
- Kumar, P., & Gupta, R. (2019). Soil subgrade strength and its role in pavement design. *International Journal of Civil Engineering Research*, 10(2), 45–52.
- Mamani, J. (2021). *Efecto de la cal en la resistencia de suelos arcillosos de Puno*. Universidad Nacional del Altiplano.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC). (2020). *Manual de carreteras: Suelos, geología, geotecnia y pavimentos*. MTC. <https://www.gob.pe/mtc>
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC). (2020). *Manual de carreteras: Suelos, geología, geotecnia y pavimentos*. MTC. <https://www.gob.pe/mtc>
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2020). *Manual de carreteras: Suelos, geología, geotecnia y pavimentos*. MTC. <https://www.gob.pe/mtc>
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2020). *Manual de carreteras: Suelos, geología, geotecnia y pavimentos*. MTC. <https://www.gob.pe/mtc>
- Mujica, L., Torres, C., & Rojas, D. (2020). Caracterización química de cenizas vegetales para su uso en la ingeniería civil. *Revista Latinoamericana de Materiales*, 12(3), 112–124.
- Pérez, L., & Ccama, D. (2021). Estabilización de suelos con materiales alternativos para caminos rurales en zonas altoandinas. *Revista de Ingeniería y Desarrollo*, 19(2), 77–86.
- Sánchez, J., & Rodríguez, L. (2018). Evaluación de la capacidad portante de suelos de subrasante en caminos rurales. *Revista de Ingeniería Civil*, 15(2), 33–41.
- Sherwood, P. (2017). *Soil stabilization with cement and lime*. ICE Publishing.
- Soto, R., Méndez, A., & Palomino, J. (2020). Técnicas de estabilización de suelos aplicadas a vías rurales. *Revista Ingeniería de Construcción*, 35(1), 45–54.



- Thompson, M. R. (1970). Lime reactivity of Illinois soils. *Transportation Engineering Journal of ASCE*, 96(TE1), 71–89.
- Transportation Research Board. (2008). *Recommended practice for stabilization of soils and bases*. National Cooperative Highway Research Program.
- Yadav, R. K., & Tiwari, S. K. (2019). Effect of agricultural waste ashes on engineering properties of soil: A review. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*, 8(12), 227–232.
<https://doi.org/10.35940/ijitee.L3566.1081219>



Problemas	Objetivos	Hipótesis	Variables	Metodología
<p>Problema General:</p> <p>¿Cómo incide la aplicación de ceniza de quinua y cal en la subrasante de la trocha carrozable de la comunidad de collana, Juliaca 2024?</p>	<p>Objetivo General:</p> <p>Determinar cómo incide la aplicación de ceniza de quinua y cal en la subrasante de la trocha carrozable de la comunidad de collana, Juliaca 2024.</p>	<p>Hipótesis General:</p> <p>La aplicación de ceniza de quinua y cal mejora significativamente en la subrasante de la trocha carrozable de la comunidad de collana, Juliaca 2024</p>	<p>Variable Independiente</p> <p>Cenizas de quinua y cal</p> <p>Dimensiones:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Contenido de ceniza de tallo de quinua. <ul style="list-style-type: none"> MP +4% CTQ MP + 8% CTQ MP + 12% CTQ - Contenido de cal. 6% 	<p>Metodología de la investigación.</p> <p>Científica</p> <p>Nivel: Es explicativo</p> <p>Enfoque: Cuantitativo</p> <p>Tipo de estudio</p> <p>Aplicado</p> <p>Diseño de investigación: Cuasi experimental.</p>
<p>Problemas Específicos</p> <p>1. ¿Qué incidencia tienen las mezclas de cenizas de quinua y cal en la plasticidad y en los límites de Atterberg del suelo de la subrasante?</p> <p>2. ¿Cuál es el porcentaje óptimo de combinación de cenizas de quinua y cal que permite mejorar el desempeño mecánico del suelo en la comunidad de Collana?</p> <p>3. ¿Cómo varía la capacidad portante (CBR) de la subrasante de la trocha carrozable al aplicar diferentes porcentajes de cenizas de quinua y cal?</p>	<p>Objetivos Específicos</p> <p>1. Analizar la incidencia de las mezclas de cenizas de quinua y cal en la plasticidad y en los límites de Atterberg del suelo de la subrasante.</p> <p>2. Determinar la variación de la capacidad portante (CBR) de la subrasante de la trocha carrozable al aplicar diferentes porcentajes de cenizas de quinua y cal.</p> <p>3. Identificar el porcentaje óptimo de combinación de cenizas de quinua y cal que permita mejorar el desempeño mecánico del suelo en la comunidad de Collana.</p>	<p>Hipótesis Específicas</p> <p>1. Las mezclas de cenizas de quinua y cal reducen la plasticidad y modifican favorablemente los límites de Atterberg del suelo de la subrasante.</p> <p>2. La aplicación de diferentes porcentajes de cenizas de quinua y cal incrementa de manera significativa la capacidad portante (CBR) de la subrasante de la trocha carrozable en la comunidad de Collana.</p> <p>3. La aplicación de diferentes porcentajes de cenizas de quinua y cal incrementa de manera significativa la capacidad portante (CBR) de la subrasante de la trocha carrozable en la comunidad de Collana.</p>	<p>Variable Dependiente</p> <p>Propiedades de la subrasante</p> <p>Dimensiones:</p> <ul style="list-style-type: none"> -Capacidad portante. -Plasticidad. - Compactación. 	<p>Técnicas:</p> <p>Observación experimental</p> <p>Instrumentos</p> <p>Fichas de los ensayos de laboratorio</p>

Anexo 2. Panel fotográfico



1. Pesamos la muestra y ponemos al horno para su humedad



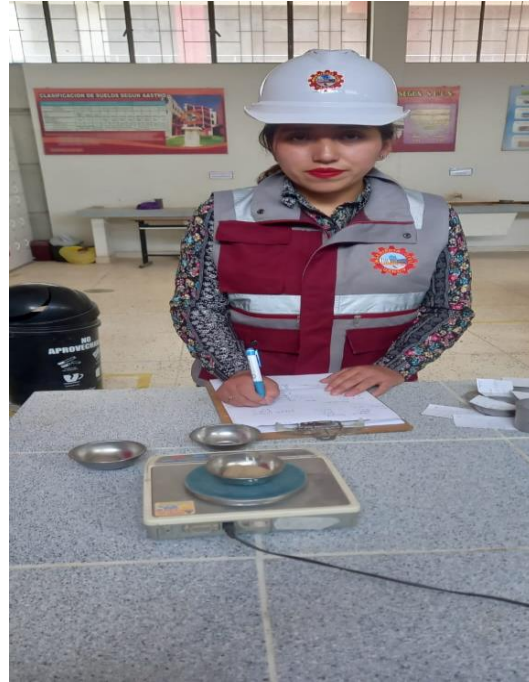
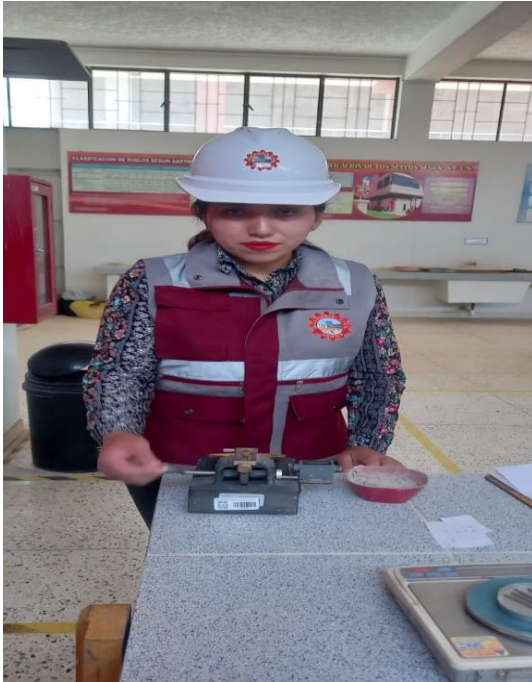
2. Realizamos la granulometría y separamos la muestra retenida en cada tamiz



3. Hacemos los rollitos para el límite plástico y ponemos en las taras



4. Registramos el peso de las taras y colocamos al horno para su secado



5. Ensayo de limite liquido en la cuchara casagrande



6. Pesamos la muestra y el molde para el ensayo proctor



7. Mezclamos la muestra con diferentes cantidades de agua



8. Ponemos la muestra en el molde y golpeamos con el piston 56 veces



9. Pesamos la muestra con el molde y luego sacamos muestras de la parte superior e inferior para su humedad



10. Pesamos la muestra y luego colocamos al horno para su secado de las muestras del ensayo de Proctor modificado



Anexo 3. Ensayos de laboratorio



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



ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

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

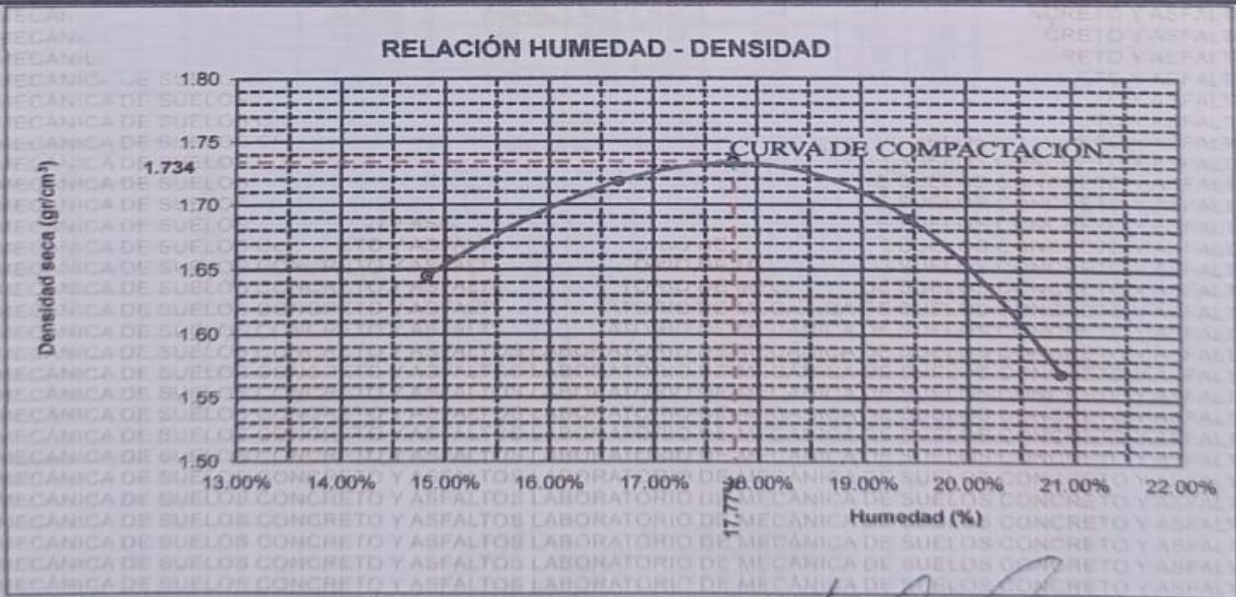
TESIS	: INCIDENCIA DE LA APLICACIÓN DE CENIZA DE QUINUA Y CAL EN LA SUBRASANTE DE LA TROCHA CARROZABLE DE LA COMUNIDAD DE COLLANA, JULIACA 2024
SOLICITANTE	: Bach. LUCERO MARGIORI SUPO PEREZ
MUESTRA	: NATURAL
UBICACIÓN	: COMUNIDAD DE COLLANA
LUGAR	: DISTRITO DE JULIACA
FECHA	: 13 DE SETIEMBRE DEL 2024

MOLDE No	: 1	VOLUMEN DEL MOLDE	: 2079 cm ³
No DE CAPAS	: 5	GOLPES POR CAPA	: 56 golpes

Peso Suelo Húmedo + Molde	gr.	9865	10105	10133	9882
Peso del Molde	gr.	5938	5938	5938	5938
Peso del Suelo Húmedo	gr/cm ³ .	3927	4167	4195	3944
Densidad del Suelo Húmedo	gr/cm ³ .	1.889	2.004	2.018	1.897

Capsula No	No	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.
Suelo Húmedo + Capsula	gr.	222.60	255.80	208.20	223.10	211.50	228.10	217.30	219.30
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	201.26	229.58	185.98	199.57	184.98	199.56	188.06	190.40
Peso del Agua	gr.	21.34	26.22	22.22	23.53	26.52	28.54	29.24	28.90
Peso de la Capsula	gr.	55.80	54.60	51.42	59.75	49.98	51.51	50.30	49.70
Peso del Suelo Seco	gr.	145.46	174.98	134.56	139.82	135.00	148.05	137.76	140.70
% de Humedad	%	14.67%	14.98%	16.51%	16.83%	19.64%	19.28%	21.23%	20.54%
Promedio de Humedad	%	14.83%		16.67%		19.46%		20.88%	
Densidad del Suelo Seco	%	1.645		1.718		1.689		1.569	

METODO:	ASTM D - 1557 MODIFICADO "C"	MAXIMA DENSIDAD SECA	: 1.734 gr/cm ³
		HUMEDAD OPTIMA	: 17.77%



OBSERVACIONES: LAS MUESTRAS FUERON PUESTAS EN EL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS DE LA UANCV.

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS UANCV - FICP
CAP INGENIERÍA CIVIL

Msc. ARNALDO VILLATORRES
CIP 103257

B. N° 006-00300358



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

RELACION HUMEDAD - DENSIDAD PROCTOR

TESIS	INCIDENCIA DE LA APLICACIÓN DE CENIZA DE QUINUA Y CAL EN LA SUBRASANTE DE LA TRONCHA CARROZABLE DE LA COMUNIDAD DE COLLANA, JULIACA 2024
SOLICITANTE	: Bach. LUCERO MARGIORI SUPO PEREZ
MUESTRA	: NATURAL
UBICACIÓN	: COMUNIDAD DE COLLANA
LUGAR	: DISTRITO DE JULIACA
FECHA	: 13 DE SETIEMBRE DEL 2024

MOLDE No	III	II	I
No DE CAPAS	5	5	5
NÚMERO DE GOLPES POR CAPA	12	25	55
CONDICIONES DE LA MUESTRA	SATURADO	SIN SATURAR	SATURADO
	SATURADO	SIN SATURAR	SATURADO

Peso Suelo Humedo + Molde	gr	10780	10348	10923	10720	10992	10718
Peso del Molde	gr	6795	6795	6744	6744	6785	6785
Peso del Suelo Humedo	gr	3965	3553	4179	3976	4207	3933
Volumen del Suelo	cc	2104.81	2104.81	2101.91	2101.91	2096.50	2096.50
Densidad del Suelo Humedo	gr/cc	1.884	1.688	1.988	1.892	2.007	1.876

Capsula No	No									
Suelo Humedo + Capsula	gr	202.26	254.47	317.00	267.30	272.59	315.00	247.17	278.50	337.00
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr	174.20	217.60	290.00	231.51	236.20	286.14	218.52	243.96	304.89
Peso del Agua	gr	28.08	36.87	26.20	35.79	36.39	28.86	28.65	32.54	32.11
Peso de la Capsula	gr	37.53	38.88	39.00	30.06	38.16	37.00	37.99	38.69	39.24
Peso del Suelo Seco	gr	136.67	178.72	251.60	192.45	198.04	249.14	180.53	205.27	265.65
% de Humedad	%	20.55%	20.63%	10.41%	18.60%	18.38%	11.58%	15.87%	15.85%	12.09%
Promedio de Humedad	%	20.58%	10.41%	18.49%	11.58%	15.86%	12.09%			
Densidad del Suelo Seco	gr/cc	1.562	1.529	1.878	1.695	1.732	1.674			

EXPANSION

Fecha	Hora	Tiempo	Dial	Expansion		Dial	Expansion		Dial	Expansion	
				mm	%		mm	%		mm	%
9/09/2024	10:25: a.m.	0	0.00	0.00	0	0.00	0	0	0.50	0	0
10/09/2024	10:25: a.m.	24:00:00	0.62	0.02	0.01	0.56	0.01	0.01	0.54	0.00	0.00
11/09/2024	10:25: a.m.	48:00:00	0.69	0.02	0.02	0.59	0.01	0.01	0.58	0.00	0.00
12/09/2024	10:25: a.m.	72:00:00	0.83	0.02	0.02	0.62	0.02	0.01	0.60	0.00	0.00
13/09/2024	10:25: a.m.	96:00:00	0.92	0.02	0.02	0.64	0.02	0.01	0.61	0.00	0.00

PENETRACION

Penetración mm	Tiempo	Carga Est.	MOLDE No III				MOLDE No II				MOLDE No I				
			Dial	Kg	Kg/cm2	Correc.	Dial	Kg	Kg/cm2	Correc.	Dial	Kg	Kg/cm2	Correc.	
0.00	0:00		0.00	0.00	0.00					0.00	0.00	0.00			
0.63	00:30		2.20	34	1.7					4.10	43	2.2			
1.27	01:00		4.90	46	2.3					9.10	64	3.2			
1.91	01:30		7.60	57	2.9					13.20	81	4.1			
2.54	02:00	70.31	9.30	65	3.3					17.20	98	5.0			
3.81	03:00		11.90	76	3.8					21.00	114	5.8			
5.09	04:00	105.00	14.20	85	4.3					23.90	126	6.4			
6.35	05:00		16.20	94	4.7					26.10	136	6.9			
7.62	06:00		18.70	105	5.3					28.40	146	7.4			
8.84	07:00														
10.16	08:00														

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



UANCV - FICP
CAP INGENIERIA CIVIL

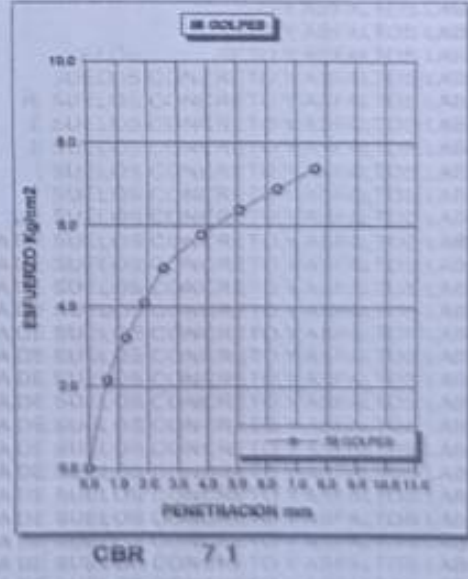
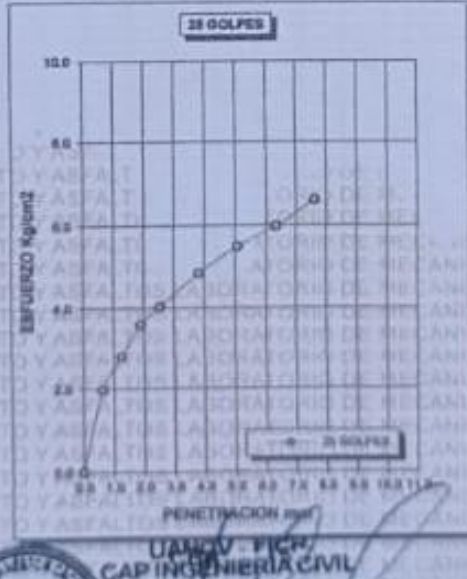
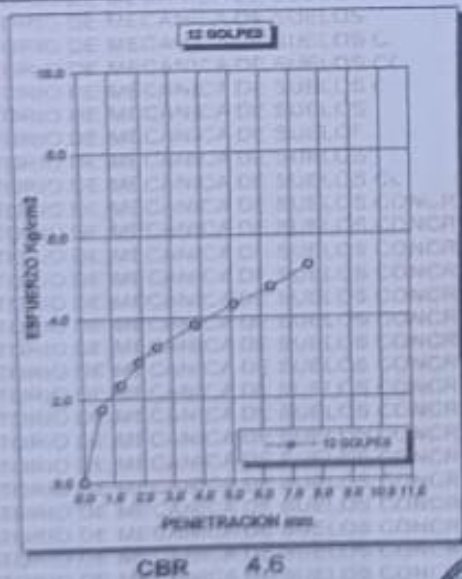
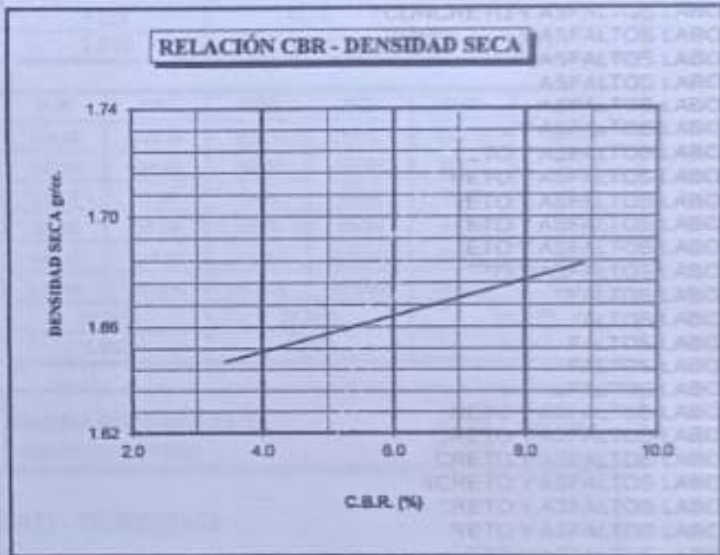
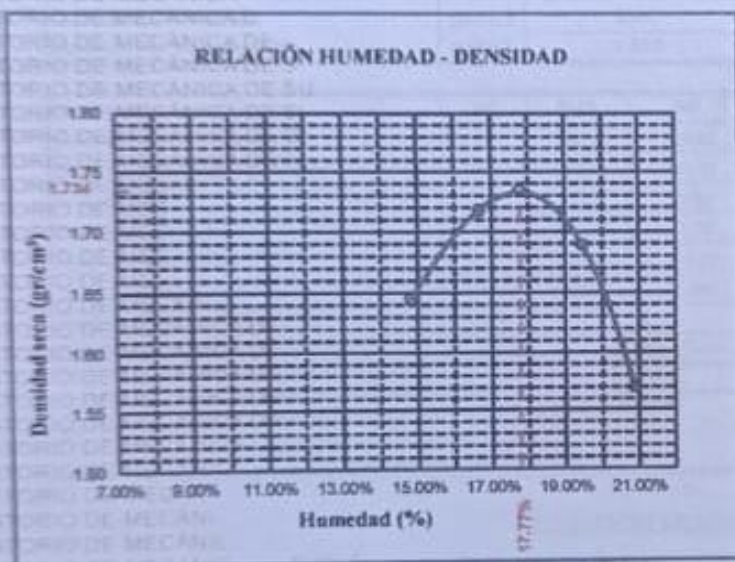
Mg. ARNALDO MATORRES
CIP 103257

B. N° 006-00300358



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

TESIS	: INCIDENCIA DE LA APLICACIÓN DE CENIZA DE QUINUA Y CAL EN LA SUBRASANTE DE LA TROCHA CARROZABLE DE LA COMUNIDAD DE COLLANA, JULIACA 2024	METODO DE COMPACTACIÓN ASTM D1557-91	
SOLICITANTE	: - Bach. LUCERO MARGIORI SUPO PEREZ	MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm³.)	1.734
MUESTRA	: NATURAL	HUMEDAD OPTIMA (%)	17.77%
UBICACIÓN	: COMUNIDAD DE COLLANA	CBR AL 100 DE M.D.S. (%)	7.10
LUGAR	: DISTRITO DE JULIACA	CBR AL 95% DE M.D.S. (%)	5.70
FECHA	: - 13 DE SETIEMBRE DEL 2024	CLASIFICACIÓN	: CL
		AASHTO	: A-6 (11)
		EMBEBIDO	: 4 DIAS



UANCV - VICI
 CAP INGENIERÍA CIVIL
 M^g. ARNULDO MANA TORRES
 CIP 103257

B. N° 006-00300358



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

ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

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

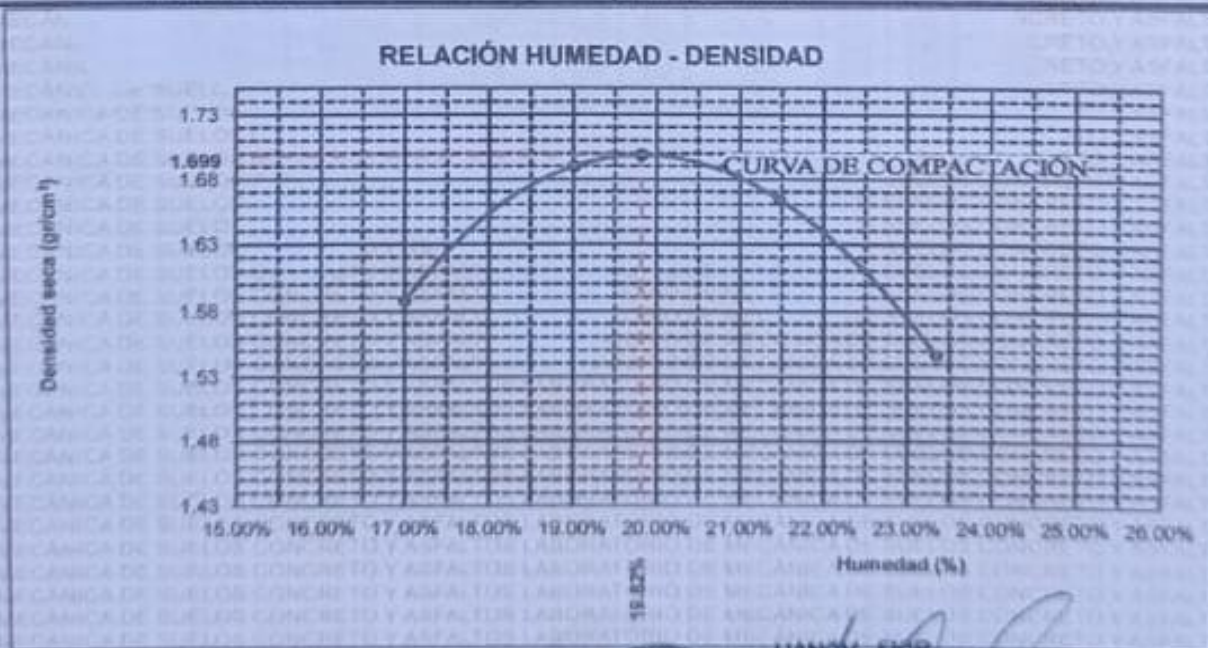
TESIS	: INCIDENCIA DE LA APLICACIÓN DE CENIZA DE QUINUA Y CAL EN LA SUBRASANTE DE LA TROCHA CARROZABLE DE LA COMUNIDAD DE COLLANA, JULIACA 2024
SOLICITANTE	: Bach. LUCERO MARGIORI SUPO PEREZ
MUESTRA	: CON 6% CAL + 4% DE CENIZA DE QUINUA
UBICACIÓN	: COMUNIDAD DE COLLANA
LUGAR	: DISTRITO DE JULIACA
FECHA	: 13 DE SETIEMBRE DEL 2024

MOLDE No	:	1	VOLUMEN DEL MOLDE	:	2079 cm ³
No DE CAPAS	:	5	GOLPES POR CAPA	:	56 golpes

Peso Suelo Humedo + Molde	gr.	9800	10120	10140	9905
Peso del Molde	gr.	5938	5938	5938	5938
Peso del Suelo Humedo	gr/cm ³ .	3862	4182	4202	3967
Densidad del Suelo Humedo	gr/cm ³ .	1.858	2.012	2.021	1.908

Capsula No	No	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.
Suelo Humedo + Capsula	gr.	232.10	229.60	219.00	223.35	226.50	225.50	220.70	222.60
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	206.45	203.02	192.67	196.00	196.07	194.98	189.11	191.00
Peso del Agua	gr.	25.65	26.58	26.93	27.35	30.43	30.62	31.59	31.50
Peso de la Capsula	gr.	51.20	51.00	52.30	51.00	53.20	53.50	54.50	55.00
Peso del Suelo Seco	gr.	155.25	152.02	140.37	145.00	142.87	141.38	134.51	136.00
% de Humedad	%	16.52%	17.48%	19.19%	18.89%	21.30%	21.66%	23.47%	23.24%
Promedio de Humedad	%	17.00%		19.82%		21.48%		23.35%	
Densidad del Suelo Seco	%	1.588		1.690		1.564		1.547	

METODO:	ASTM D - 1557 MODIFICADO "C"	MAXIMA DENSIDAD SECA	:	1.699 gr/cm ³
		HUMEDAD OPTIMA	:	19.82%



OBSERVACIONES: LAS MUESTRAS FUERON PUESTAS EN EL LABORATORIO



UANCV - FICP
DAR INGENIERÍA CIVIL

MSc. ARNOLDO HUAMÁN TORRES
CIP 103257

B. N° 006-00300358



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

RELACION HUMEDAD - DENSIDAD PROCTOR

TESIS	: INCIDENCIA DE LA APLICACIÓN DE CENIZA DE QUINUA Y CAL EN LA SUBRASANTE DE LA TROCHA CARROZABLE DE LA COMUNIDAD DE COLLANA, JULIACA 2024
SOLICITANTE	: Bach. LUCERO MARGIORI SUPO PEREZ
MUESTRA	: CON 6% CAL + 4% DE CENIZA DE QUINUA
UBICACIÓN	: COMUNIDAD DE COLLANA
LUGAR	: DISTRITO DE JULIACA
FECHA	: 13 DE SETIEMBRE DEL 2024

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

Peso Suelo Humedo + Molde	gr	10532	10377	10626	10341	10733	10538
Peso del Molde	gr	6795	6795	6744	6744	6785	6785
Peso del Suelo Humedo	gr	3737	3582	3882	3597	3948	3751
Volumen del Suelo	cc	2102.04	2102.04	2099.13	2099.13	2099.27	2099.27
Densidad del Suelo Humedo	gr/cc	1.778	1.704	1.849	1.714	1.881	1.787

Capsula No	No	4								
Suelo Humedo + Capsula	gr	109.90	252.90	307.80	394.50	268.20	308.20	245.60	273.60	328.60
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr	172.99	214.88	288.60	228.60	238.40	287.66	218.40	243.88	304.70
Peso del Agua	gr	26.91	38.02	19.00	35.00	29.80	20.54	27.20	39.72	23.90
Peso de la Capsula	gr	37.00	38.00	38.00	38.00	38.50	39.00	39.00	38.00	39.30
Peso del Suelo Seco	gr	135.99	176.88	250.60	190.60	199.90	248.66	179.40	205.88	265.40
% de Humedad	%	19.79%	21.49%	7.58%	18.84%	14.91%	8.28%	15.10%	14.44%	9.01%
Promedio de Humedad	%	20.64%		7.58%	16.87%		8.28%	14.80%		9.01%
Densidad del Suelo Seco	gr/cc	1.474		1.584	1.582		1.583	1.638		1.638

EXPANSION

Fecha	Hora	Tiempo	Dial	Expansion		Dial	Expansion		Dial	Expansion	
				mm	%		mm	%		mm	%
9/09/2024	08:30 a.m.	0	0.00	0.00	0	0.00	0	0	0.00	0	0
10/09/2024	08:30 a.m.	24:00:00	0.62	0.02	0.01	0.50	0.01	0.01	0.52	0.01	0.01
11/09/2024	08:30 a.m.	48:00:00	0.69	0.02	0.02	0.58	0.01	0.01	0.62	0.02	0.01
12/09/2024	08:30 a.m.	72:00:00	0.79	0.02	0.02	0.65	0.02	0.01	0.68	0.02	0.01
13/09/2024	08:30 a.m.	96:00:00	0.85	0.02	0.02	0.69	0.02	0.02	0.73	0.02	0.02

PENETRACION

Penetración mm	Tiempo	Carga Est.	MOLDE No III				MOLDE No II				MOLDE No I					
			Dial	Kg	Kg/cm ²	Correc.	Dial	Kg	Kg/cm ²	Correc.	Dial	Kg	Kg/cm ²	Correc.		
0.00	0:00		0.00	0.00	0.00					0.00	0.00	0.00				
0.63	00:30		1.70	32.3	1.6		3.80	40.4	2.0	4.00	42	2.1				
1.27	01:00		3.80	41.3	2.1		7.20	55.7	2.8	8.80	66	3.3				
1.91	01:30		5.90	49.8	2.5		10.30	69.7	3.5	14.00	85	4.3				
2.54	02:00	70.31	8.10	59.5	3.0		13.40	82.0	4.1	18.10	102	5.2				
3.81	03:00		11.20	72.7	3.7		18.90	96.9	4.9	23.00	123	6.2				
6.09	04:00	105.00	15.10	89.2	4.5		20.00	110.0	5.6	26.00	135	6.9				
6.35	05:00		17.80	100.7	5.1		23.00	122.8	6.2	29.10	149	7.5				
7.62	06:00		20.00	110.0	5.6		25.40	132.9	6.7	32.00	161	8.1				
8.84	07:00															
10.16	08:00															

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



UANCV - FICP
CAP INGENIERIA CIVIL
Mg. ARNELDO MANA TORRES
CIP 103257

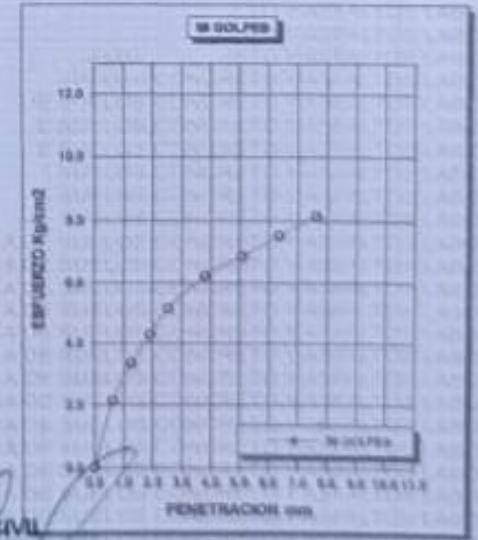
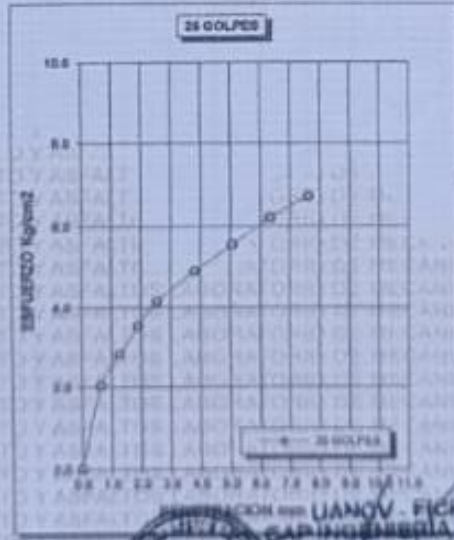
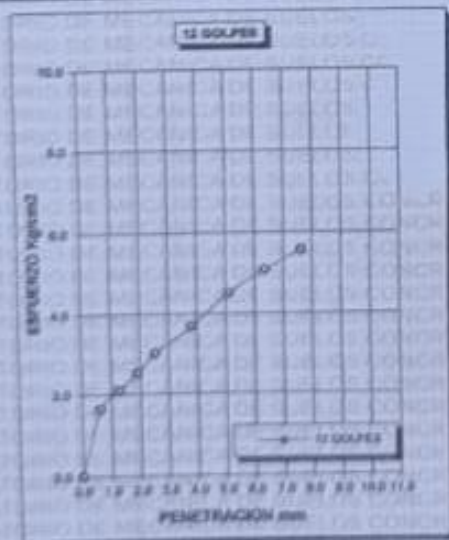
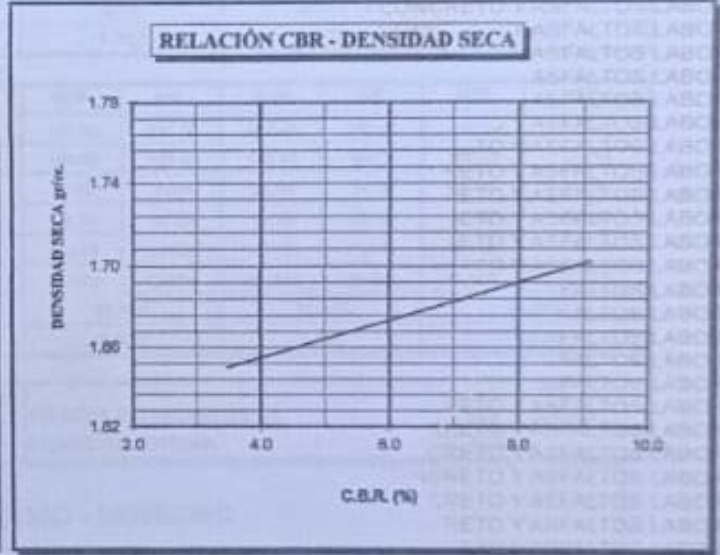
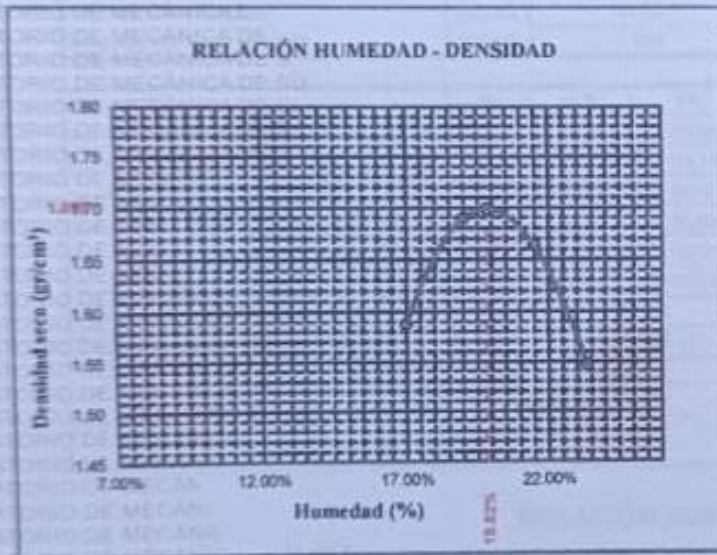
B. N° 006-00300358



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



TESIS	: INCIDENCIA DE LA APLICACIÓN DE CENIZA DE QUINUA Y CAL EN LA SUBRASANTE DE LA TROCHA CARROZABLE DE LA COMUNIDAD DE COLLANA, JULIACA 2024	METODO DE COMPACTACIÓN ASTM D1557-91	
SOLICITANTE	: Bach. LUCERO MARGIORI SUPO PEREZ	MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm ³)	1.699
MUESTRA	: CON 6% CAL + 4% DE CENIZA DE QUINUA	HUMEDAD OPTIMA (%)	19.82%
UBICACIÓN	: COMUNIDAD DE COLLANA	CBR AL 100 DE M.D.S. (%)	7.30
LUGAR	: DISTRITO DE JULIACA	CBR AL 95% DE M.D.S. (%)	5.90
FECHA	: 13 DE SETIEMBRE DEL 2024	CLASIFICACIÓN :	CL
		AASHTO :	A-6 (10)
		EMBEBIDO :	4 DIAS



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

UANCV - FICHA DE INVESTIGACIÓN CIVIL

ING. ARNOLDO VIANA TORRES
CIP 103257



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

ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

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

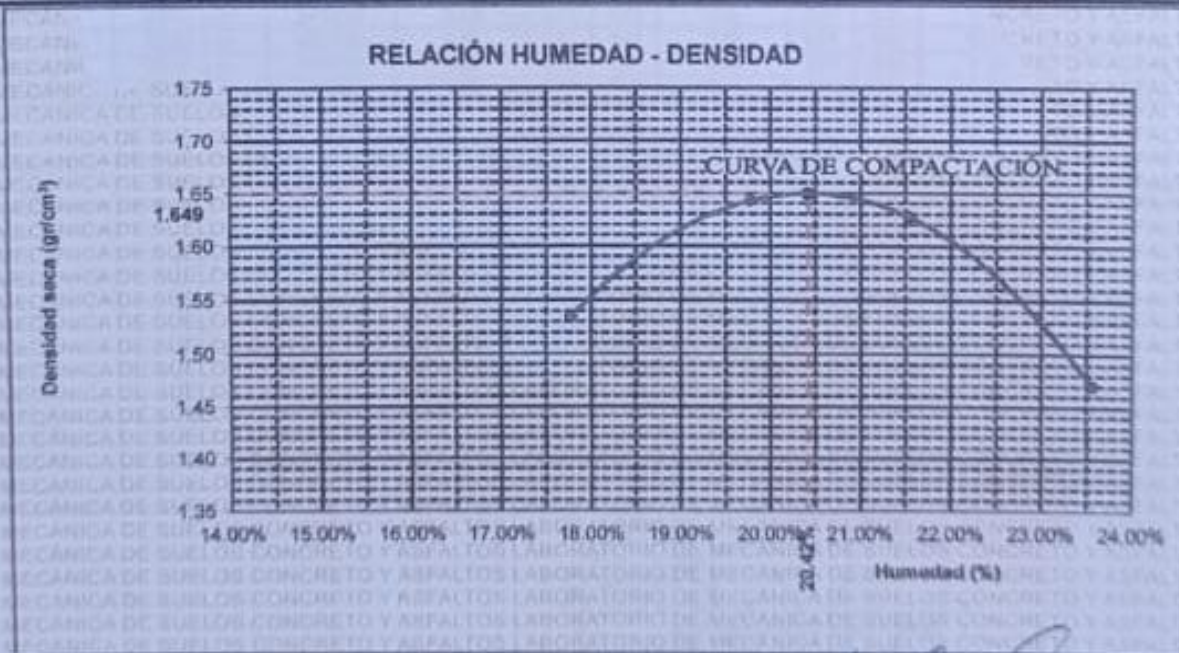
TESIS	: INCIDENCIA DE LA APLICACIÓN DE CENIZA DE QUINUA Y CAL EN LA SUBRASANTE DE LA TROCHA CARROZABLE DE LA COMUNIDAD DE COLLANA, JULIACA 2024
SOLICITANTE	: Bach. LUCERO MARGIORI SUPO PEREZ
MUESTRA	: CON 6% CAL + 8% CENIZA DE QUINUA
UBICACIÓN	: COMUNIDAD DE COLLANA
LUGAR	: DISTRITO DE JULIACA
FECHA	: 13 DE SETIEMBRE DEL 2024

MOLDE No	: 1	VOLUMEN DEL MOLDE	: 2079 cm ³
No DE CAPAS	: 5	GOLPES POR CAPA	: 56 golpes

Peso Suelo Húmedo + Molde	gr.	9696	10028	10050	9715
Peso del Molde	gr.	5938	5938	5938	5938
Peso del Suelo Húmedo	gr/cm ³	3758	4090	4112	3777
Densidad del Suelo Húmedo	gr/cm ³	1.808	1.967	1.978	1.817

Capsula No	No	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.
Suelo Húmedo + Capsula	gr.	190.10	191.30	187.80	184.70	195.40	192.40	186.10	191.40
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	169.03	170.11	164.88	163.06	169.40	168.32	166.50	164.64
Peso del Agua	gr.	21.07	21.19	22.92	21.64	26.00	24.08	25.60	26.56
Peso de la Capsula	gr.	51.20	50.20	50.33	52.40	51.70	53.60	51.00	53.00
Peso del Suelo Seco	gr.	117.83	119.91	114.55	110.66	117.70	114.72	109.50	111.64
% de Humedad	%	17.88%	17.67%	20.01%	19.55%	22.09%	20.99%	23.38%	23.75%
Promedio de Humedad	%	17.78%		19.78%		21.54%		23.58%	
Densidad del Suelo Seco	%	1.535		1.642		1.627		1.470	

METODO:	ASTM D - 1557 MODIFICADO "C"	MAXIMA DENSIDAD SECA	: 1.649 gr/cm ³
		HUMEDAD OPTIMA	: 20.42%



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



UANCV - FICP
CAP INGENIERÍA CML
MSc. ARNALDO HERRERA TORRES
CIP 103257

B. N° 006-00300358



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



RELACION HUMEDAD - DENSIDAD PROCTOR

TESIS	INCIDENCIA DE LA APLICACIÓN DE CENIZA DE QUINUA Y CAL EN LA SUBRASANTE DE LA TROCHA CARROZABLE DE LA COMUNIDAD DE COLLANA, JULIACA 2024
SOLICITANTE	Bach. LUCERO MARGIORI SUPO PEREZ
MUESTRA	CON 6% CAL + 8% CENIZA DE QUINUA
UBICACIÓN	COMUNIDAD DE COLLANA
LUGAR	DISTRITO DE JULIACA
FECHA	13 DE SETIEMBRE DEL 2024

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

Peso Suelo Humedo + Molde	gr	10409	10098	10891	10438	10980	10928
Peso del Molde	gr	6795	6795	6744	6744	6785	6785
Peso del Suelo Humedo	gr	3614	3303	3947	3694	4195	4143
Volumen del Suelo	cc	2104.81	2104.81	2101.91	2101.91	2096.50	2096.50
Densidad del Suelo Humedo	gr/cc	1.717	1.569	1.878	1.757	2.001	1.978

Capsula No	No										
Suelo Humedo + Capsula	gr	185.60	190.00	263.20	188.50	184.50	271.20	192.30	195.70	248.40	
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr	152.15	185.00	239.18	168.16	182.04	245.55	171.22	175.00	224.30	
Peso del Agua	gr	23.45	25.00	24.02	22.34	22.48	25.65	21.08	20.70	24.10	
Peso de la Capsula	gr	39.10	38.00	38.11	36.12	35.20	35.95	36.17	38.40	38.90	
Peso del Suelo Seco	gr	123.05	127.00	201.07	130.04	136.84	210.00	135.05	136.60	187.40	
% de Humedad	%	19.08%	19.69%	11.95%	17.18%	17.71%	12.21%	15.01%	15.10%	12.98%	
Promedio de Humedad	%	19.37%		11.95%	17.44%		12.21%	15.38%		12.86%	
Densidad del Suelo Seco	gr/cc	1.438		1.402	1.999		1.568	1.734		1.751	

EXPANSION

Fecha	Hora	Tiempo	Dial	Expansion		Dial	Expansion		Dial	Expansion	
				mm	%		mm	%		mm	%
9/09/2024	02:00 p.m.	0	0.00	0.00	0	0.00	0	0	0.00	0	0
10/09/2024	02:00 p.m.	24:00:00	0.49	0.01	0.01	0.45	0.01	0.01	0.44	0.01	0.01
11/09/2024	02:00 p.m.	48:00:00	0.56	0.01	0.01	0.52	0.01	0.01	0.50	0.01	0.01
12/09/2024	02:00 p.m.	72:00:00	0.63	0.02	0.01	0.58	0.01	0.01	0.55	0.01	0.01
13/09/2024	02:00 p.m.	96:00:00	0.73	0.02	0.02	0.65	0.02	0.01	0.59	0.01	0.01

PENETRACION

Penetración mm	Tiempo	Carga Est.	MOLDE No III				MOLDE No II				MOLDE No I			
			Dial	Kg	Kg/cm ²	Correc.	Dial	Kg	Kg/cm ²	Correc.	Dial	Kg	Kg/cm ²	Correc.
6.90	0:00		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6.63	00:30		2.10	34.0	1.7	4.00	42.1	2.1	5.80	48.9	2.3	11.20	72.7	3.7
1.27	01:00		5.20	47.2	2.4	8.10	59.5	3.0	11.20	72.7	3.7	18.50	95.2	4.8
1.91	01:30		7.60	57.4	2.9	10.80	71.0	3.6	18.50	95.2	4.8	21.00	114.3	5.8
2.54	02:00	70.31	9.80	85.9	3.3	13.20	81.2	4.1	21.00	114.3	5.8	26.60	138.0	7.0
3.81	03:00		13.90	81.6	4.1	18.60	95.6	4.8	30.50	134.6	7.8	34.00	169.4	8.6
5.09	04:00	105.00	18.60	95.6	4.8	23.30	124.0	6.3	37.30	183.4	9.3			
6.35	05:00		19.30	166.0	5.4	26.10	136.9	6.9						
7.62	06:00		21.90	118.1	6.0									
8.84	07:00													
10.16	08:00													

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



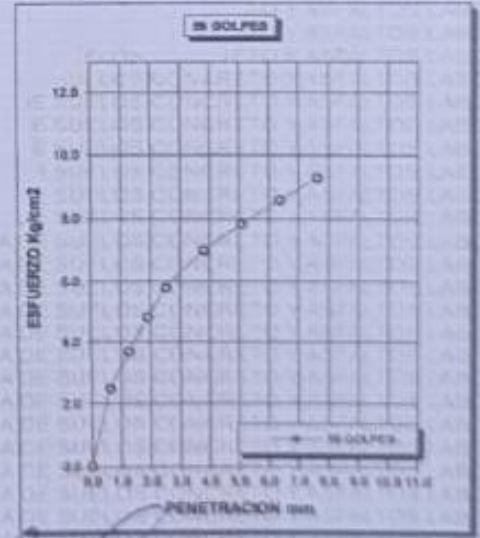
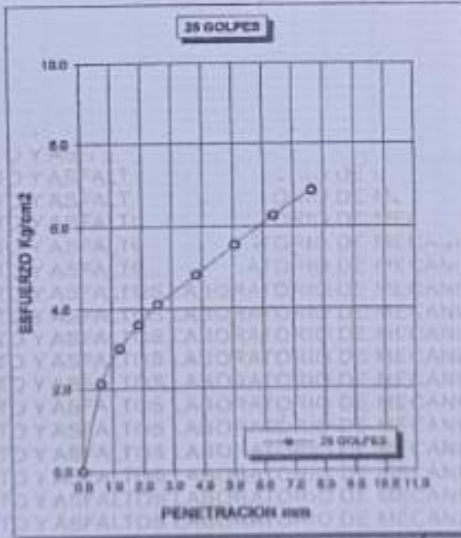
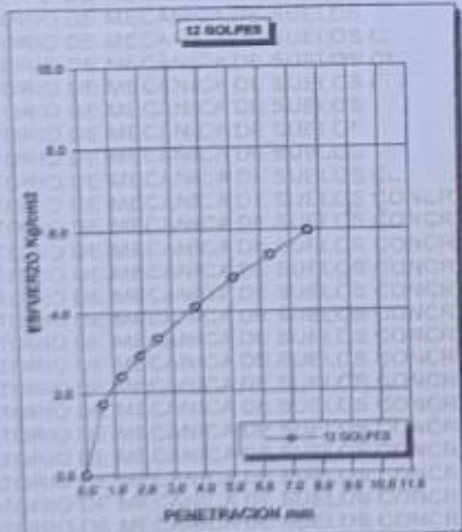
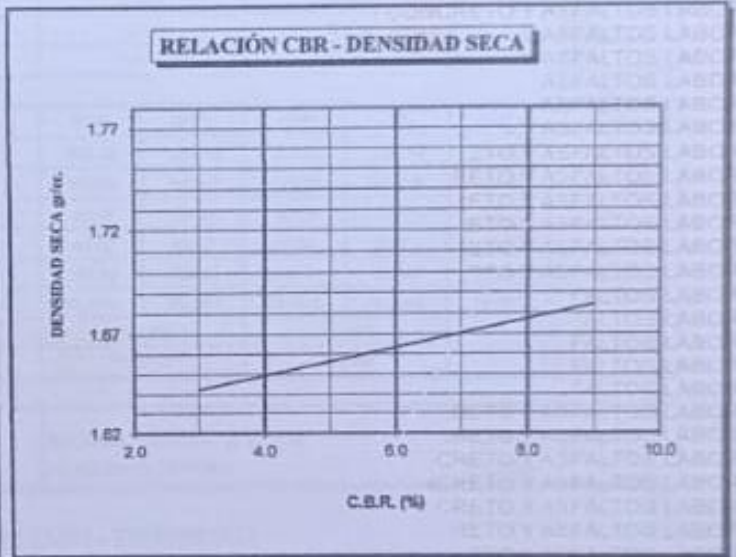
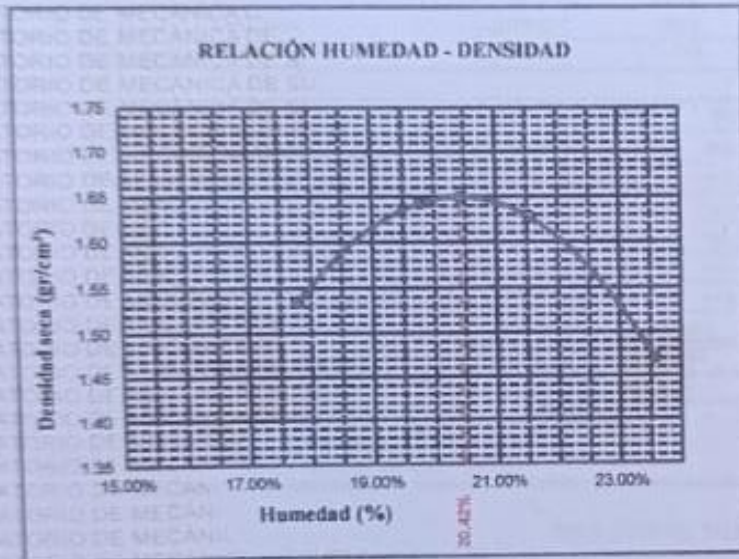
UANCV - FICP
CAP INGENIERIA CIVIL
Mg. ARNOLDO MANA TORRES
CIF 103257



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



TESIS	: INCIDENCIA DE LA APLICACIÓN DE CENIZA DE QUINUA Y CAL EN LA SUBRASANTE DE LA TROCHA CARROZABLE DE LA COMUNIDAD DE COLLANA, JULIACA 2024	METODO DE COMPACTACIÓN ASTM D1557-91	
SOLICITANTE	: Bach. LUCERO MARGIORI SUPO PEREZ	MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm³.)	1.649
MUESTRA	: CON 6% CAL + 8% CENIZA DE QUINUA	HUMEDAD OPTIMA (%)	20.42%
UBICACIÓN	: COMUNIDAD DE COLLANA	CBR AL 100 DE M.D.S. (%)	8.20
LUGAR	: DISTRITO DE JULIACA	CBR AL 95% DE M.D.S. (%)	5.80
FECHA	: 13 DE SETIEMBRE DEL 2024	CLASIFICACIÓN	: CL-ML
		AASHTO	: A-4 (4)
		EMBEBIDO	: 4 DIAS



UANCV - FICP
CAP INGENIERIA CIVIL
Mg. ARNELDO MANA TORRES
CIP 103257

B. N° 006-00300358



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

ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

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

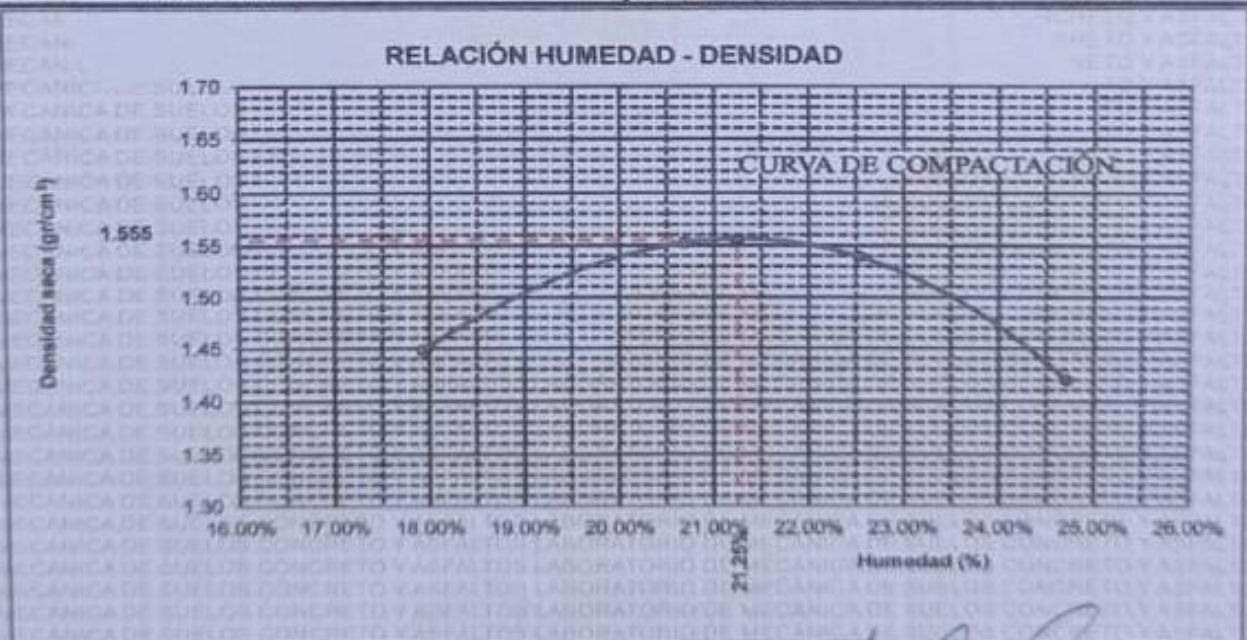
TESIS	: INCIDENCIA DE LA APLICACIÓN DE CENIZA DE QUINUA Y CAL EN LA SUBRASANTE DE LA TROCHA CARROZABLE DE LA COMUNIDAD DE COLLANA, JULIACA 2024
SOLICITANTE	: Bach. LUCERO MARGIORI SUPO PEREZ
MUESTRA	: CON 6% CAL + 12% CENIZA DE QUINUA
UBICACIÓN	: COMUNIDAD DE COLLANA
LUGAR	: DISTRITO DE JULIACA
FECHA	: 13 DE SETIEMBRE DEL 2024

MOLDE No	: 1	VOLUMEN DEL MOLDE	: 2079 cm ³
No DE CAPAS	: 5	GOLPES POR CAPA	: 56 golpes

Peso Suelo Humedo + Molde	gr.	9490	9835	9861	9620
Peso del Molde	gr.	5940	5940	5940	5940
Peso del Suelo Humedo	gr/cm ³	3550	3895	3921	3680
Densidad del Suelo Humedo	gr/cm ³	1.708	1.873	1.886	1.770

Capsula No	No	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.
Suelo Humedo + Capsula	gr.	237.30	240.10	235.40	224.10	224.50	228.10	221.02	228.47
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	208.06	210.66	202.04	193.62	191.20	194.00	186.00	192.10
Peso del Agua	gr.	29.24	29.44	33.36	30.48	33.30	34.10	35.02	36.37
Peso de la Capsula	gr.	45.20	46.30	44.10	43.11	42.57	43.62	45.10	44.10
Peso del Suelo Seco	gr.	162.86	164.36	157.94	150.51	148.63	150.38	140.90	148.00
% de Humedad	%	17.95%	17.91%	21.12%	20.25%	22.40%	22.68%	24.85%	24.57%
Promedio de Humedad	%	17.93%		20.69%		22.54%		24.71%	
Densidad del Suelo Seco	%	1.448		1.552		1.539		1.419	

METODO:	ASTM D - 1557 MODIFICADO "C"	MAXIMA DENSIDAD SECA	: 1.555 gr/cm ³
		HUMEDAD OPTIMA	: 21.25%



OBSERVACIONES: LAS MUESTRAS FUERON PUESTAS EN EL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS DE LA UANCV.



UANCV, FICP
 CAP INGENIERÍA CIVIL
 ING. ARNULDO WARA TORRES
 CIP 103257

B. N° 006-00300358



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

RELACION HUMEDAD - DENSIDAD PROCTOR

TESIS	: INICIENCIA DE LA APLICACIÓN DE CENIZA DE QUINUA Y CAL EN LA SUBRASANTE DE LA TROCHA CARROZABLE DE LA COMUNIDAD DE COLLANA, JULIACA 2024
SOLICITANTE	: Bach. LUCERO MARGIORI SUIPO PEREZ
MUESTRA	: CON 6% CAL + 12% CENIZA DE QUINUA
UBICACIÓN	: COMUNIDAD DE COLLANA
LUGAR	: DISTRITO DE JULIACA
FECHA	: 13 DE SETIEMBRE DEL 2024

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

Peso Suelo Humedo + Molde	gr.	10784	10502	10910	10734	11040	10801
Peso del Molde	gr.	6795	6795	6744	6744	6785	6785
Peso del Suelo Humedo	gr.	3989	3707	4166	3990	4255	4016
Volumen del Suelo	cc.	2104.81	2104.81	2101.91	2101.91	2096.50	2096.50
Densidad del Suelo Humedo	gr/cc	1.895	1.781	1.982	1.898	2.030	1.918

Capsula No.	No									
Suelo Humedo + Capsula	gr.	192.30	185.60	190.44	195.40	191.20	187.20	196.30	191.40	193.00
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	166.10	161.30	172.00	171.55	167.03	169.22	174.22	170.00	174.10
Peso del Agua	gr.	26.20	24.30	18.44	23.85	24.17	17.98	22.08	21.40	19.50
Peso de la Capsula	gr.	36.50	39.30	37.10	37.40	35.20	36.60	37.10	38.30	37.80
Peso del Suelo Seco	gr.	127.80	122.00	134.90	134.15	131.83	132.62	137.12	131.70	136.50
% de Humedad	%	20.53%	19.92%	13.67%	17.78%	18.33%	13.50%	16.10%	16.23%	14.29%
Promedio de Humedad	%	20.23%	13.67%	18.06%	13.56%	16.18%	14.29%			
Densidad del Suelo Seco	gr/cc	1.576	1.549	1.679	1.672	1.747	1.576			

EXPANSION

Fecha	Hora	Tiempo	Dial	Expansion		Dial	Expansion		Dial	Expansion	
				mm	%		mm	%		mm	%
9/09/2024	04:00: p.m.	0	0.00	0.00	0	0.00	0	0	0.00	0	0
10/09/2024	04:00: p.m.	24:00:00	0.63	0.02	0.01	0.53	0.01	0.01	0.47	0.01	0.01
11/09/2024	04:00: p.m.	48:00:00	0.72	0.02	0.02	0.57	0.01	0.01	0.51	0.01	0.01
12/09/2024	04:00: p.m.	72:00:00	0.82	0.02	0.02	0.63	0.02	0.01	0.58	0.01	0.01
13/09/2024	04:00: p.m.	96:00:00	0.90	0.02	0.02	0.71	0.02	0.02	0.80	0.02	0.01

PENETRACION

Penetración mm	Tiempo	Carga Est.	MOLDE No III				MOLDE No II				MOLDE No I			
			Dial	Kg	Kg/cm2	Correc.	Dial	Kg	Kg/cm2	Correc.	Dial	Kg	Kg/cm2	Correc.
0.00	0:00		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00		
0.63	00:30		2.20	34.5	1.7	4.20	43	2.2		8.10	31	2.6		
1.27	01:00		6.00	50.8	2.6	9.00	63	3.2		12.10	78	3.6		
1.91	01:30		8.10	59.5	3.0	13.30	82	4.1		18.20	102	5.2		
2.54	02:00	70.31	10.50	71.4	3.8	16.90	97	4.8		22.50	121	6.1		
3.81	03:00		14.70	87.5	4.4	23.20	124	6.2		31.00	157	7.9		
5.09	04:00	105.00	17.50	99.4	5.0	28.10	144	7.3		37.40	184	9.3		
6.35	05:00		20.90	111.3	5.6	31.60	159	8.1		42.00	203	10.3		
7.62	06:00		22.80	121.9	6.2	34.70	172	8.7		45.60	219	11.1		
8.84	07:00													
10.16	08:00													

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



UANCV - FICP
CAP INGENIERIA CIVIL

MSc. ARNOLDO MANA TORRES
CIF 103257

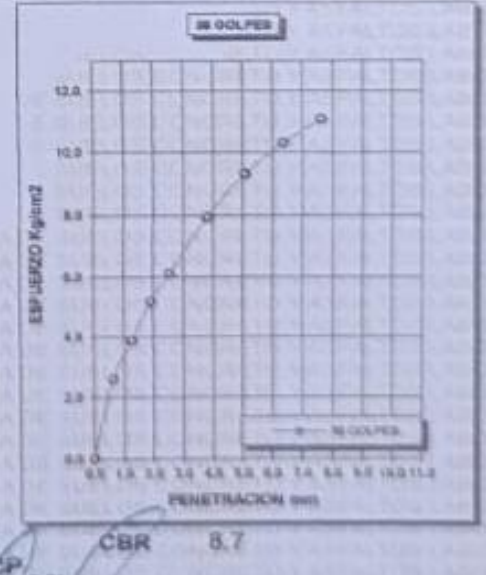
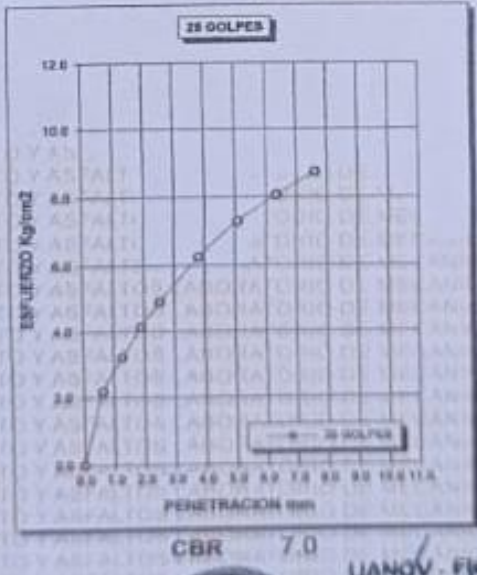
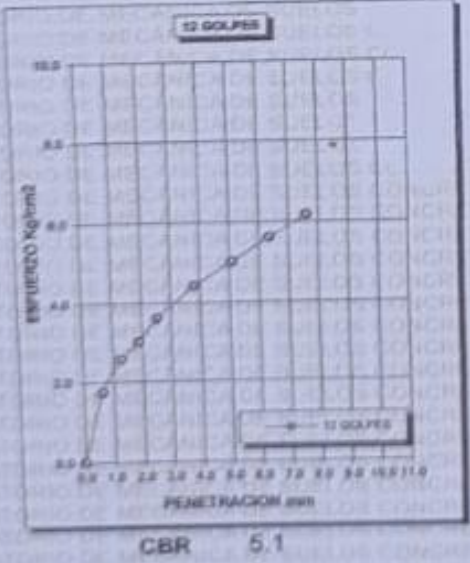
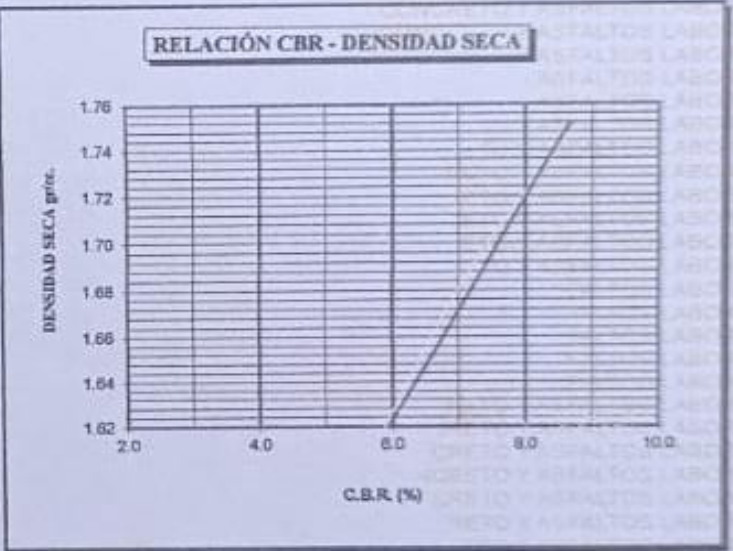
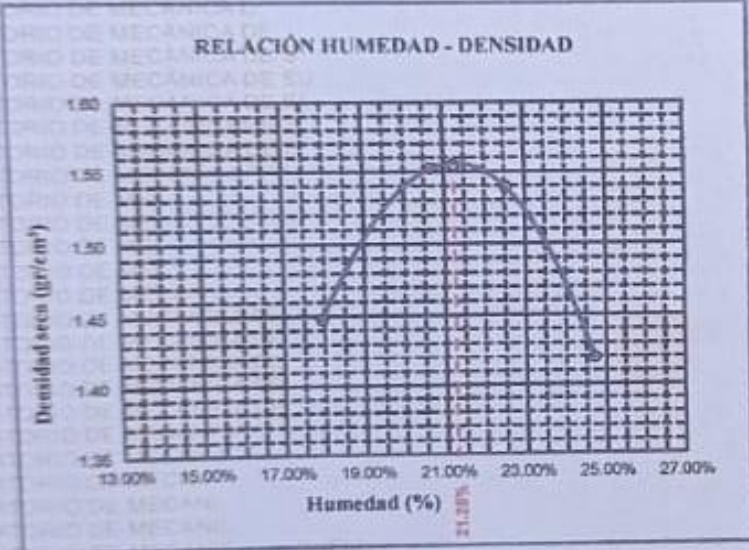
B. N° 006-00300358



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



TESIS	: INCIDENCIA DE LA APLICACIÓN DE CENIZA DE QUINUA Y CAL EN LA SUBRASANTE DE LA TROCHA CARROZABLE DE LA COMUNIDAD DE COLLANA, JULIACA 2024	METODO DE COMPACTACIÓN ASTM D1557-91
SOLICITANTE	: : Bach. LUCERO MARGIORI SUPO PEREZ	MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm3.)
MUESTRA	: CON 6% CAL + 12% CENIZA DE QUINUA	HUMEDAD OPTIMA (%)
UBICACIÓN	: COMUNIDAD DE COLLANA	CBR AL 100 DE M.D.S. (%)
LUGAR	: DISTRITO DE JULIACA	CBR AL 95% DE M.D.S. (%)
FECHA	: : 13 DE SETIEMBRE DEL 2024	CLASIFICACIÓN : ML
		AASHTO : A-4 (4)
		EMBEBIDO : 4 DIAS



UANCV - FICP
CAP INGENIERIA CIVIL
MSc. ARNULDO MANAYTORRES
CIP 103257

B. N° 006-00300358



UNIVERSIDAD ANDINA "NESTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"

FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS

TESIS: INCIDENCIA DE LA APLICACIÓN DE GENIZA DE QUINUA Y CAL EN LA SUBRASANTE DE LA TROCHA CARROZABLE DE LA COMUNIDAD DE COLLANA, JULIACA 2024

SOLICITANTE: Bach. LUCERO MARGIORI SUPO PÉREZ

MUESTRA: CALICATA N° 01

PROFUNDIDAD: 1.50 m

UBICACIÓN: COMUNIDAD DE COLLANA - JULIACA

FECHA: 10 DE SEPTIEMBRE DEL 2024

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

SUELO HUMEDO + TARRO	gr	301.50
SUELO SECO + TARRO	gr	265.30
PESO DEL TARRO	gr	52.05
PESO DEL AGUA	gr	36.20
PESO DEL SUELO SECO	gr	213.25
HUMEDAD %	%	16.98

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

TARRO N°		LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO	
		C	V	B	1	8
SUELO HUMEDO + TARRO	g	24.49	24.91	30.69	13.41	13.60
SUELO SECO + TARRO	g	20.59	20.67	26.37	12.39	12.64
PESO DEL TARRO	g	9.55	9.03	14.30	6.30	6.35
PESO DEL AGUA	g	3.90	4.24	4.32	1.02	0.96
PESO DEL SUELO SECO	g	11.04	11.64	12.07	6.09	6.29
HUMEDAD %	%	35.33	36.43	35.79	16.75	15.28
N° DE GOLPES		35	23	15		

LÍMITE LÍQUIDO % : 35.50 **LÍMITE PLÁSTICO % :** 16.01

ÍNDICE PLÁSTICO % : 19.49

$$LL = W_h \cdot (N/25)^{0.121}$$

Donde:

LL = Límite Líquido

W_h = Contenido de Humedad Promedio (%)

N = Número de Golpes



UANCV - FICP
CAP INGENIERÍA CIVIL

MSc. ARNOLDO VANA TORRES
CIP 103257



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

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO (ASTM D422)

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

TESIS: INCIDENCIA DE LA APLICACIÓN DE CENIZA DE QUINUA Y CAL EN LA SUBRASANTE DE LA TROCHA CARROZABLE DE LA COMUNIDAD DE COLLANA, JULIACA 2024

SOLICITANTE: Bach. LUCERO MARGIORI SUPO PEREZ

MUESTRA: CALICATA N° 01

PROFUNDIDAD: 1.50 m

LUGAR: COMUNIDAD DE COLLANA - JULIACA

FECHA: 10 DE SETIEMBRE DEL 2024

TAMICES ASTM	ABER. mm	PESO RETENIDO	%RETENIDO PARCIAL	%RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
3"	75.000				
2 1/2"	63.000	0.00	0.00	0.00	100.00
2"	50.000	0.00	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	38.100	0.00	0.00	0.00	100.00
1"	25.000	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.000	0.00	0.00	0.00	100.00
1/2"	12.500	0.00	0.00	0.00	100.00
3/8"	9.500	0.00	0.00	0.00	100.00
1/4"	6.300				
No4	4.750	1.68	0.56	0.56	99.44
No8	2.360				
No10	2.000	16.15	5.38	5.94	94.06
No16	1.180				
No20	0.850	20.10	6.70	12.64	87.36
No30	0.600				
No40	0.425	18.10	6.03	18.68	81.32
No50	0.300	16.30	5.43	24.11	75.89
No60	0.250				
No80	0.180				
No100	0.150	14.20	4.73	28.84	71.16
No200	0.075	26.55	8.85	37.69	62.31
BASE		186.92	62.31	100.00	0.00
TOTAL		300.00	100.00		
% PERDIDA		62.31			

TAMANO MAXIMO:

DESCRIPCION DE LA MUESTRA

P.L.= 300.00
P.L.= 113.08
P.P.= 186.92
% W = 16.98

LIMITES DE CONSISTENCIA:

LL.= 35.50
LP.= 16.01
I.P.= 19.49

CARACT. GRANULOMETRICAS:

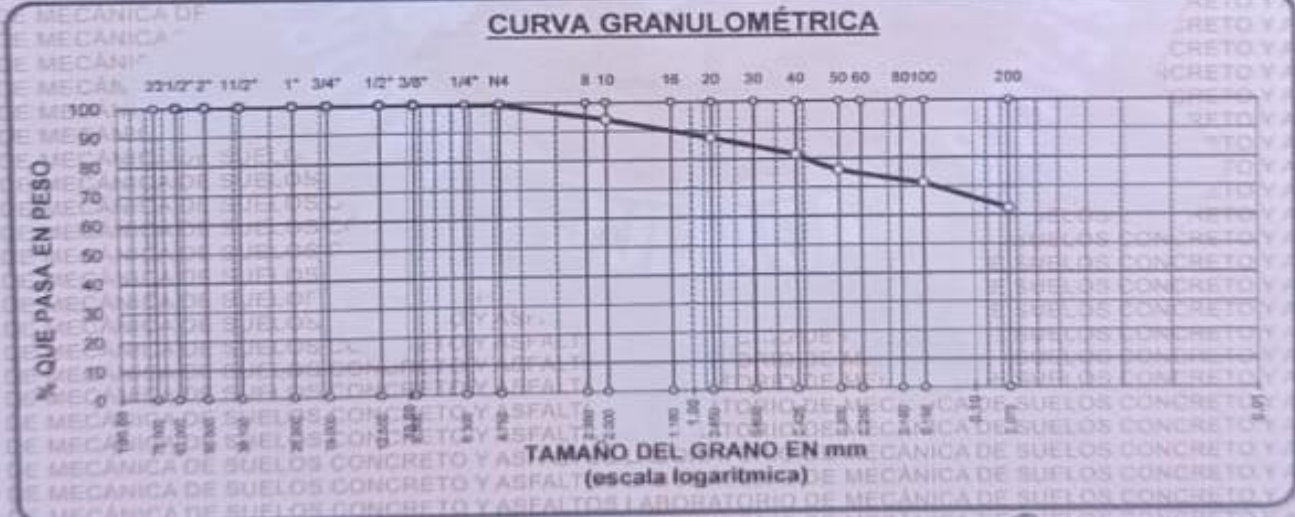
D10= — Cu= —
D30= — Cc= —
D60= —

CLASIFICACION:

SUCS : CL
AASHTO : A-6 (10)

Grava 0.56 %
Arena 37.13 %
Finos 62.31 %

CURVA GRANULOMÉTRICA



UANCV, FICP
CAP INGENIERIA CIVIL
M^{te} ARNOLDO MINATORRES
CIP 103257



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

TESIS: INCIDENCIA DE LA APLICACIÓN DE CENIZA DE QUINUA Y CAL EN LA SUBRASANTE DE LA TROCHA CARROZABLE DE LA COMUNIDAD DE COLLANA, JULIACA 2024
SOLICITANTE: Bach. LUCERO MARGIORI SUPO PEREZ
MUESTRA: CON 6% DE CAL + 4% DE CENIZAS DE QUINUA
FECHA: 10 DE SEPTIEMBRE DEL 2024

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

SUELO HUMEDO + TARRO	gr	265.30
SUELO SECO + TARRO	gr	240.10
PESO DEL TARRO	gr	51.20
PESO DEL AGUA	gr	25.20
PESO DEL SUELO SECO	gr	188.90
HUMEDAD %	%	13.34

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

LÍMITE LIQUIDO

TARRO N°		Q	W	E
SUELO HUMEDO + TARRO	g	42.30	39.68	37.15
SUELO SECO + TARRO	g	38.40	36.20	34.12
PESO DEL TARRO	g	26.10	26.02	26.15
PESO DEL AGUA	g	3.90	3.48	3.03
PESO DEL SUELO SECO	g	12.30	10.18	7.97
HUMEDAD %	%	31.71	34.18	38.02
N° DE GOLPES		28	24	17

LÍMITE PLÁSTICO

Y	U
22.17	20.18
21.01	19.35
14.30	14.40
1.16	0.83
6.71	4.95
17.29	16.77

LÍMITE LIQUIDO % : 34.15 **LÍMITE PLÁSTICO % :** 17.03
ÍNDICE PLÁSTICO % : 17.12

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



UANCV - FICP
CAP INGENIERIA CML
MSc. ARNALDO VIANAY TORRES
CIP 103257



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

TESIS: INCIDENCIA DE LA APLICACIÓN DE CENIZA DE QUINUA Y CAL EN LA SUBRASANTE DE LA TROCHA CARROZABLE DE LA COMUNIDAD DE COLLANA, JULIACA 2024

SOLICITANTE: RICH, LUCERO MARGIORI SUPO PÉREZ

MUESTRA: CON 6% DE CAL + 8% DE CENIZAS DE QUINUA

FECHA: 10 DE SEPTIEMBRE DEL 2024

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

SUELO HUMEDO + TARRO	gr	284.60
SUELO SECO + TARRO	gr	262.00
PESO DEL TARRO	gr	55.00
PESO DEL AGUA	gr	22.60
PESO DEL SUELO SECO	gr	207.00
HUMEDAD %	%	10.92

LÍMITE LÍQUIDO - LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD

ASTM - D424 D-4318

AASHTO - T90

LÍMITE LÍQUIDO

LÍMITE PLÁSTICO

TARRO N°		A	S	D
SUELO HUMEDO + TARRO	g	32.60	33.30	32.83
SUELO SECO + TARRO	g	29.78	30.00	29.55
PESO DEL TARRO	g	18.60	18.15	18.32
PESO DEL AGUA	g	2.82	3.30	3.28
PESO DEL SUELO SECO	g	11.18	11.85	11.23
HUMEDAD %	%	25.22	27.85	29.21
N° DE GOLPES		26	20	18

H	J
18.80	18.20
17.50	16.89
8.35	8.40
1.30	1.31
9.15	8.49
14.21	15.43

LÍMITE LÍQUIDO % : 26.84 **LÍMITE PLÁSTICO % :** 14.82

ÍNDICE PLÁSTICO % : 12.02

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

Donde:

LL = Límite Líquido

W_n = Contenido de Humedad Promedio (%)

N = Número de Golpes



UANCV - FICP
CAP INGENIERÍA CIVIL

MSc. ARNALDO MANA TORRES
CIP: 103257



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



TESIS: INCIDENCIA DE LA APLICACIÓN DE CENIZA DE QUINUA Y CAL EN LA SUBRASANTE DE LA TROCHA CARROZABLE DE LA COMUNIDAD DE COLLANA, JULIACA 2024
SOLICITANTE: RICHY LUCERO MARGIORI SUPO PEREZ
MUESTRA: CON 6% DE CAL + 1.7% DE CENIZAS DE QUINUA
FECHA: 10 DE SEPTIEMBRE DEL 2024

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

SUELO HUMEDO + TARRO	gr	253.60
SUELO SECO + TARRO	gr	238.50
PESO DEL TARRO	gr	50.20
PESO DEL AGUA	gr	15.10
PESO DEL SUELO SECO	gr	188.30
HUMEDAD %	%	8.02

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

TARRO N°	LÍMITE LIQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO		
	Z	X	C	V	B	
SUELO HUMEDO + TARRO	g	33.35	34.20	33.28	17.65	18.81
SUELO SECO + TARRO	g	31.05	30.80	31.10	16.82	17.72
PESO DEL TARRO	g	19.80	20.20	20.00	10.40	10.00
PESO DEL AGUA	g	2.30	3.40	2.18	0.83	1.09
PESO DEL SUELO SECO	g	11.25	10.60	11.10	6.42	7.72
HUMEDAD %	%	20.44	32.08	19.64	12.93	14.12
N° DE GOLPES		25	22	15		
LÍMITE LIQUIDO %	:	23.50	LÍMITE PLÁSTICO %	:	13.52	
			ÍNDICE PLÁSTICO %	:	9.97	

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

UANCV - FICP
 CAP INGENIERIA CIVIL

 MSc. ARNULFO MANRÍQUEZ
 CIP 103257



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: 03-01-2025

1. Datos del autor (es):

Nombres y Apellidos: LUCERO MARGIORI SUPO PEREZ

Dirección: UPIS PAISAJISTA MZ. Y LT 03 - AREQUIPA

DNI/Carné de Extranjería/Pasaporte N°: 75915746

Teléfono: 913223202 email: lucmar_020@hotmail.com

Nombres y Apellidos:

Dirección:

DNI/Carné de Extranjería/Pasaporte N°:

Teléfono: email:

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

Escuela Profesional o Mención: INGENIERÍA CIVIL

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

Asesor: Dr. ARNALDO YANA TORRES

Esta obra se encuentra dentro de las siguientes denominaciones:

Trabajo de Investigación [] Tesis [X] Trabajo de Suficiencia Profesional [] Trabajo Académico []

Título: INCIDENCIA DE LA APLICACIÓN DE CENIZA DE QUINUA Y CAL EN LA SUBRASANTE

DE LA TROCHA CARROZABLE DE LA COMUNIDAD DE COLLANA, JULIACA 2024

Palabras claves, (3 a 5 términos): CENIZA DE QUINUA, CAL, SUBRASANTE, TROCHA CARROZABLE

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

1

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.



2. Referencia de tesis:

- Bachiller
- Título
- 2da Especialidad
- Maestría
- Doctorado

3. Licencias:

a) Licencia estándar:

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

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

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

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

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

Autorizo su publicación (marque con una X)

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

b) Licencia CREATIVE COMMONS 4.0 INTERNACIONAL:

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

¿Quiere permitir usos comerciales de su producción intelectual?

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

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

- Sí autorizo
- No autorizo



Jurisdicción de su Licencia

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

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

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

Internacional

Nacional

Línea de investigación: TECNOLOGÍA DE MATERIALES - P17

Firma de Autor



huella digital

03 de enero del 2025

Fecha