



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

**Efecto de la ceniza de tallo de mostaza en las propiedades físico-mecánicas de la subrasante de un suelo arenoso arcilloso para la trocha carrozable, Alpacollo – El Collao – Puno 2023**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
Ingeniero Civil**

**AUTOR:**

Liendo Cruz, Osmar David ([orcid.org/0000-0003-1227-9398](https://orcid.org/0000-0003-1227-9398))

**ASESOR:**

Dr. Vildoso Flores, Alejandro ([orcid.org/0000-0003-3998-5671](https://orcid.org/0000-0003-3998-5671))

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

Diseño de Infraestructura Vial

**LÍNEA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA:**

Desarrollo sostenible y adaptación al cambio climático

LIMA – PERÚ

2023

### **Dedicatoria**

Dedicado a mi madre Sandra por brindarme su apoyo, comprensión y paciencia en todo momento.

A mi padre José Luis quien guía e ilumina mis pensamientos desde el cielo.

A mi novia Judith Sayda, por darme motivación y fuerza de voluntad en momentos negativos.

### **Agradecimiento**

Agradezco a la Universidad Cesar Vallejo por la exigencia de realizar una investigación de calidad, proporcionando soporte administrativo y técnico.

A mi asesor Dr. Ing. Alejandro Vildoso Flores por su guía, colaboración y paciencia en el desarrollo de esta investigación.

A mis suegros Rolando y Lorenza por su apoyo a lo largo de esta investigación.



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

### **Declaratoria de Autenticidad del Asesor**

Yo, VILDOSO FLORES ALEJANDRO, docente de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA CIVIL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - LIMA ESTE, asesor de Tesis titulada: "Efecto de la ceniza de tallo de mostaza en las propiedades físico-mecánicas de la subrasante de un suelo arenoso arcilloso para la trocha carrozable, Alpacollo – El Collao – Puno 2023", cuyo autor es LIENDO CRUZ OSMAR DAVID, constato que la investigación tiene un índice de similitud de 14.00%, verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin, el cual ha sido realizado sin filtros, ni exclusiones.

He revisado dicho reporte y concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la Tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

En tal sentido, asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

LIMA, 06 de Diciembre del 2023

Apellidos y Nombres del Asesor:	Firma
VILDOSO FLORES ALEJANDRO DNI: 10712728 ORCID: 0000-0003-3998-5671	Firmado electrónicamente por: AVILDOSOFL el 18- 12-2023 09:00:04

Código documento Trilce: TRI - 0685145



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

### **Declaratoria de Originalidad del Autor**

Yo, LIENDO CRUZ OSMAR DAVID estudiante de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA CIVIL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - LIMA ESTE, declaro bajo juramento que todos los datos e información que acompañan la Tesis titulada: "Efecto de la ceniza de tallo de mostaza en las propiedades físico-mecánicas de la subrasante de un suelo arenoso arcilloso para la trocha carrozable, Alpacollo – El Collao – Puno 2023", es de mi autoría, por lo tanto, declaro que la Tesis:

1. No ha sido plagiada ni total, ni parcialmente.
2. He mencionado todas las fuentes empleadas, identificando correctamente toda cita textual o de paráfrasis proveniente de otras fuentes.
3. No ha sido publicada, ni presentada anteriormente para la obtención de otro grado académico o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de la información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

Nombres y Apellidos	Firma
OSMAR DAVID LIENDO CRUZ DNI: 46405926 ORCID: 0000-0003-1227-9398	Firmado electrónicamente por: ODLIENDO el 06-12- 2023 12:00:18

Código documento Trilce: TRI - 0685147

## Índice de contenidos

Dedicatoria .....	ii
Agradecimiento .....	iii
Declaratoria de Autenticidad del Asesor .....	iv
Declaratoria de Originalidad del Autor .....	v
Índice de contenidos .....	vi
Índice de tablas .....	vii
Índice de figuras .....	viii
Índice de ecuaciones.....	ix
Índice de anexos .....	x
RESUMEN.....	xii
ABSTRACT .....	xiii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. MARCO TEÓRICO .....	5
III. METODOLOGÍA.....	15
3.1. Tipo y diseño de investigación.....	15
3.2. Variables y operacionalización .....	16
3.3. Población, muestra y muestreo .....	17
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	17
3.5. Procedimientos .....	18
3.6. Métodos de análisis de datos .....	24
3.7. Aspectos éticos.....	25
IV. RESULTADOS .....	26
V. DISCUSIÓN.....	42
VI. CONCLUSIONES.....	48
VII. RECOMENDACIONES .....	49
REFERENCIAS.....	50
ANEXOS.....	54

## Índice de tablas

Tabla 1	<i>Composición: Planta mostaza en 100gr</i> .....	10
Tabla 2	<i>Distancias a Puno - llave</i> .....	28
Tabla 3	<i>Composición de la Ceniza de tallo de mostaza por DRX</i> .....	30
Tabla 4	<i>Composición de la Ceniza de tallo de mostaza por FRX</i> .....	31
Tabla 5	<i>Contenido de humedad natural</i> .....	31
Tabla 6	<i>Datos de la muestra por calicata</i> .....	32
Tabla 7	<i>Datos de Límites de Atterberg</i> .....	33
Tabla 8	<i>Clasificación del Suelo por calicata</i> .....	34
Tabla 9	<i>Ensayo Proctor del suelo Natural por calicata</i> .....	35
Tabla 10	<i>Ensayo CBR por calicata</i> .....	36
Tabla 11	<i>Índice plástico del suelo inicial con adición de cenizas</i> .....	37
Tabla 12	<i>Ensayo Proctor modificado de C-3 y C-4</i> .....	38
Tabla 13	<i>Ensayo CBR (C-3 y C-4)</i> .....	39
Tabla 14	<i>Partida de mejoramiento de Subrasante tradicionalmente</i> .....	40
Tabla 15	<i>Partida de mejoramiento de Subrasante con ceniza</i> .....	41

## Índice de figuras

Figura 1	<i>Límites de Atterberg</i> .....	13
Figura 2	<i>Procedimiento de trabajo</i> .....	19
Figura 3	<i>Reconocimiento de campo</i> .....	20
Figura 4	<i>Excavación en C-01</i> .....	20
Figura 5	<i>Excavación en C-02</i> .....	21
Figura 6	<i>Excavación en C-03</i> .....	21
Figura 7	<i>Excavación en C-4</i> .....	22
Figura 8	<i>Recolección de planta de mostaza en cultivos</i> .....	22
Figura 9	<i>Secado de planta de mostaza</i> .....	23
Figura 10	<i>Tallo de mostaza secada sin flores y hojas</i> .....	23
Figura 11	<i>Incineración de ceniza</i> .....	24
Figura 12	<i>Ubicación Departamental y Provincial</i> .....	26
Figura 13	<i>Ubicación distrital y local</i> .....	27
Figura 14	<i>Contenido de Humedad Suelo natural</i> .....	32
Figura 15	<i>Diagrama de barras de datos de muestra</i> .....	33
Figura 16	<i>Índice plástico de Suelo natural</i> .....	34
Figura 17	<i>CHO del suelo natural</i> .....	35
Figura 18	<i>DMS del suelo natural</i> .....	35
Figura 19	<i>CBR de Suelo natural</i> .....	36
Figura 20	<i>Índice plástico de Suelo natural y porcentajes de ceniza</i> .....	37
Figura 21	<i>Contenido de humedad optimo (C-3 y C-4)</i> .....	38
Figura 22	<i>Densidad Máx. Seca (C-3 y C-4)</i> .....	39
Figura 23	<i>Ensayo de CBR (C-3 y C-4)</i> .....	40
Figura 24	<i>Índice plástico de calicatas C-3 y 4</i> .....	44

## RESUMEN

La presente investigación “Efecto de la ceniza de tallo de mostaza en las propiedades físico-mecánicas de la subrasante de un suelo arenoso arcilloso para la trocha carrozable, Alpacollo – El Collao – Puno 2023”, cuyo objetivo general fue determinar el efecto de la ceniza de tallo de mostaza en las propiedades físico-mecánicas de la subrasante de un suelo arenoso arcilloso en una trocha carrozable, Alpacollo – El Collao – Puno 2023, donde se trabajó con porcentajes de 5%, 10% y 15% de ceniza para aumentar las cualidades mecánicas y físicas, además ajustarse a los requisitos mínimos en una subrasante. El diseño de estudio fue cuasi experimental, nivel explicativo y de enfoque cuantitativo. Su población fue el camino vecinal de trocha carrozable de la comunidad de San Miguel de Alpacollo, se tuvo un muestreo no probabilístico, en donde se consideró a la calicata C-3 y C-4 de una población de 04 calicatas realizadas, ubicada en la progresiva 1+000 y 1+470. Los instrumentos empleados fueron ensayos de granulometría (MTC E109), Límites de Atterberg (MTC E111), Proctor Modificado (MTC E 115-2000) y CBR (MTC E132-2000). Posteriormente se obtuvo resultados con la adición del 5%, 10% y 15% de ceniza de tallo de mostaza en las propiedades físico-mecánicas de la subrasante areno arcillosa; se disminuyó el índice plástico en el suelo del 6% de la muestra patrón en la calicata C-3 a 4%, 3% y 2%. Y de 9% de la calicata C-4 al 7%, 4% y 3%, se redujo el óptimo contenido de humedad de 10.40% en la calicata C-3 a 9.10%, 9.50% y 9.0% y de 15.50% de la calicata C-4 a 13.60%, 13.30% y 12.60% se aumentó la densidad máxima seca de 1.986 gr/cm<sup>3</sup> de la calicata C-3 a 1.996gr/cm<sup>3</sup>, 2.009gr/cm<sup>3</sup> y 2.062gr/cm<sup>3</sup> y de 1.705gr/cm<sup>3</sup> de la calicata C-4 a 1.729 gr/cm<sup>3</sup>, 1.768 gr/cm<sup>3</sup> y 1.787 gr/cm<sup>3</sup> con la adición de ceniza en todos sus porcentajes, siendo el más resaltante la adición del 15%. Finalmente se observa el incremento del CBR al 95% - 01” del 9.3% al 11.1% 13.0% y 13.5% de la calicata C-3 y del 3.9% al 4.6%, 5.3% y 5.6% de la calicata C-4, mejorando las propiedades físico-mecánicas del suelo de subrasante.

**Palabras clave:** ceniza de mostaza, estabilización, subrasante, suelo arcilloso.

## ABSTRACT

The present research "Effect of mustard stalk ash on the physical-mechanical properties of the subgrade of a sandy clayey soil for a dirt road, Alpacollo - El Collao - Puno 2023", whose general objective was to determine the effect of mustard stalk ash on the physical-mechanical properties of the subgrade of a sandy clayey soil in a dirt road, Alpacollo - El Collao - Puno 2023, where we worked with percentages of 5%, 10% and 15% of ash to increase the mechanical and physical qualities, in addition to adjusting to the minimum requirements in a subgrade. The study design was quasi-experimental, explanatory level and quantitative approach. Its population was the local dirt road of the community of San Miguel de Alpacollo, with a non-probabilistic sampling, where the C-3 and C-4 test pits were considered out of a population of 04 test pits carried out, located in the progressive 1+000 and 1+470. The instruments used were granulometry tests (MTC E109), Atterberg Limits (MTC E111), Modified Proctor (MTC E 115-2000) and CBR (MTC E132-2000). Subsequently, results were obtained with the addition of 5%, 10% and 15% mustard stem ash on the physico-mechanical properties of the clayey sand subgrade; the plastic index in the soil was reduced from 6% of the standard sample in test pit C-3 to 4%, 3% and 2%. And from 9% of test pit C-4 to 7%, 4% and 3%, the optimum moisture content was reduced from 10.40% of test pit C-3 to 9.10%, 9.50% and 9.0% and from 15.50% of test pit C-4 to 13.60%, 13.30% and 12.60%, the maximum dry density increased from 1.986 gr/cm<sup>3</sup> from pit C-3 to 1.996gr/cm<sup>3</sup>, 2.009gr/cm<sup>3</sup> and 2.062gr/cm<sup>3</sup> and from 1.705gr/cm<sup>3</sup> from pit C-4 to 1.729 gr/cm<sup>3</sup>, 1.768 gr/cm<sup>3</sup> and 1.787 gr/cm<sup>3</sup> with the addition of ash in all percentages, the most outstanding being the addition of 15%. Finally, the CBR at 95% - 01" increased from 9.3% to 11.1%, 13.0% and 13.5% for pit C-3 and from 3.9% to 4.6%, 5.3% and 5.6% for pit C-4, improving the physical-mechanical properties of the subgrade soil.

**Keywords:** mustard ash, stabilization, subgrade, clay soil.

## I. INTRODUCCIÓN

Las redes de carreteras a **niveles internacionales** son esenciales para su expansión y desarrollo porque proyectan oportunidades de empleo, alimentación, atención sanitaria y educación, siendo este el medio más usado actualmente; sin embargo, en Latinoamérica se tiene deficiencia en relación a la infraestructura de vías por sus tramos deteriorados los cuales incrementan los costos de transporte debido a una inestabilidad de la subrasante, siendo esta la base de soporte de un pavimento rígido o flexible.

A **nivel nacional**, Perú cuenta con aproximadamente 78 mil kilómetros de una red vial, de los cuales 300 kilómetros corresponden a autopistas, pero en su mayoría presentan deficiencias en la infraestructura vial a comparación de países cercanos como Chile, y Argentina. Por tanto, requiere inversiones de dos mil millones de dólares para absolver tales deficiencias (Guzmán Boza, 2015).

Seguidamente a **nivel regional**, el transporte de calidad de la región de Puno, es del 31%, encontrándose por debajo del promedio nacional, donde solo se tiene acceso al 41% de los servicios de infraestructura básica como agua, desagüe y electricidad, por lo que indica a menor infraestructura mayor es la pobreza (Cruz, 2022). Ante esta situación el requiriéndose de una red vial que pueda mantenerse durante el tiempo de su vida útil, sin necesitar excesivo mantenimiento, motiva a realiza el estudio de cenizas de tallos de mostaza para estabilizar la sub rasante en el centro poblado de Alpacollo y ayudar en la concepción de una red vial de calidad.

Por lo expuesto, se propuso como **problema general** las siguientes preguntas: ¿cuál es el efecto de la ceniza de tallo de mostaza en las propiedades físico-mecánicas de la subrasante de un suelo arenoso arcilloso en una trocha carrozable, Alpacollo – El Collao – Puno 2023?, prosiguiendo se plantearon los siguientes **problemas específicos**; ¿cuál es el procedimiento para obtener ceniza de tallo de mostaza para la aplicación en la subrasante de suelo arenoso arcilloso en una trocha carrozable, Alpacollo – El Collao – Puno 2023?, ¿Cuál es la subrasante más inadecuada del suelo natural en la trocha carrozable, Alpacollo – El Collao – Puno 2023?, ¿cuánto varia el índice de plasticidad en la subrasante de suelo

arenoso arcilloso aplicando ceniza de tallo de mostaza en una trocha carrozable, Alpacco – El Collao – Puno 2023?, ¿cuál es la influencia de ceniza de tallo de mostaza en la máxima densidad seca y contenido de humedad en la subrasante de suelo arenoso arcilloso, en una trocha carrozable Alpacco – El Collao – Puno 2023?, ¿cuál es la variación del CBR al estabilizar la subrasante de suelo arenoso arcilloso con la adición de cenizas de tallos de mostaza en una trocha carrozable, Alpacco – El Collao – Puno 2023? y ¿cuál es el costo beneficio de una subrasante de suelo arenoso arcilloso con y sin adición de ceniza de tallos de mostaza en una trocha carrozable, Alpacco – El Collao – Puno 2023?.

La **justificación teórica** en esta investigación propone nuevas alternativas de solución a la estabilización de subrasante en suelo arenoso arcilloso aplicando Ceniza de Tallos de Mostaza (CTM), a través de la reutilización del material orgánico, el cual es conocida como una maleza de cultivo (Savendra Savendra et al., 2015); asimismo muchos pobladores Puneños se dedica a la ganadería y en mayor parte a la agricultura desechando este material orgánico. Sin embargo estudios demuestran que demuestra que “la adición de ceniza influye positivamente, mejorando la estabilización de la subrasante” (Ordoño Quilca, 2022), en tal sentido “la incorporación de cenizas logra alcanzar buenos resultados en el suelo influenciando eficientemente en las propiedades físico-mecánicas en la estabilización de la subrasante con el uso de la ceniza” (Escobar Lupaca, 2022).

**Justificación metodológica**, el trabajo realizado ayudará en la concepción y evaluación de nuevos métodos de estabilización, mediante la comparación entre otros productos de ceniza con composiciones y dosificaciones distintas; además lograr sustentar los resultados con pruebas de laboratorio tal forma sirva a futuras investigaciones.

**Justificación técnica**, acorde a la comparación de otros productos de ceniza, se tiene la hipótesis de que la CTM generará silicatos que pueden ayudar en la estabilización de suelos, a fin de generar nuevas metodologías de trabajo.

**Justificación social**, se involucra al desarrollo en cuanto al mejoramiento de vías en proyección y construcción, mediante la estabilización de la subrasante en vías,

además coadyuva al deshierbe de malezas de cultivo, a la población que se dedica a la agricultura.

**Justificación económica**, la elaboración de ceniza de tallo de mostaza no genera costos en adquisición por ser un producto de desperdicio el cual es eliminado por ser considerada una maleza en los campos de cultivos.

**Justificación ambiental**, se busca la reutilización de productos orgánicos del deshierbe, donde son desperdiciados dando un uso diferente, mediante la calcinación y aprovechamiento de sus propiedades para la estabilización de suelos.

El **objetivo general** que se planteó determinar el efecto de la CTM en las propiedades físico-mecánicas de la subrasante de un suelo arenoso arcilloso en una trocha carrozable, Alpacollo – El Collao – Puno 2023. Abarcando los siguientes **objetivos específicos**; como conceptualizar el procedimiento para obtener ceniza de tallo de mostaza para la aplicación en la subrasante de suelo arenoso arcilloso en una trocha carrozable, estimar la subrasante más inadecuada del suelo natural en la trocha carrozable, identificar la variación del índice de plasticidad de la subrasante de suelo arenoso arcilloso aplicando ceniza de tallo de mostaza en una trocha carrozable, registrar la influencia de ceniza de tallo de mostaza en la máxima densidad seca y contenido de humedad en la subrasante de suelo arenoso arcilloso en una trocha carrozable, determinar la variación del CBR al estabilizar la subrasante de suelo arenoso arcilloso con la adición de cenizas de tallos de mostaza en una trocha carrozable, y calcular el costo beneficio de una subrasante de suelo arenoso arcilloso con y sin adición de ceniza de tallos de mostaza en una trocha carrozable, Alpacollo – El Collao – Puno 2023.

Teniendo como **hipótesis general** la aplicación de ceniza de tallo de mostaza influye de manera positiva en la estabilización de una subrasante de suelo arenoso arcilloso en una trocha carrozable, Alpacollo – El Collao – Puno 2023. Las **hipótesis específicas**: la aplicación del tallo de mostaza en la subrasante se realiza previo procedimiento y la correcta acreditación de la misma. Analizando las propiedades físico-mecánicas del suelo se pudo estimar la subrasante más inadecuada del suelo natural en la trocha carrozable, Alpacollo – El Collao – Puno 2023. La aplicación de ceniza de tallo de mostaza disminuye el índice de plasticidad

en la subrasante de suelo arenoso arcilloso en una trocha carrozable, Alpacco - El Collao - Puno 2023. La ceniza de tallo de mostaza reduce la densidad máxima seca y aumento el contenido de humedad de la subrasante de suelo arenoso arcilloso en una trocha carrozable, Alpacco - El Collao - Puno 2023, se tuvo una variación positiva del CBR al estabilizar la subrasante de suelo arenoso arcilloso con la adición de cenizas de tallos de mostaza en una trocha carrozable, Alpacco - El Collao - Puno 2023, el costo beneficio de una subrasante de suelo arenoso arcilloso con adición de ceniza de tallo de mostaza en una trocha carrozable no es más económica que de un suelo natural, Alpacco - El Collao - Puno 2023.

## II. MARCO TEÓRICO

En esta etapa se tuvo los siguientes **antecedentes internacionales** que guardan relación con los objetivos de estudio.

En tal sentido, para el autor Andaluz (2022) en su estudio analizó cómo la ceniza de cáscara de arroz afectaba a las características físico-mecánicas de un suelo de subrasante, abordando una **metodología** de diseño experimental, teniendo como muestra 3 calicatas, donde se extrajeron 5 muestras de 42 kg por muestra alcanzándose los siguientes **resultados** a la adición de ceniza, del 0%, 1%, 3%, 5% y 8% de dosificación, intensificando el rango de valores del CBR, de 7.80% al 12.10%, 8.40% al 13.50% y 8.60% al 13.20%, por otro lado, elevó el contenido de humedad al tiempo que redujo la densidad seca máxima, **concluyó** se mejoran las características físico-mecánicas del suelo de la subrasante (p.7).

Igualmente, Vargas et al. (2020) cuyo objetivo fue determinar los efectos de la ceniza de cascarilla de café en las propiedades de un suelo afirmado, definiendo una nueva metodología para su estabilización, se utilizó una **metodología** de diseño experimental donde la población es el tramo 02 del km 33+230 del corregimiento de Gualanday el cual estuvo en construcción, la muestra de suelo fue extraída de los terraplenes de la vía, generando 22 muestras para los ensayos de granulometría, Proctor, CBR y maquina los ángeles, se alcanzaron los siguientes **resultados** con la adicción de ceniza al 0%, 4%, 8% y 14%, donde el porcentaje más resaltante fue el de 14% por obtener un mejor desempeño como material estabilizante, disminuyendo en la densidad máxima seca y aumentando el porcentaje de humedad óptima, además, el CBR a 0.1" de penetración obtuvo una mejoría del 19% al 27% y 0.2" de penetración del 64% al 87%, se **concluyó** que se puede obtener mejores resultados en un pavimento flexible con la adición de ceniza de cascarilla de café (p. 40-64).

Seguidamente Cobos Molina et al. (2019) plantearon como objetivo la evaluación de suelos de origen volcánico y estabilizarlos con ceniza de cisco de café y cáscara de coco, aplicando una **metodología** de diseño experimental, su población es la finca Monte Madero, municipio de Murillo, Manizales – Tolima, que tiene influencia directa en su suelo de ceniza de origen volcánico, se utilizaron 4 muestras en moldes CBR, para los **resultados** se adicionó ceniza al 5%, 10% y 15%, siendo el

valor resaltante cuando se agrega 15% de ceniza de coco, dando valores del 101.61% a 0.1" y 91.21% al 0.2" disminuyendo la densidad seca, finalmente **concluyeron** que las cenizas de CCF y CCO funcionan como material conglomerante permitiendo potenciar las propiedades del suelo ( p. 5-6).

Asimismo, en otra investigación no menos importante de Camargo Triana & Peralta Melo (2020) trazaron como objetivo analizar la ceniza de cascarilla de café y su efecto en la resistencia de un suelo mediante compresión inconfiada, utilizando una **metodología** descriptiva con enfoque mixto, donde la población fue el municipio de Viotá – Cundinamarca, se tuvo una muestra de 50kg de una calicata, los **resultados** al adicionar 12% de ceniza de cáscara de café tuvo la disminución en su densidad máxima seca e incremento de su humedad óptima, se **concluyeron** que se favoreció al suelo de arcilla de baja plasticidad, sin embargo se necesitan más estudios para determinar si este aditivo mejorará en suelos arcillosos ( p. 13-14).

Dentro de los **antecedentes internacionales** encontrados a en el idioma inglés se consideraron a los siguientes en la investigación Neguse et al. (2023) Conducted a study on the effectiveness of subgrade expansive soil stabilized with Enset ash, resulting in USCS CH and AASHTO A-7-5 soil class, with an increase in Enset ash concentration, soil liquid limit, plasticity index, free swelling index, and free swelling ratio decreased. With the increase in Enset ash concentration, the strength test results reveal that the CBR, UCS, and OMC increase and decrease in MDD value, concluded that the soil stabilized with Enset ash meets the minimum vias criterion in Ethiopian. (p.1-2).

Los investigadores Sema & Lamine (2019) detailed that stabilization of clayey soils with fly ash took a quasi-experimental approach, in this study, the effects of adding varying amounts of Orhaneli fly ash and 2% lime to clayey soils from the Bursa Uluda University campus were analyzed, unconfined compression tests were performed on the combinations after three, seven and 28 days of curing to determine their strength. Conclusions: It was found that increasing the proportions of lime and fly ash in clay soil increases the strength of high plasticity clay (p. 81-82).

Para Riyad et al. (2018) determined that the overall goal is to examine the impact of fly ash content on the technical characteristics of stabilized soils in Bangladesh's southwest. The inductive method was employed, and it was found that the plasticity limit decreases as ash content increases. Additionally, favorable results were found for the samples' compressive strength values, and it was determined that 20% and 30% was the optimal percentage for ashes. The results of this mixture of fly ash and cement provide alternative methods to improve soils with limited bearing capacity. The sample revealed a value of 16% compressive strength, whereas the soil with organic content obtained a compressive strength of 12.5% (p. 223-224).

Igualmente, en la investigación de Rai et al. (2021) focused on determining how fly ash (FA) and cement (OPC) residues affect the stabilization of subgrade soils by conducting an experimental study. He established that the Atterberg limit, plasticity index and free swelling index decrease with the addition of different proportions of 0%, 5%, 10%, 15% and 20% fly ash and 0%, 2%, 4%, 6% and 8% cement, with the best CBR value of the soil with a mixture of ash and cement being 10.12% (20% FA+8% OPC), increasing 71.34% from the initial value. concluded that the stability of a subgrade soil can be improved by adding fly ash and cement (p. 1-3).

Finalmente Zumrawi (2015) the general objective of this study is to determine the extent of the effect of fly ash as an additive to improve the stability of clayey soils by stabilizing the pavement subgrade. The technique used was experimental. The potential of the mixture decreased the swelling values from 18.7% to 4.5% and from 175 kPa to 75 kPa 75 to its strength grade, improving the stabilization for clayey soils The addition of cement and fly ash caused the sample to improve, according to the results of the laboratory tests. It can be stated that the experiment was successful in terms of formation, because most of the sample improved in terms of strength forces in an adequate proportion. As for the curing processes, the sample with fly ash addition increases its strength by 5%, and the CBR increases by 15% with the addition of fly ash before progressively decreasing (p. 219–223).

En **antecedentes nacionales** se consideró los siguientes estudios, primeramente, a Apaza Velásquez & Quispe Choque (2022) cuyo objetivo general fue examinar si la ceniza de cascará de trigo y tallo de maíz puede contribuir en el mejoramiento de la subrasante en la carretera San pablo – Chara, utilizando una metodología de

diseño de investigación experimental, cuantitativa de tipo aplicada, su población es el tramo de la carretera San Pablo – Chara de 6 km de longitud, donde se realizaron calicatas en las progresivas 2+000, 3+000 y 4+000, empleando un muestreo no probabilístico, se utilizó los porcentajes de dosificación en 10%, 15% y 20% el resultado que obtuvieron en la adición del 15% de ceniza, tuvo una disminución de la densidad máxima seca de los 1.75 g/cm<sup>3</sup> a 1.68 g/cm<sup>3</sup>, aumento de la humedad del 15.11% al 17.89%, incremento del CBR al 95% de 3.7% al 15.5% y del 100% de 4.6% al 23.20%, concluyeron que se tuvo mejoramiento de su resistencia, clasificado como bueno o muy bueno (p. 7-9).

Igualmente, Ordoño Quilca (2022) tuvo como objetivo examinar cómo la ceniza de las hojas de eucalipto y tallo de la muña pueden ayudar a estabilizar la subrasante de la carretera cercana PU-1065 en Puno en 2022, La población utilizada fue la carretera vecinal PU-1065, utilizando una metodología de enfoque cuantitativo aplicado de diseño cuasi-experimental con un nivel explicativo, con una muestra de 4 calicatas, muestreo no probabilístico, adicionó porcentajes de 3%, 5% y 7%, obteniendo los siguientes resultados; para su C-1 aumento el CBR al 95% de 4.2% al 5.4%, 6.6% y 8.2% también la C-2 del 26.1% al 27.8%, 30.1% y 32.5% con adición de ceniza del 3%(2%CHE+1%CTM), 5%(3%CHE+2%CTM) y 7%(4%CHE+3%CTM), siendo la última dosificación la más favorable Concluyó que se tiene una influencia positiva y mejora de la estabilización de la subrasante (p. 9-10).

Seguidamente, en la investigación de Corrales Álvarez (2021) donde su objetivo era averiguar cómo cambiará la avenida Manu en Salvación, Madre de Dios 2021 al añadir ceniza de tallo de plátano para estabilizar la subrasante, con una metodología de nivel explicativo, de diseño cuasi-experimental, cuantitativa y aplicada, donde su población fue la avenida Manu, Salvación – Madre de Dios de 906.4 m de longitud, con muestras entre las progresivas 0+503 m y 0+783 m, muestreo no probabilístico, utilizando fichas de recopilación de datos, donde se aplicó ceniza en 3%, 5% y 7%, resultando ser el más resaltante el 7%, mejorando el CBR al 95% de 3.9% a 9.3% además de incremental el módulo resiliente de 6104.8 psi a 9899.2 psi. Concluyó que se mejora la resistencia de la subrasante (p.12-13).

Finalmente, Escobar Lupaca (2022) en su investigación tuvo como objetivo determinar cómo afecta la adición de ceniza de tallo de quinua a las características físico-mecánicas para la estabilización de la subrasante en la carretera Checca-Mazocruz, Puno 2022, de diseño experimental, tipo aplicada, siendo su población la carretera Checca-Mazocruz de 8 km de longitud, con 4 calicatas de muestra, se incorporó ceniza en porcentajes de 0%, 1%, 3% 5.5% y 8%, donde se tuvo mejores resultados en la dosificación al 5.5%, aumentando la densidad seca de 1.778gr/cm<sup>3</sup> al 1.782gr/cm<sup>3</sup>, aumento del contenido de humedad de 16.20% al 16.90% y CBR de 8.65% al 23.0%, llegó a la conclusión de que las características físicas y mecánicas del subsuelo estabilizado mejoraron con la adición de ceniza de tallo de quinua (p. 9-10).

Dentro de las bases teóricas que tienen relación con las variables tenemos las siguientes; **planta de mostaza** proviene de la familia *Brassicaceae*, conocida como “mostaza de campo”, alcanza de 50 a 80 cm de altura, sin embargo, puede superar los 1.0 m en suelos fértiles. Sus tallos tienen pelos rígidos (tricomas) inclinados hacia abajo, que a veces son escasos, se ramifican en forma de roseta desde la base (Savedra Savedra et al., 2015). Está considerada como una mala hierba, que infesta, cultivos de invierno y cereales (Carbone et al., 2020), tiene presencia en bordes y márgenes como ruderal. También se puede utilizar como cubierta vegetal, cultivo de rotación de cultivos herbáceos, obtener su semilla mostaza para utilizarla como condimento y finalmente para biofumigación (Savedra Savedra et al., 2015). La planta de mostaza se clasifica de acuerdo a la tabla (Anexos, tabla D1), por otra parte, en su composición química se basa en la siguiente tabla 1.

**Tabla 1***Composición: Planta mostaza en 100gr*

<b>Componente</b>	<b>Cantidad</b>
Calcio	84 mg
Hierro	2 mg
Magnesio	48 mg
Sodio	1252 mg
Potasio	130 mg
Fósforo	73 mg
Selenio	36 mg

*Fuente: EFSA 2010*

Las **puzolanas**; se describe en dos tipos, las cenizas procedentes de eflorescencias magmáticas constituyen las naturales y en rocas volcánicas que componen sílice de manera orgánica y otras que son artificiales; son cenizas volantes de plantas térmicas, cenizas de escorias de ladrillos, fundición y carbón, también las cenizas de residuos agrícolas obteniendo sílice y alúmina (Lencinas Valeriano & Incahuanaco Callata, 2017).

Las **cenizas**; acorde al ASTM C618-03 se divide en tres tipos, la clase N, F y C, la clase N corresponde a puzolanas naturales crudas o calcinadas (ASTM C618 - 03, 2010), además, A diferencia de las cenizas de tipo C, con un contenido de óxido de calcio ligeramente superior al 30% y altas concentraciones de óxido de azufre; las cenizas de tipo F están formadas principalmente por óxidos de silicio, aluminio y hierro, que constituyen un 70% del material. Las cenizas de tipo F también tienen un valor de óxido de calcio muy bajo, inferior al 10%. (Rivera et al., 2020).

La **subrasante**; acuerdo al MTC (2014), es la base directa de la estructura del pavimento, compuesta por suelos cuidadosamente seleccionados y compactados en capas hasta formar una estructura que soporte los requisitos de servicio, la carga de diseño y el tráfico, se denomina subrasante, se pueden clasificar acorde a la tabla (Anexos, tabla D3), por ello, si el CBR es inferior al 6%, debe procederse a la estabilización del suelo, esto puede hacerse mediante métodos químicos, mecánicos, utilizando geosintéticos, elevando la rasante o cambiando el trazado. Los últimos 0,3 m de suelo del nivel superior de la subrasante se compactarán al

95% de la MDS del ensayo Proctor modificado, y en 0,60 m de profundidad deberá haber suelos estables con CBR 6 (MTC, 2014).

La **estabilización de suelos**; definido como mejorar las características mecánicas, físicas y químicas de un suelo natural hasta estabilizarlas, con este proceso se puede incrementar la resistencia, reducir la permeabilidad, prevenir la erosión, controlar la expansión, entre otras propiedades, como también, soportar efectos de construcción, tránsito y del ambiente con excelente durabilidad (Rivera et al., 2020). Existen diferentes métodos para estabilizar los suelos, los cuales son; mecánicos, físico, químicos y biológicos.

La **clasificación de suelos**; se efectúa utilizando la técnica de correlación de suelos de SUCS y AASHTO, esta clasificación busca estimar el comportamiento general de los suelos que ayudará a definir regiones geotécnicamente homogéneas. (Rivera et al., 2020). Se pueden clasificar acorde a la siguiente tabla (Anexos, tabla D2).

La **granulometría**; es aquella distribución de tamaños del agregado de acuerdo a su tamizaje para lo cual se realiza ensayos MTC E107. En el análisis granulométrico se utiliza para proporcionar diferentes elementos que se clasifican por su tamaño (MTC, 2016), como se visualiza en la (Anexos, tabla D4).

#### **Marco normativo:**

- Ensayo MTC E107 para determinar el análisis granulométrico del suelo del manual de materiales y procedimientos (MTC, 2016).
- ASTM D422 Determinación del análisis granulométrico por tamiz.

**Contenido de humedad**; acuerdo al MTC (2014) se refiere a la porción de agua que presenta el suelo de muestra, esta relación se expresa como porcentaje y se realiza mediante el ensayo MTC E108.

Por otra parte, la humedad natural es un pilar importante en la estabilización de un suelo de subrasante debido a la resistencia, También permitirá comparar la humedad ideal de los ensayos Proctor para determinar el CBR del suelo, que está directamente relacionado con las condiciones de humedad y densidad del suelo (MTC, 2014).

### **Marco normativo:**

- Ensayo MTC E108 determina el contenido de humedad acorde al manual de materiales y procedimiento (MTC, 2016).
- ASTM D2216, donde determina el contenido de humedad (humedad del suelo).

**Plasticidad;** es la capacidad de los suelos para conservar su estabilidad hasta un nivel de límite de humedad, el MTC (2014) describe que se basa en los límites de Atterberg, y mide cómo se comporta un suelo con respecto al contenido de humedad, se definen en tres estados líquido, plástico y sólido.

**Índice de plasticidad (IP);** el MTC (2014) resume al IP como la distancia entre los umbrales de humedad, donde el suelo desarrolla una naturaleza plástica y facilita la clasificación. Se puede clasificar mediante la tabla (Anexos, tabla D5), definido por la siguiente formula:

#### **Ecuación 1: Índice de Plasticidad**

$$IP = LL - LP$$

Donde:

IP: Índice de plasticidad

LL: Limite líquido

LP: Limite plástico

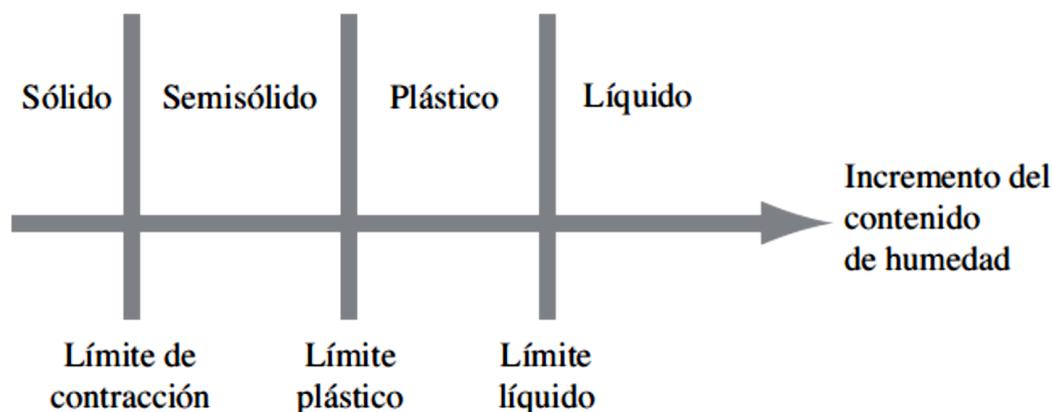
**Límite líquido (LL);** es cuando el suelo experimenta una transición de un estado semilíquido a un estado plástico, se realiza mediante el ensayo MTC E110 (MTC, 2014).

**Límite plástico (LP);** es el suelo que experimenta una transición de un estado plástico a semisólido hasta el punto de quebrarse, se realiza mediante el ensayo MTC E111 (MTC, 2014).

**Límite de contracción (retracción);** es el suelo experimenta una transición de estado semisólido a sólido, dejando de contraerse, se realiza mediante MTC E112 (MTC, 2014).

**Figura 1**

*Límites de Atterberg*



Fuente: (Braja, 2013)(Braja, 2013)

**Marco normativo:**

- Ensayo MTC E110, determina el límite líquido del manual de materiales y procedimiento (MTC, 2016).
- Ensayo MTC E111, establece el límite plástico del manual de materiales y procedimiento (MTC, 2016).
- ASTM D4318, es la determinación estándar para índice de plasticidad (límite líquido, límite plástico).

**Ensayo Proctor modificado;** acorde al MTC (2014) calcula la MDS (Máxima Densidad Seca) y el CHO (Contenido de Humedad Óptimo) del suelo, para ver la relación mediante la parábola de compactación entre el contenido de agua y peso unitario seco, este ensayo se realiza a través del MTC E115, se realiza por tres métodos (p. 56).

Se calcula con las siguientes ecuaciones:

**Ecuación 2. Densidad de muestra húmeda**

$$\rho_{\text{húmeda}} = \frac{W_{\text{molde}} + \text{muestra húmeda} - W_{\text{molde}}}{V_{\text{molde}}}$$

Se mide el contenido de humedad con la siguiente ecuación:

**Ecuación 3. Cálculo de contenido de humedad**

$$\omega\% = \frac{W_{humeda} + tara - W_{muestra\ seca} + tara}{W_{muestra\ seca} + tara - W_{tara}}$$

Se mide la densidad seca con la siguiente ecuación:

**Ecuación 4. Cálculo de densidad seca**

$$\rho_{seca} = \frac{\rho_{humeda}}{1 + \omega}$$

**Marco normativo:**

- Ensayo MTC E115 para compactación – Proctor modificado, del manual de materiales y procedimiento del Ministerio de Transportes y Comunicaciones del 2016 (MTC, 2016).
- ASTM D1557 determinación estándar para características de compactación del suelo usando esfuerzos modificados para ASTM.

**Ensayo CBR** (california Bearing Ratio); de acuerdo a Apaza Velásquez & Quispe Choque (2022) es el valor de soporte o resistencia del suelo, se realiza mediante el ensayo MTC E132, en otras palabras, la relación entre carga y penetración además de la expansión del suelo, donde se consideran las siguientes categorías para subrasante acorde a la siguiente tabla (Anexo, tabla D3).

**Marco normativo:**

- Ensayo MTC E132 de valor de soporte california, del manual de materiales y procedimiento (MTC, 2016).
- ASTM D1883 determinación estándar la relación de carga de california en suelos compactados en laboratorio de la sociedad estadounidense para pruebas y materiales.

### III. METODOLOGÍA

#### 3.1. Tipo y diseño de investigación

##### **Tipo de investigación:**

Este trabajo de investigación fue de **tipo aplicativo**; posee como objetivo la solución de problemas con un enfoque particular, se centra en la investigación y la afirmación del conocimiento para su aplicación (Vargas Cordero, 2009). Por lo cual nuestra investigación evaluó aplicar Ceniza de Tallo de Mostaza (CTM) en porcentajes al suelo buscando su estabilización.

##### **Enfoque de investigación:**

Se utilizó el enfoque **Cuantitativo** debido que considera a que “el conocimiento debe ser puntual y generada tras un proceso deductivo con mediciones numéricas y análisis estadístico inferencial” (Hernandez Sampieri et al., 2014), en esta investigación se realizó mediciones numéricas y diagnósticos estadísticos por lo cual deducimos su enfoque.

##### **Diseño de investigación:**

Tuvo un **diseño cuasi experimental** que contrastó las hipótesis causales; según White & Sabarwal (2014) logra sus objetivos de acuerdo a mediciones de un conjunto preestablecido de indicadores, sin embargo, este diseño carece de distribución aleatoria donde se asigna la condición por autoselección. En nuestra investigación se manipuló las variables independientes como la dosificación de CTM a fin de analizar el efecto en nuestra variable dependiente.

##### **Nivel de la investigación:**

Tuvo un nivel de investigación **explicativo**, en el cual, determina las causas de los sucesos o fenómenos investigados, centrándose en explicar qué ocurre en esta y en qué circunstancias se expresa, y la relación de los factores que éstos tienen (Hernandez Sampieri et al., 2014), en esta investigación explicativa se relata la causa de los problemas de estabilización de sub rasante y relacionándolo con las variables entre la incorporación de CTM y su variabilidad en las propiedades físico-mecánicas del suelo de subrasante.

### 3.2. Variables y operacionalización

#### **Variables de estudio:**

**Variable independiente:** Ceniza de tallo de mostaza (CTM)

**Definición conceptual:** La CTM es el residuo de la quema del tallo de mostaza en un horno a temperatura entre 500 a 650°C, resultando ser una ceniza de clase N, que contiene propiedades puzolánicas y reactivas al mezclarse con el agua y suelo.

**Definición operacional:** Se operacionalizó acorde a sus dimensiones e indicadores como; porcentaje de ceniza acorde a la dosificación.

**Dimensión:** Porcentaje de dosificación

**Indicadores:** Se ocupó los porcentaje de 5%, 10% y 15% de CTM, que engloban los porcentajes prevalecientes de los antecedentes, por ejemplo; Escobar Lupaca (2022) menciona, “como su mejor dosificación al 5.5% de ceniza de tallo de quinua”, Corrales Álvarez (2021), y Ordoño Quilca (2022), mencionan como dosificación sobresaliente al 7% en ceniza de tallos de banano, tallos de muña y hojas de eucalipto, Andaluz López (2022) destaca el 8% en ceniza de cáscara de arroz, seguidamente se realiza la dosificación de 14% como mejor dosificación en ceniza de cáscara de café (Vargas et al., 2020), finalmente Cobos Molina et al (2019) y Apaza Velásquez & Quispe Choque (2022) resaltan al 15% de dosificación en sus estudios de ceniza de cáscara de trigo, tallo de maíz, cáscara de coco y cisco de café.

**Escala de medición:** Razón

**Variable dependiente:** Propiedades físico-mecánicas de la subrasante de suelo arenoso arcilloso.

**Definición conceptual:** Las propiedades físico mecánicas de la subrasante son la base primordial de toda vía, acorde al MTC (2016) se requiere mejorar las propiedades del suelo de subrasante a través de la adición de elementos externos, para alcanzar un  $CBR \geq 6\%$  para el nivel de subrasante, tomando en consideración lo mencionado en el reglamento de carreteras.

**Definición operacional:** Dentro de las características físico-mecánicas del suelo de subrasante se operacionalizó conforme sus dimensiones de capacidad portante, compactación y plasticidad.

**Dimensión:** Propiedades físico - mecánicas

**Indicadores:** En la Plasticidad, se cuantifico el LL, LP y IP, por otro lado, en la compactación; se obtendrá la DMS y el CHO, finalmente para capacidad de soporte; se tendrá la expansión y penetración.

**Escala:** razón

### **3.3. Población, muestra y muestreo**

**Población:** La población y la muestra de la investigación forman parte de un conjunto finito o infinito de elementos (personas, cosas, programas, sistemas, acontecimientos, etc.) (Carrasco Días, 2005). En este caso la población fue la trocha carrozable de 1.46km de longitud, del centro poblado de Alpacollo, El Collao – Puno.

**Muestra:** Es un segmento o subconjunto de la población que sirve de muestra representativa y cuyas cualidades fundamentales deben ser objetivas, donde se pueda generalizar que la muestra generalice a dicha población (Carrasco Días, 2005). De acuerdo a lo mencionado la muestra fue de 02 calicatas, que fueron las más críticas entre 04 calicatas realizadas acorde al manual de carreteras con una ubicación en progresivas de 0+000, 0+500, 1+000 y 1+470 de la trocha carrozable.

**Muestreo:** no probabilístico, donde la muestra será escogida a conveniencia.

**Unidad muestral:** dimensiones de la calicata (1.5m x 1.5m x 1.5m).

### **3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

Se Define “como un conjunto de reglas y pautas que nos guiarán en las actividades a realizar en la investigación científica” (Carrasco Días, 2005), En este estudio se utilizó la observación directa como técnica de recogida de datos, donde se observaron los efectos sobre la variable dependiente.

**Observación directa:** Es aquel “proceso de obtención, registro y recopilación de datos empíricos obtenidos” (Carrasco Días, 2005), los cuales fueron almacenados en fichas técnicas establecidas, procesadas mediante cuadros y gráficos.

**Instrumentos de recolección de datos:** Son medios técnicos que nos permiten almacenar datos, para resolver problemas de la investigación, los cuales nos garantizaran eficiencia y efectividad al aplicarlas a las muestras de estudio (Carrasco Días, 2005).

En nuestro estudio de investigación se utilizó fichas de recolección de datos, uso de equipos, materiales y herramientas de laboratorio como; balanzas, estufas, tamices, envases, cepillos, brochas, hornos de secado, copa de Casagrande, acanalador, moldes cilíndricos, pisón o martillo, regla, prensa de compresión, disco espaciador, aparato medidor, pesas, pistón de penetración. Además de softwares de análisis de datos como el Excel y Rstudio, software de costos, etc. Los ensayos se guiarán acorde al manual de procedimientos del MTC y normas ASTM.

**Validez:** se define como el grado en que una herramienta de medición capta realmente la variable para la que está diseñada (Hernandez Sampieri et al., 2014), nuestro estudio se validó por medio del discernimiento de (03) expertos quienes evaluaron y validaron los instrumentos de recolección de datos siendo el puntaje mínimo de 45 para poder ser aplicable, obteniendo un promedio de 49 puntos en la validez de los instrumentos a utilizar visualizados en el (Anexo F).

**Confiabilidad:** Es el nivel de fiabilidad demostrado por la aplicación repetida al mismo sujeto u objeto cuando los resultados son idénticos (Hernandez Sampieri et al., 2014). La credibilidad del estudio realizado se respaldó mediante certificaciones de las pruebas y equipos de laboratorio.

### **3.5. Procedimientos**

Para la CTM se obtuvo mediante recolección de campo, realizando el deshierbo de parcelas en el sector de Alpacollo – El Collao – Puno, seguidamente se eliminó las hojas y se limpiaron los tallos para su respectivo secado a temperatura ambiente, continuando se procedió a quemar los tallos recolectados de mostaza en hornos especiales y acreditados a una temperatura constante entre 500 a 650°C y finalmente se tamizó la ceniza obtenida para obtener un producto uniforme.

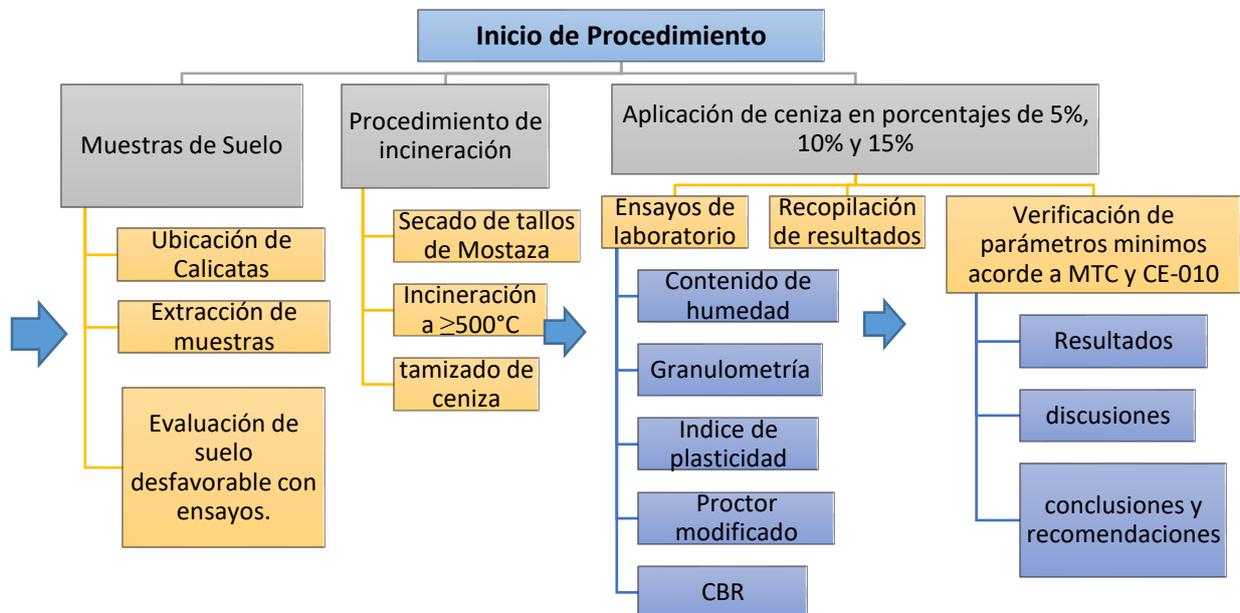
En muestras de suelo, se realizó cuatro calicatas donde se descartaron dos, tomándose como muestra dos calicatas para el mejoramiento, las que demostraron mayor desventaja en su estabilización.

Análisis y ensayos; se realizó ensayos a la muestra en estado natural, también a la muestra con dosificación de ceniza en diferentes porcentajes. Se aplicó ensayos granulométricos (MTC E-107), ensayos de contenido de humedad (MTC E-108), LL (MTC E-110), LP (MTC E-111), ensayos de Proctor modificado (MTC E-115) y CBR (MTC E-132).

Se analizó los datos recolectados utilizando softwares de computación.

**Figura 2**

*Procedimiento de trabajo*



Fuente: Elaboración propia

### 3.5.1. Procedimiento de obtención de muestras de suelo

**Ubicación de calicatas:** se realizó el reconocimiento de campo de la carretera de trocha de la comunidad de San Miguel de Alpacollo el cual tiene una longitud de 1.47 km donde se procedió a realizar 04 calicatas en las progresivas 0+000, 0+500, 1+000 y 1+470, tomando en consideración el manual de carreteras. (MTC, 2014)

### Figura 3

#### *Reconocimiento de campo*



*Fuente: Fotografía propia, 2023*

**Extracción de muestras:** Se realizaron 04 calicatas de dimensiones; 1.5x1.5x1.5m en las progresivas ya mencionadas, extrayendo muestras de suelo para su análisis de mecánica de suelos, donde se evaluó dos calicatas más desfavorables entre las cuatro muestras.

### Figura 4

#### *Excavación en C-01*



*Fuente: Fotografía propia, 2023*

### Figura 5

#### Excavación en C-02



Fuente: Fotografía propia, 2023

### Figura 6

#### Excavación en C-03



Fuente: Fotografía propia, 2023

## Figura 7

*Excavación en C-4*



*Fuente: Fotografía propia, 2023*

### 3.5.2. Procedimiento de incineración

**Recolección:** La recolección de tallos se realizó en el sector de San Miguel de Alpacollo, donde se procedió a recolectar la maleza de planta de mostaza de los cultivos de avena forrajera, cebada forrajera, papa y habas los cuales están adyacentes a la vía de la zona, se recolecto plantas de mostaza de una altura de 0.7 a 1 m de altura.

## Figura 8

*Recolección de planta de mostaza en cultivos*



*Fuente: Fotografía propia, 2023*

**Secado:** El secado se realizó mediante el tendido de la maleza de planta de mostaza al aire libre para que se pierda la humedad de la planta a la vez para realizar la extracción de hojas y flores más rápidamente.

**Figura 9**

*Secado de planta de mostaza*



*Fuente: Fotografía propia, 2023*

Una vez secado además de extraídas las hojas y flores se recolecto los tallos de mostaza para realizar la incineración.

**Figura 10**

*Tallo de mostaza secada sin flores y hojas*



*Fuente: Fotografía propia, 2023*

**Incinerado:** Finalmente se quemó los tallos para la reducción de su volumen y realizar con posterioridad se desplazó al laboratorio las muestras obtenidas para ser incineradas en laboratorio.

La calcinación se realizó por un periodo de 5 horas con una temperatura continua de 500°C.

**Figura 11**

*Incineración de ceniza*



Una vez obtenida la CTM se pasó por el tamiz #40, para obtener uniformidad en la muestra. Para averiguar la constitución química de la CTM se realizó por difracción de rayos X en las partículas de ceniza, usando la metodología ASTM C-1365-18 y ASTM C618.

En cuanto a los ensayos; primeramente, se realizó en suelos sin adición de cenizas en las muestras de suelo de las 4 calicatas realizadas, para obtener las muestras más desfavorables. seguidamente se realizó ensayos de suelos con la ceniza obtenida en los porcentajes de 5%, 10% y 15%. Para observar el comportamiento del suelo.

### **3.6. Métodos de análisis de datos**

Se utilizó el uso del software Rstudio para procesar los datos obtenidos de las fichas utilizadas como instrumentos, estas se procesaron por medio de la observación, análisis y deducción de resultados, donde se anotó de manera comprensible, perceptible y clara, ayudando a obtener nuevos conocimientos. Los resultados se obtuvieron mediante gráficos y tablas con programas informáticos para el análisis de datos, etc.

### **3.7. Aspectos éticos**

Se abarco los principios de originalidad y claridad, respetando la norma ISO-690, MTC, NTP, CEO.10 y ASTM, cumpliéndolas de manera exhaustiva, además se otorgó los certificados de confiabilidad de equipos, instrumentos y ensayos de laboratorio realizados. El proyecto tuvo que utilizar herramientas del anti plagio Turnitin, que afirman la originalidad del trabajo de investigación.

## IV. RESULTADOS

### Descripción de la zona de estudio:

La trocha carrozable de la comunidad de San Miguel de Alpacollo, tiene una longitud de 1.47km, con un ancho variable de 3 – 4m sin presencia de cunetas, el cual se encuentra en un estado deplorable y sin mantenimiento.

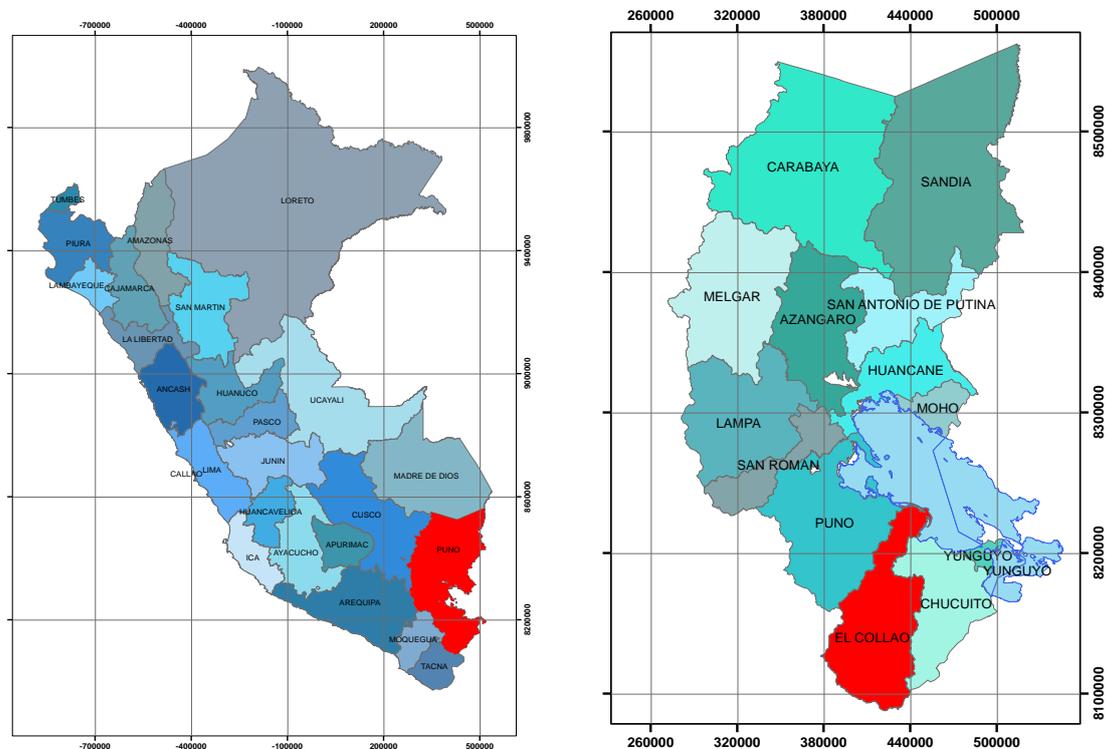
### Ubicación política:

La presente investigación se realizó en el departamento de Puno, Provincia de El Collao, Distrito de Ilave, Comunidad de San Miguel de Alpacollo.

Región : Puno  
Departamento : Puno  
Provincia : Chucuito  
Distrito : El Collao - Ilave  
Lugar : Centro Poblado de San Miguel de Alpacollo

### Figura 12

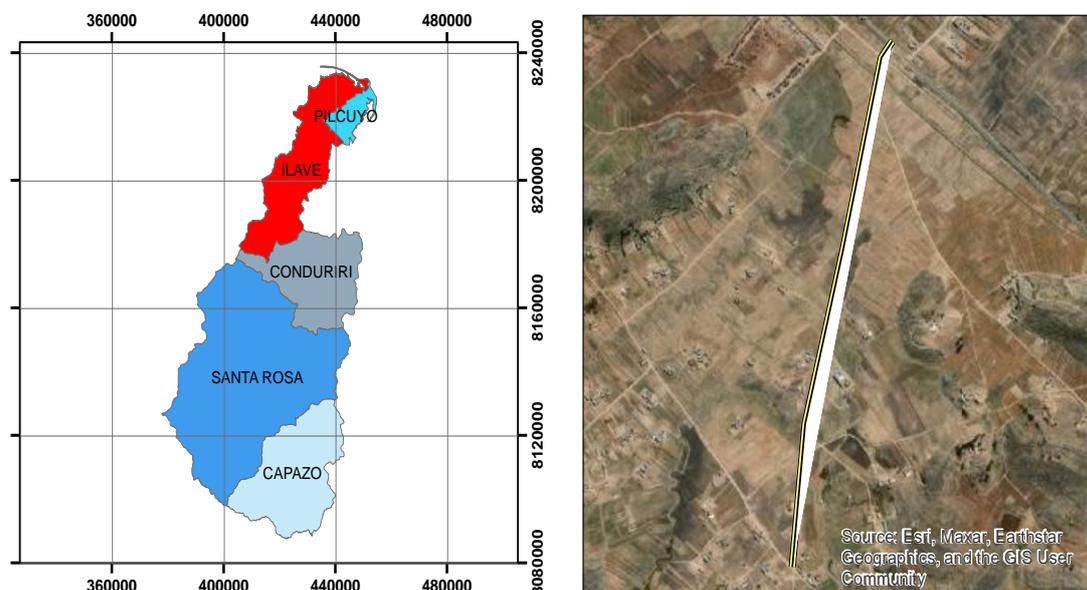
#### Ubicación Departamental y Provincial



Fuente: Elaboración Propia

**Figura 13**

*Ubicación distrital y local*



*Fuente: Elaboración Propia – Imagen satelital*

**Ubicación Geográfica**

Geográficamente el Proyecto se encuentra en coordenadas UTM (WGS84), Zona 019 sur.

Coordenadas UTM (inicio de proyecto, Km 0+000)

Este : 434567.89 m E  
Norte : 8219713.43 m S  
Altitud : 3843 m.s.n.m.

Coordenadas UTM (fin del proyecto, Km 1+470)

Este : 434295.02 m E  
Norte : 8218287.22 m S  
Altitud : 3845 m.s.n.m.

**Vía de acceso**

Por avión: Siendo el aeropuerto más próximo a Puno, el Aeropuerto Inca Manco Capac, situado en Juliaca. Desde allí, puedes tomar un taxi o un servicio de transporte para llegar a Puno, que se encuentra a aproximadamente 45 minutos en automóvil. Luego tomar una combi interdistrital para la provincia El Collao, Distrito

Ilave tiempo aproximado 45 min, seguidamente un taxi para la Comunidad de San Miguel de Alpacollo tiempo aproximado de 10 min.

Por bus: Puno es accesible desde varias ciudades peruanas y también desde ciudades vecinas en Bolivia. Hay compañías de autobuses que ofrecen servicios regulares hacia Puno desde Lima, Arequipa, Cusco y otras ciudades importantes. Los tiempos de viaje varían dependiendo de la distancia y condiciones de la carretera.

Por tren: Una opción pintoresca para llegar a Puno es tomar el tren desde Cusco. El servicio de tren Puno-Cusco ofrece hermosos paisajes de las montañas y del lago Titicaca durante el trayecto. El viaje en tren dura alrededor de 10 horas, por lo que es una opción más lenta pero muy escénica.

**Tabla 2**

*Distancias a Puno - Ilave*

Desde	Distancia	Avión (tiempo)	Bus (tiempo)	Tren (tiempo)
Lima	1,335 km	1h 30 minutos	22 horas	-
Arequipa	330 km	45 minutos	5 horas	-
Cusco	388km	50 minutos	7 hora	10 horas
Juliaca	45 km	-	1 hora	-
Ilave	50km	-	1 hora	-
Comunidad de Alpacollo	8 km	-	20 minutos	-

*Fuente: Elaboración Propia*

## **Clima**

Dentro de la región de Puno, los períodos de verano son de duración reducida y se caracterizan por tener un clima fresco y nublado. Por otro lado, los inviernos también son breves, pero se caracterizan por ser extremadamente fríos y mayormente despejados. Además, el clima en Puno se mantiene seco a lo largo de todo el año. La temperatura a lo largo del año suele tener una variación general desde -4 °C hasta 17 °C, siendo poco común que las temperaturas descendan por debajo de -6 °C o superen los 19 °C (Senamhi, 2023).

## **Resultado de ensayos**

### **Trabajos de Campo**

Se realizó la inspección visual de la vía PU-1210, donde se propuso realizar 4 calicatas en el tramo 0+00 km, 0+500, 1+000 y 1+740, considerando el manual de carreteras que nos exige la “ubicación de 1 calicata por kilómetro por el tipo de vía definido como (carretera de bajo volumen de tránsito) y con una profundidad de 1.50m a nivel de subrasante, por tal nos encontramos dentro de lo exigido en la norma” (MTC, 2014).

### **Trabajo de Laboratorio**

En análisis Físico - químico se realizó por la empresa Geo-control Total de la ciudad de Juliaca, donde se realizó la calcinación y el análisis.

Para el trabajo de laboratorio de suelos se realizó en el laboratorio de la empresa GEOTECMIN JEFRALEO EIRL. Realizando los siguientes ensayos en donde se determinó las propiedades físicas de suelo de las 4 calicatas iniciales, donde se descartó las calicatas que tuvo menor contenido de humedad y menor índice plástico. Sin embargo, para realizar un estudio más profundo se utilizará las calicatas con contenido plástico, que son las calicatas C-3 y C-4, siendo el que peor y mejor porcentaje obtuvieron de la compresión de CBR de las muestras realizadas en el suelo natural.

### **Resultados de los Objetivos de estudio:**

**OE1:** conceptuar el procedimiento para obtener ceniza de tallo de mostaza para la aplicación en la subrasante de suelo arenoso arcilloso en una trocha carrozable, Alpacollo – El Collao – Puno 2023.

Para la obtención de la CTM se deberá realizar el siguiente procedimiento:

- Ubicación de la planta de mostaza teniendo en cuenta que es una maleza existente en diferentes partes de la región de Puno.
- Recolección de la planta de mostaza: puede realizarse con cortadora manual o eléctrica.

- Limpieza de la planta de mostaza mediante lavado, para limpiar de otras hierbas o agentes externos como tierra.
- Secado a temperatura ambiente, sobre una superficie limpia por un lapso de 3 - 5 días.
- Recolección de tallos de mostaza, sin hojas ni flores. Los cuales se desprenden por sí mismos cuando la planta de mostaza se marchita.
- Cortado, aplanado o trillado de tallos de mostaza para mejorar su traslado e incineración.
- Incineración de tallos de mostaza a una temperatura entre los 500 – 650°C por un periodo de 24 horas.
- Se realizo los análisis correspondientes para observar la composición química mediante el método de DRX y FRX, obteniendo los siguientes resultados:

**Tabla 3**

*Composición de la Ceniza de tallo de mostaza por DRX*

Instrumental DRX	
ENSAYO	RESULTADO
C3s <M1>	11.42%
C3s <M3>	0.01%
C2s alpha H	0.00%
C3A - monoclinic	14.49%
C4AF	1.31%
Lime	0.00%
Portlandite	2.62%
Periclase	6.16%
Quartz	4.77%
Arcanite	29.91%
Langbeinite	11.31%
Aphthalite	2.21%
Gypsum	1.73%
Bassanite	8.59%
Calcite	5.5%

- *Fuente: elaboración propia*

Se visualiza la presencia de arcanita con 29.91% que representa al sulfato de potasio, seguido de C3A – Monoclinic siendo una fase monoclinica de aluminato

tricálcico elemento utilizado comercialmente para crear cemento portland, seguido de langbeinite, que es el mineral de sulfato de magnesio y potasio.

**Tabla 4**

*Composición de la Ceniza de tallo de mostaza por FRX*

Instrumental FRX	
ENSAYO	RESULTADO
SiO <sub>2</sub> – Dióxido de Silicio	12.88%
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> – Óxido de Aluminio	0.00%
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> – Óxido de Hierro	0.96%
CaO – Óxido de calcio	10.05%
MgO – Óxido de magnesio	4.26%
SO <sub>3</sub> – Trióxido de azufre	4.81%
Na <sub>2</sub> O – Óxido de sodio	1.75%
K <sub>2</sub> O – Óxido de potasio	21.29%
TiO <sub>2</sub> – Dióxido de titanio	0.18%
CO <sub>2</sub> – Dióxido de carbono	2.38%
MnO – Óxido de manganeso	1.40%

*Fuente: elaboración propia*

Se visualiza de la tabla 4, la composición química mediante el ensayo de FRX, mostrando como materiales predominantes al oxido de potasio con 21.29%, encontrándose como sulfato de potasio, seguidamente se tiene al dióxido de silicio con 12.88% que es utilizado como anti aglomerante, gel desecante y otros.

**OE2:** Estimar la subrasante más inadecuada del suelo natural en la trocha carrozable, Alpacollo – El Collao – Puno 2023.

Donde se ejecutó el ensayo de contenido de humedad utilizando el criterio de la norma peruana MTC E107 y ASTM D-422, obteniendo los siguientes resultados de granulometría en las 4 calicatas iniciales.

**Tabla 5**

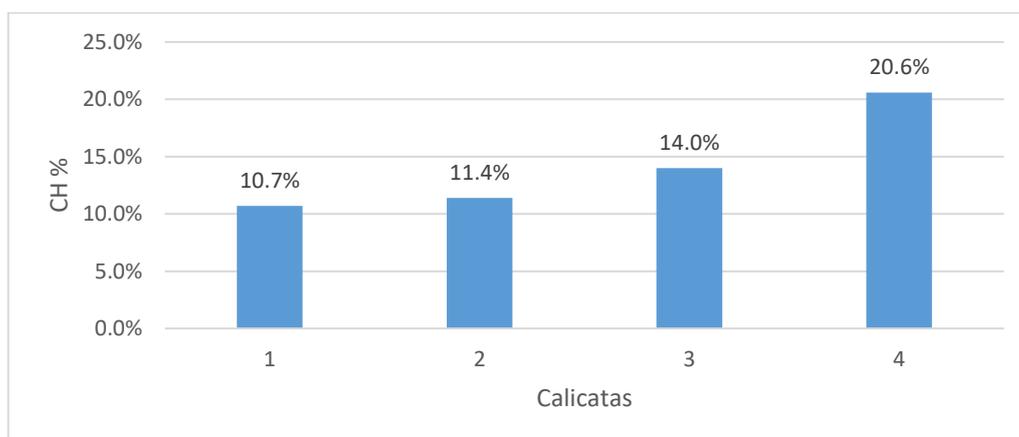
*Contenido de humedad natural*

	Descripción	% humedad
<b>C</b>	1	10.7%
	2	11.4%
	3	14.0%
	4	20.6%

*Fuente: elaboración propia*

**Figura 14**

*Contenido de Humedad Suelo natural*



*Fuente: elaboración propia*

Se describe que en la tabla 5, las calicatas C-3 y C-4 tienen mayor contenido de humedad lo que afectaría a la estructura de la vía y futuramente a cualquier tipo de pavimento, similarmente visualizado en el diagrama de barrar de la Figura 14.

Se realizó la prueba de granulometría por tamizado tomando en cuenta el criterio de la norma peruana MTC E108 y ASTM D-226.

**Tabla 6**

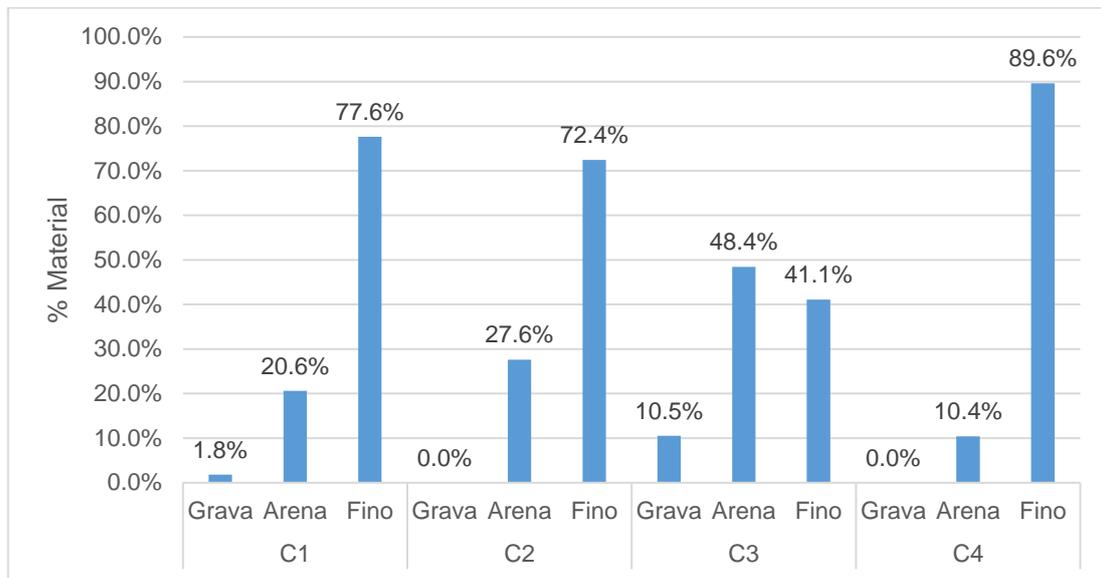
*Datos de la muestra por calicata*

	Descripción	Mat (%)	Mat (gr.)
<b>C1</b>	Grava	1.8%	1.8
	Arena	20.6%	20.6
	Fino	77.6%	77.6
<b>C2</b>	Grava	0.0%	0
	Arena	27.6%	27.6
	Fino	72.4%	72.4
<b>C3</b>	Grava	10.5%	10.5
	Arena	48.4%	48.4
	Fino	41.1%	41.1
<b>C4</b>	Grava	0.0%	0
	Arena	10.4%	10.4
	Fino	89.6%	89.6

*Fuente: elaboración propia*

**Figura 15**

*Diagrama de barras de datos de muestra*



*Fuente: elaboración propia*

Se observa que las calicatas que tienen más porcentaje de finos es la C-4, seguida de la C-1, siendo un suelo inadecuado. Por otra parte, el suelo con mejor porcentaje de agregados es la calicata C-3, acorde a la Figura 15.

Se realizó el ensayo de límites de Atterberg para hallar el IP tomando en consideración los criterios del MTC E-110 – 111 y ASTM D4318.

**Tabla 7**

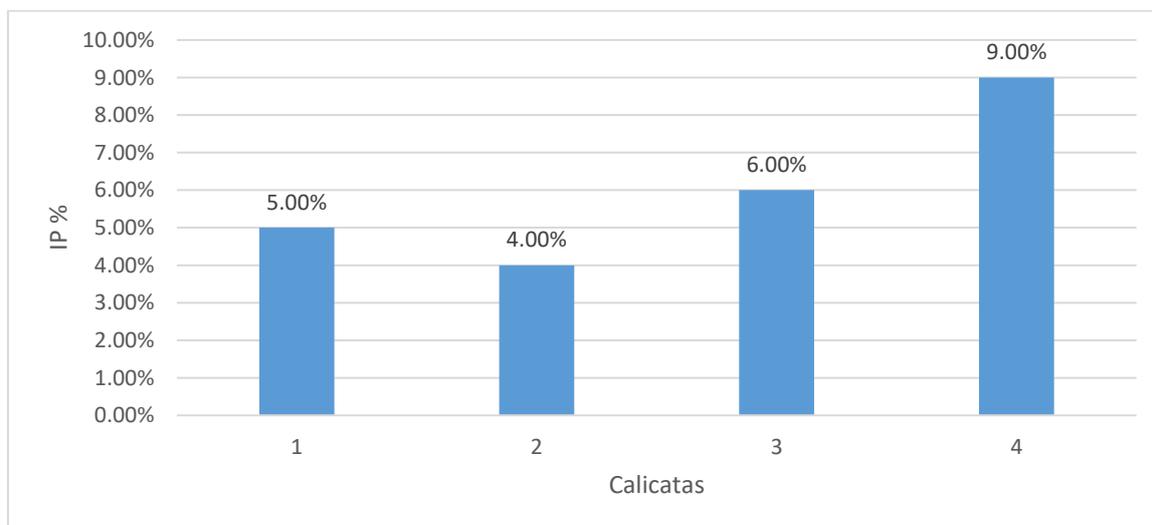
*Datos de Límites de Atterberg*

	Descripción	LL	LP	IP
<b>C</b>	<b>1</b>	27.0%	22.0%	5.0%
	<b>2</b>	26.0%	22.0%	4.0%
	<b>3</b>	26.0%	20.0%	6.0%
	<b>4</b>	29.0%	20.0%	9.0%

*Fuente: elaboración propia*

**Figura 16**

*Índice plástico de Suelo natural*



*Fuente: elaboración propia*

Se visualiza en la Tabla 7 y Figura 16, que las calicatas con mayor IP son las C-3 y C-4, llegando a valores de 9% en la calicata 4.

**Tabla 8**

*Clasificación del Suelo por calicata*

	<b>Descripción</b>	<b>SUCS</b>	<b>AASHTO</b>
<b>C</b>	1	ML	9
	2	ML	A-4 (8)
	3	SC-SM	A-4 (1)
	4	CL	(9)

*Fuente: elaboración propia del autor*

Se observa que los suelos con contenido de arcilla son las calicatas C-3 con clasificación SUCS – SC SM y AASHTO – A4(1) que es una arena arcillosa limosa y la calicata C-4 clasificación SUCS – CL SM y AASHTO – 9 correspondiente a una arcilla inorgánica de baja plasticidad.

Para mayor seguridad en la evaluación del suelo más desfavorable, se realizó el ensayo Proctor aplicando criterios del MTC E-115 (ASTM D1157 y ASTM D1883), obteniendo los siguientes valores.

**Tabla 9**

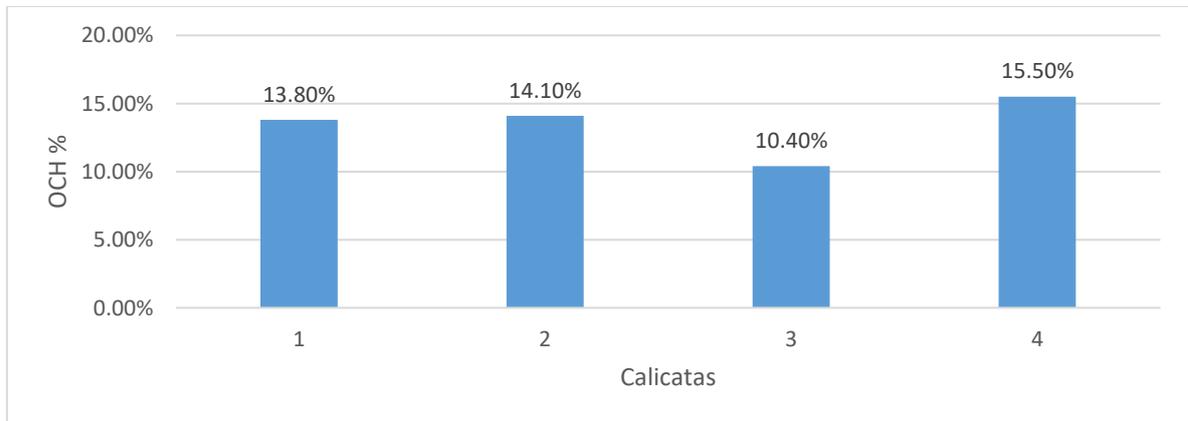
*Ensayo Proctor del suelo Natural por calicata*

	Descripción	OCH	D.MAX
<b>C</b>	<b>1</b>	13.80%	1.826
	<b>2</b>	14.10%	1.746
	<b>3</b>	10.40%	1.986
	<b>4</b>	15.50%	1.705

*Fuente: elaboración propia*

**Figura 17**

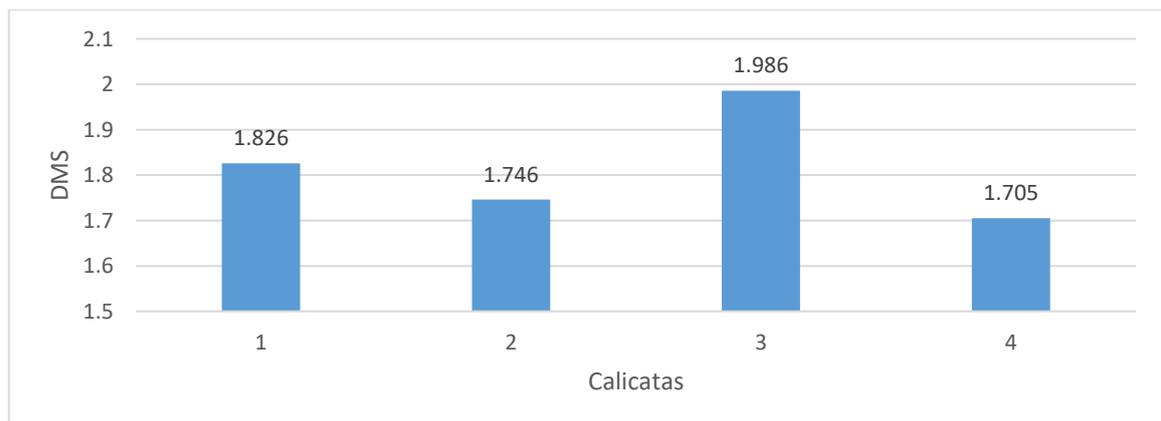
*CHO del suelo natural*



*Fuente: elaboración propia*

**Figura 18**

*DMS del suelo natural*



*Fuente: elaboración propia*

Se visualiza acorde a las Figuras 17 y 18, que C-4 obtuvo el mayor CHO del suelo además den una baja DMS de 1.705 gr/cm<sup>3</sup> siendo el suelo más inestable, sin embargo, la C-3 muestra CHO de 10.40% y una DMS de 1.986 gr/cm<sup>3</sup>.

Seguidamente visualizándose el ensayo CBR, con criterio en la norma MTC E-132 y ASTM D1883, mostrándose en el siguiente cuadro;

**Tabla 10**

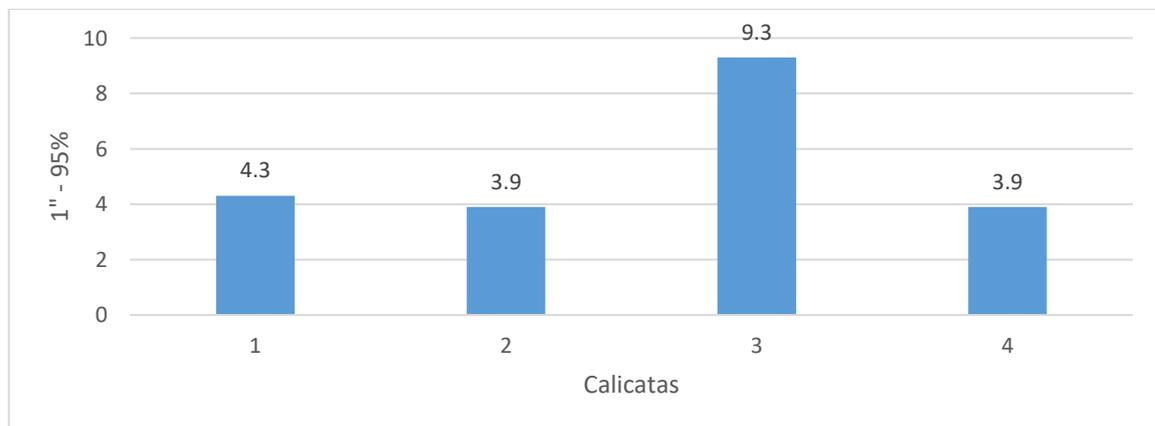
*Ensayo CBR por calicata*

Descripción	0.1"	
	95.00%	
<b>C</b>	1	4.3
	2	3.9
	3	9.3
	4	3.9

*Fuente: elaboración propia*

**Figura 19**

*CBR de Suelo natural*



*Fuente: elaboración propia*

**Interpretación:** Se puede visualizar que las calicatas inadecuadas con un CBR inadecuado son las C-1 con 4.3, C-2 con 3.9 y C-4 con 3.9, resaltando el suelo de la calicata **C-4**, por considerar que es un suelo limo arcilloso con alto índice plástico y gran presencia de finos en su granulometría.

Se concluye que la calicata 4 tiene un comportamiento ineficiente en sus propiedades físico-mecánicas, visualizado en los ensayos realizados a través de los cuadros y figuras mostradas.

**OE3:** Identificar la variación del índice de plasticidad de la subrasante de suelo arenoso arcilloso aplicando ceniza de tallo de mostaza en una trocha carrozable, Alpacollo – El Collao – Puno 2023.

Realizándose el ensayo de límites de Atterberg para poder calcular el IP del suelo patrón y con porcentajes de ceniza (5%, 10% y 15%)

**Tabla 11**

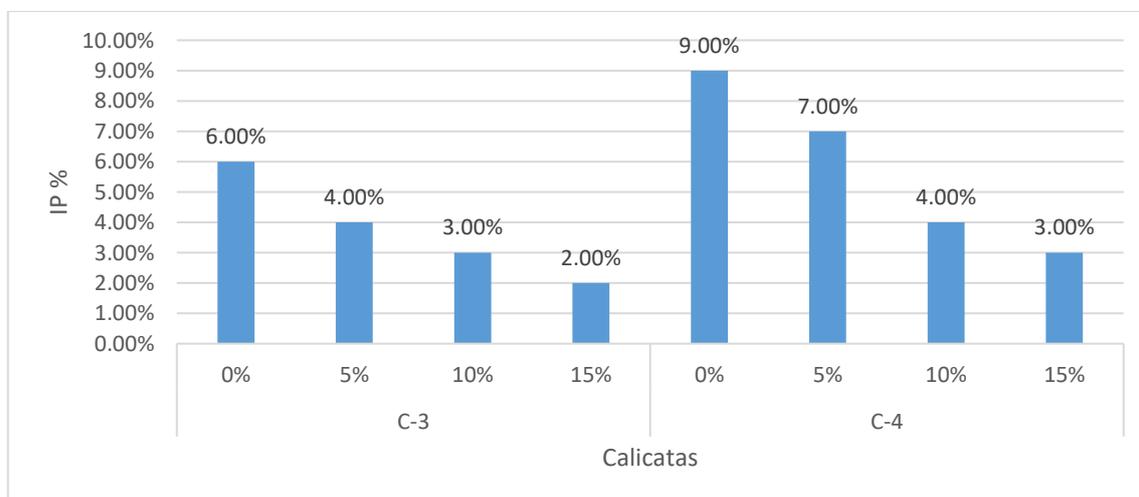
*Índice plástico del suelo inicial con adición de cenizas*

Descripción	CENIZA	IP
<b>C-3</b>	0%	6.00%
	5%	4.00%
	10%	3.00%
	15%	2.00%
<b>C-4</b>	0%	9.00%
	5%	7.00%
	10%	4.00%
	15%	3.00%

*Fuente: elaboración propia*

**Figura 20**

*Índice plástico de Suelo natural y porcentajes de ceniza*



*Fuente: elaboración propia*

**Interpretación:** Se visualiza que el IP tiende a disminuir con la adición de CTM en todos sus porcentajes, siendo el más resaltante el 15% de adición de ceniza con una disminución del 9% al 3% en la calicata 4 y de 6% a 2% en la calicata 3.

**OE4:** Registrar la influencia de ceniza de tallo de mostaza en la máxima densidad seca y contenido de humedad en la subrasante de suelo arenoso arcilloso en una trocha carrozable, Alpaccollo – El Collao – Puno 2023.

Por consiguiente, se realizó el ensayo Proctor Modificado con suelo natural y con adición de ceniza (5%, 10% y 15% CTM), en las calicatas C-3 y C-4.

**Tabla 12**

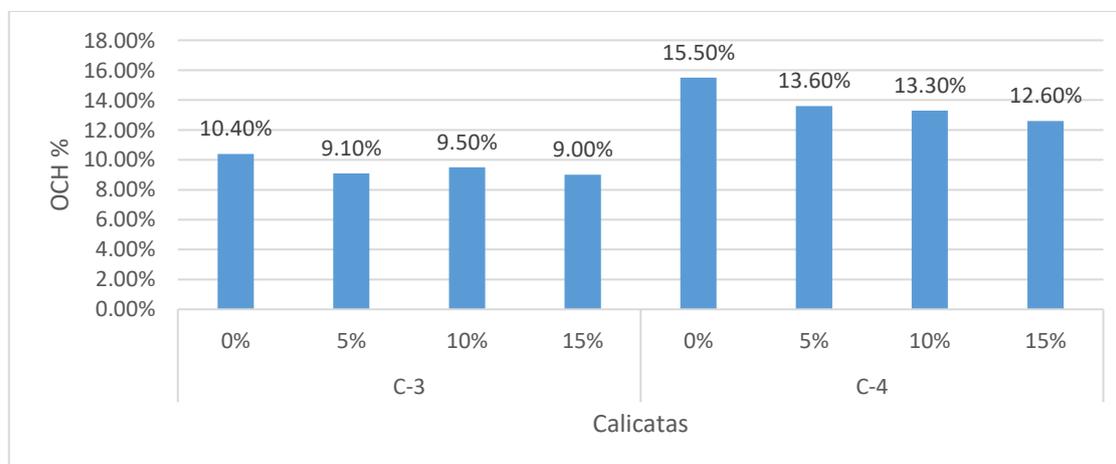
*Ensayo Proctor modificado de C-3 y C-4*

	CENIZA	OCH	D.MAX
<b>C-3</b>	0%	10.40%	1.986
	5%	9.10%	1.996
	10%	9.50%	2.009
	15%	9.00%	2.062
<b>C-4</b>	0%	15.50%	1.71
	5%	13.60%	1.729
	10%	13.30%	1.768
	15%	12.60%	1.787

*Fuente: elaboración propia*

**Figura 21**

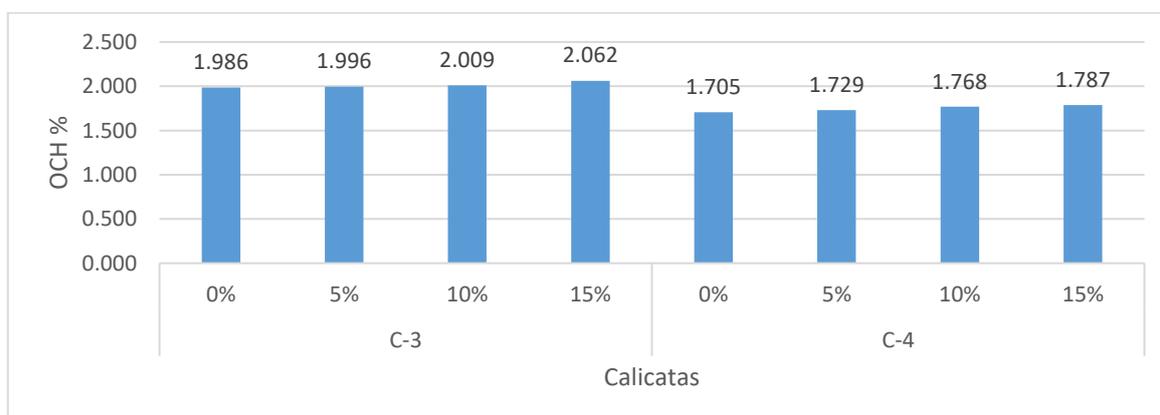
*Contenido de humedad optimo (C-3 y C-4)*



*Fuente: elaboración propia*

**Figura 22**

*Densidad Máx. Seca (C-3 y C-4)*



*Fuente: elaboración propia*

**Interpretación:** Se contempla la disminución del CHO, a la vez paulatinamente el aumento de la DMS con la adición de CTM en todos sus porcentajes, siendo el más resaltante la adición del 15% de dosificación.

**OE5:** Determinar la variación del CBR al estabilizar la subrasante de suelo arenoso arcilloso con la adición de cenizas de tallos de mostaza en una trocha carrozable, Alpacollo – El Collao – Puno 2023.

Se efectuó el ensayo de CBR de suelo inicial y con adición de ceniza (5%, 10% y 15% CTM).

**Tabla 13**

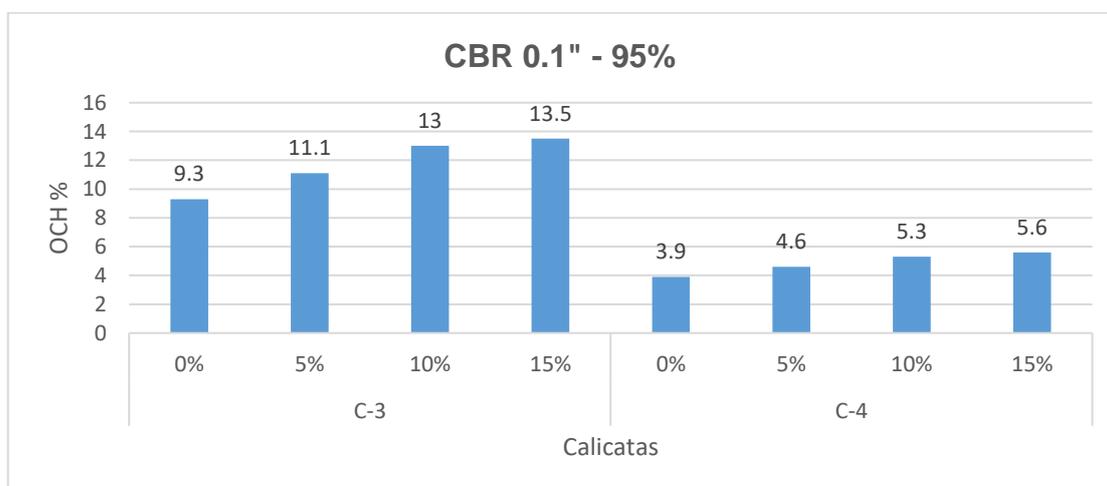
*Ensayo CBR (C-3 y C-4)*

Descripción		0.1"
<b>Calicata</b>	<b>Ceniza</b>	<b>95.00%</b>
<b>C-3</b>	0%	9.3
	5%	11.1
	10%	13
	15%	13.5
<b>C-4</b>	0%	3.9
	5%	4.6
	10%	5.3
	15%	5.6

*Fuente: elaboración propia*

**Figura 23**

*Ensayo de CBR (C-3 y C-4)*



*Fuente: elaboración propia*

**Interpretación:** Se observa el incremento del CBR de 0.1" al 95% con la adición de ceniza en todos sus porcentajes, siendo el mejor porcentaje con adición del 15%, mejorando de 9.3 al 0% a 13.5 con 15% de CTM en C-3 y de 3.9 del 0% a 5.6 del 15% de CTM en la calicata C-4.

**OE6:** Calcular el costo beneficio de una subrasante de suelo arenoso arcilloso con y sin adición de ceniza de tallos de mostaza en una trocha carrozable, Alpacollo – El Collao – Puno 2023.

Se realizó un presupuesto comparativo entre la ejecución de un mejoramiento de subrasante con ceniza y sin ceniza para observar la variación.

**Tabla 14**

*Partida de mejoramiento de Subrasante tradicionalmente*

Descripción	Und.	Metrado	Precio S/.	Parcial S/.
<b>MEJORAMIENTO DE SUB RASANTE C/MAT.</b>				<b>41,627.98</b>
<b>CANTERA</b>				
trazo y compactado de sub-rasante	m3	2,922.00	2.85	8,327.70
remoción y apilamiento (material - cantera)	m3	1,870.08	2.47	4,619.10
zarandeo de material en cantera	m3	1,870.08	1.76	3,291.34
transporte de material de préstamo	m3	1,051.92	3.04	3,197.84
carguío de material de cantera	m3	1,870.08	1.92	3,590.55

conformación de terraplenes con material de préstamo	m3	2,922.00	5.03	14,697.66
RIEGO	m3	584.40	6.68	3,903.79

*Fuente: elaboración propia*

### **Tabla 15**

*Partida de mejoramiento de Subrasante con ceniza*

Descripción	Und.	Metrado	Precio S/.	Parcial S/.
<b>MEJORAMIENTO DE SUB RASANTE C/MAT. CENIZA</b>				<b>101,807.15</b>
trazo y compactado de sub-rasante	m3	2,922.00	2.85	8,327.70
remoción y apilamiento (material - ceniza)	m3	1,870.08	17.66	33,025.61
incineración de material de ceniza	m3	1,870.08	16.41	30,688.01
zarandeo de material de ceniza	m3	1,870.08	2.34	4,375.99
transporte de material de préstamo	m3	1,051.92	3.04	3,197.84
carguío de material de ceniza	m3	1,870.08	1.92	3,590.55
conformación de terraplenes con material de préstamo	m3	2,922.00	5.03	14,697.66
riego	m3	584.40	6.68	3,903.79

*Fuente: elaboración propia del autor.*

**Interpretación:** Se visualiza que el mejoramiento de la subrasante de manera tradicional y con la adición de ceniza tienen una diferencia de S/. 60,179.17 soles, siendo muy costoso realizar el mejoramiento del suelo con la adición de ceniza.

## V. DISCUSIÓN

Como **limitación** a esta investigación se menciona la escasa información y estudios realizados a la ceniza de tallos de mostaza en la mejora de subrasantes de un suelo areno-arcilloso.

Como **implicancia** se brinda una nueva alternativa para el uso de desechos de malezas de cultivo y materiales orgánicos, en la mejora de la subrasante al variar sus propiedades físico-mecánicas de un suelo areno-arcilloso. Además de brindar conocimiento para futuras investigaciones con la adición de cenizas de tallos de la planta de mostaza, así mismo se detalla los objetivos planteados con la contrastación de otras investigaciones realizadas.

**OE1:** Conceptuar el procedimiento para obtener ceniza de tallo de mostaza para la aplicación en la subrasante de suelo arenoso arcilloso en una trocha carrozable, Alpacollo – El Collao – Puno 2023.

Para el primer objetivo se tomó como referencia a Garrafa Quillo & Huaracha Taco (2022) donde se describe el proceso de obtención de ceniza de cabuya para el mejoramiento de una subrasante en Poroy – Cusco, iniciando por el acopio de la Cabuya seguido de la limpieza y separación, una vez limpiado el material orgánico realizó la incineración de las cabuyas secas a una temperatura de 500 °C, seguidamente se tamizó pasándole por el tamiz nro. 40 y finalmente realizó el análisis para el mejoramiento de la subrasante.

Como segunda referencia se tiene a Ordoño Quilca (2022) que describe el proceso de obtención de ceniza de tallo de muña y hojas de eucalipto, comenzando con la recolección del tallo de muña de los desechos de agricultores y la recolección de hojas de eucalipto después del desoje de temporada, seguidamente el segundo procedimiento fue la limpieza y desinfección de los materiales orgánicos, para después realizar la incineración de los mismos y su análisis.

En esta investigación se observó el mismo procedimiento, iniciando por el acopio de la ceniza de mostaza, sin embargo varía en el segundo procedimiento debido a que se prefiere secar el material orgánico de ceniza de mostaza para que por medio del secado se produzca la desfloriación natural y así solo obtener el tallo de mostaza, después se procede a limpiar y escoger los tallos de mostaza para realizar

la incineración correspondiente a 500°C tamizado con el nro 40 y realizar el análisis para el mejoramiento de la subrasante.

Se concluyó que se tiene coincidencia en el procedimiento de obtención de ceniza siendo el mismo procedimiento en el acopio, limpieza, incineración y tratamiento de la ceniza, teniendo como única diferencia el secado antes y después de la limpieza.

**OE2:** Estimar la subrasante más inadecuada del suelo natural en la trocha carrozable, Alpacollo – El Collao – Puno 2023.

Para Ordoño Quilca (2022) tuvo los siguientes parámetros para decidir la subrasante más inadecuada, siendo estos los ensayos de granulometría, clasificación de suelos, límites de Atterberg, Proctor modificado y CBR.

Igualmente, Apaza Velásquez & Quispe Choque (2022) tomo como indicativos en la elección de su subrasante más inadecuada los siguientes estudios; Límites de Atterberg, clasificación de suelo, ensayos de Proctor modificado y CBR, resaltando sus calicatas C-1 y 2 entre sus 4 calicatas iniciales, con el mayor índice plástico de 12.75% y 13.29%, además clasifíco a los suelos de las calicatas C1 y 2 como; suelos arcilloso y grava arena arcilla o limosa, tomando en consideración los suelos que contienen arcillas, en los resultados de Proctor modificado escogió las calicatas C1 y 2 por tener el mayor contenido de humedad óptimo y la menor densidad máx. seca finalmente las calicatas con el peor CBR fueron las calicatas C1 y C3, sin embargo, al realizar el promedio de resultados, se escogieron las calicatas C1 y C2.

En este estudio se visualizó que las calicatas que tienen mayor IP son las calicatas C-3 y C-4, además que son clasificados como suelos con contenido de arcilla; C-3 con clasificación SUCS – SC SM y AASHTO – A4(1) que es una arena arcillosa limosa y la calicata C-4 clasificación SUCS – CL SM y AASHTO – 9 que es propio de una arcilla inorgánica de baja plasticidad, en el ensayo Proctor modificado resaltaron las calicatas C-2 y C4 por obtener el CHO de humedad con 14.10% y 15.50% y mínimo contenido de DMS, finalmente por el criterio del ensayo de CBR se escogió las calicatas C2 y C4 con valores de 3.9 y 3.9 al 95% - 01". Finalmente se tomaron los mismos criterios para elegir el suelo más desfavorable del estudio.

Se concluyó que se tiene coincidencia en la elección del suelo más desfavorable por los mismos criterios elegidos.

**OE3:** Identificar la variación del índice de plasticidad de la subrasante de suelo arenoso arcilloso aplicando ceniza de tallo de mostaza en una trocha carrozable, Alpaccollo – El Collao – Puno 2023.

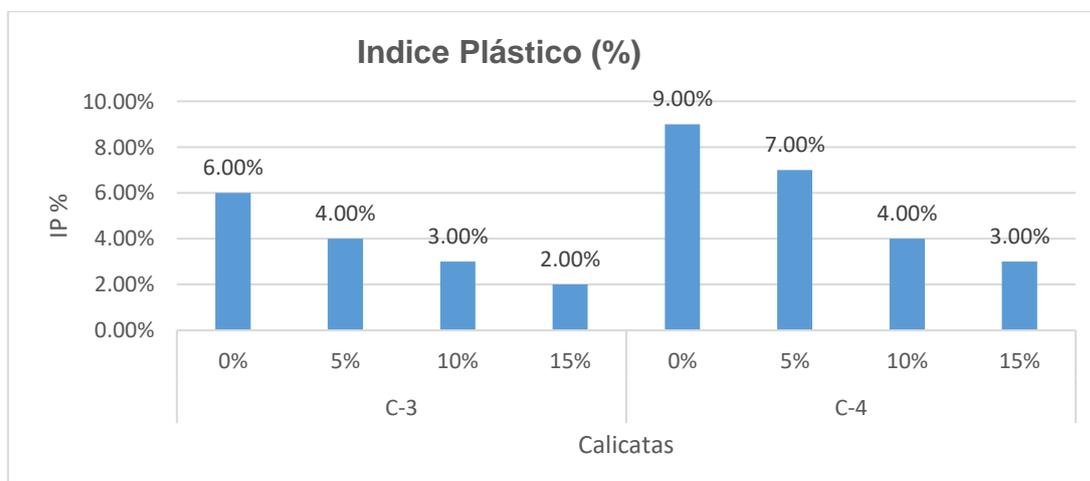
Para Apaza Velásquez & Quispe Choque (2022) se tuvo una disminución del Índice plástico en todos los porcentajes agregados de ceniza al 10%, 15% y 20%, teniendo una disminución más drástica a la adición del 20% de ceniza de cascara de maíz y tallo de maíz, disminuyendo al 50% del IP del 18% al 9%, estas muestras fueron de una sola calicata (C-2)” (Apaza Velásquez & Quispe Choque, 2022).

Como segunda referencia se tiene a Corrales Álvarez (2021) observo los cambios en los límites de consistencia adicionando ceniza de tallo de plátano, verificando que la plasticidad en el suelo disminuyo de 7.8% a 5.9%, 5.7% y 5.61% con adiciones de ceniza del 3%, 5 % y 7% de ceniza de tallo de plátano.

En el presente trabajo de investigación se observó la disminución del IP con la añadidura de ceniza de mostaza en todos los porcentajes (5%, 10% y 15%), obteniendo una disminución al 70% del suelo natural, observando la calicata 3 disminuye del 6% al 2% y de la calicata 4 disminuye del 9% al 3%, siendo el valor más resaltante la adición de ceniza al 15%.

**Figura 24**

*Índice plástico de calicatas C-3 y 4*



*Fuente: elaboración propia*

Concluyendo se visualiza que existe coincidencia entre los resultados, por la disminución del índice plástico tras la aplicación de ceniza.

**OE4:** Registrar la influencia de ceniza de tallo de mostaza en la máxima densidad seca y contenido de humedad en la subrasante de suelo arenoso arcilloso en una trocha carrozable, Alpacollo – El Collao – Puno 2023.

En tal sentido, Apaza Velásquez & Quispe Choque (2022) se tuvo un incremento de la humedad óptima de 15.11% a 16.56%, 17.89% y 19.36% con la adición de ceniza de cascara de maíz y tallo de maíz al 10%, 15% y 20% y una disminución de la densidad máx. seca de 1.75 gr/cm<sup>3</sup> a 1.72 gr/cm<sup>3</sup>, 1.68 gr/cm<sup>3</sup> y 1.62 gr/cm<sup>3</sup> con la adición de ceniza en porcentaje del 10%, 15% y 20%, siendo el más representativo al 15%.

Como segunda referencia se tiene a Corrales Álvarez (2021) donde detalla que la compactación cambia la máxima densidad seca del suelo patrón disminuyéndola desde 1.58 gr/cm<sup>3</sup> a 1.569 gr/cm<sup>3</sup>, 1.574 gr/cm<sup>3</sup> y 1.545 gr/cm<sup>3</sup> para adiciones del 3%, 5% y 7% de ceniza de tallo de plátano. Además el contenido de humedad reduce de 24.20 % a 22.90%, 23.60% y 24.40%, con una adición de ceniza del 3%, 5% y 7%, siendo la compactación más favorable la del 5%” (Corrales Álvarez, 2021).

Para Garrafa Quillo & Huaracha Taco (2022) determinaron la influencia de la densidad seca máxima y óptimo contenido de humedad en suelos arcillosos con cenizas de cabuya, donde se observó un incremento de la densidad máxima seca de 1.727 gr/cm<sup>3</sup> a 1.799 gr/cm<sup>3</sup> con la adición del 4% de cenizas de cabuya y 4% de cal hidratada.

En esta investigación se tiene una disminución del CHO en la calicata C3 del 10.40% al 9.10%, 9.50% y 9.0% y en C4 del 15.50% al 13.60%, 13.30% y 12.60%, con la adición de ceniza al 5%, 10% y 15%. Teniendo como valor resaltante el 15%, además se tiene un incremento de la DMS de 1.986 gr/cm<sup>3</sup> de la calicata C-3 a 1.996 gr/cm<sup>3</sup>, 2.009 gr/cm<sup>3</sup> y 2.062 gr/cm<sup>3</sup> y de 1.705 gr/cm<sup>3</sup> de calicata C-4 a 1.729 gr/cm<sup>3</sup>, 1.768 gr/cm<sup>3</sup> y 1.787 gr/cm<sup>3</sup>.

Concluyendo que se tiene coincidencia entre los resultados por la disminución del contenido óptimo de humedad y crecimiento de la DMS.

**OE5:** Determinar la variación del CBR al estabilizar la subrasante de suelo arenoso arcilloso con la adición de cenizas de tallos de mostaza en una trocha carrozable, Alpaccollo – El Collao – Puno 2023.

Para pruebas de CBR, Apaza Velásquez & Quispe Choque (2022) obtuvo un incremento del CBR del 3.7 al 95% de 11.9, 15.5 y 8.9 con la adición de la ceniza de cascara de maíz y tallo de maíz, con porcentajes de 10%, 15% y 20%, donde el valor más resaltante fue el 15% visualizándose un mayor incremento de CBR.

Como segunda referencia se tiene a Escobar Lupaca (2022) donde se observó un incremento excesivo del CBR al 95% teniendo una variación de 8.65% a 11.2%, 15.80%, 23.00% y 18.20% con una dosificación del 1%, 3%, 5.5% y 8%, siendo el de mejor desenvolvimiento la dosificación del 5.5%.

En este estudio se observó que en la Calicata C3 se obtuvo un incremento del CBR de 9.3 al 95% de 11.1, 13 y 13.5 y en C4 de la misma manera se incrementó de 3.9 al 95% de 4.6, 5.3 y 5.6. con porcentaje de 5%, 10% y 15%, visualizando un incremento en el CBR inicial, siendo el porcentaje más influyente el 15%.

Viendo que se tiene coincidencia con los resultados de Apaza Velásquez y Quispe Choque, en el que se ve un crecimiento hasta el 15%, sin embargo, se ve que la CTM no tiene un crecimiento tan exponencial como en el estudio de ceniza de tallos de quinua de Escobar Lupaca.

Concluyendo que se tiene coincidencia entre los resultados por el incremento del CBR con ambos estudios, sin embargo, no se tiene un crecimiento tan exponencial como el estudio con ceniza de tallo de quinua.

**OE6:** Calcular el costo beneficio de una subrasante de suelo arenoso arcilloso con y sin adición de ceniza de tallos de mostaza en una trocha carrozable, Alpaccollo – El Collao – Puno 2023.

Se toma como referencia a Garrafa Quillo & Huaracha Taco (2022) que analiza la incidencia del costo beneficio entre el suelo arcilloso SC natural y con adición de la ceniza de cabuya y cal, obteniendo un costo unitario de la adición de ceniza de cabuya y cal por m<sup>2</sup> de S/. 82.25 soles- Siendo este un costo extra para la estabilización de la subrasante.

Finalmente en este estudio se analizó el presupuesto general con adición y sin adición de ceniza de tallo de mostaza, comparando la diferencia de precios, observando la diferencia de partidas debido al procedimiento de estabilización de la subrasante y obtención de materiales, teniendo un incremento en la ejecución de la partida con adición de ceniza de mostaza, por lo que se concluye que realizar una estabilización con adición de ceniza es excesivamente costoso, comparada a la estabilización tradicional.

Concluyendo que se tiene coincidencia en la realización de nuevas partidas para la obtención de ceniza, los cuales generan más costos en el presupuesto.

## VI. CONCLUSIONES

- Con respecto al primer objetivo se aprecia que el procedimiento seleccionado para la obtención de ceniza de mostaza dio buenos resultados, siendo eficaz para la obtención del tallo de las plantas de cultivo y malezas, además mediante su análisis composición se observó al óxido de potasio con 21.29%, sulfato de potasio, dióxido de silicio con 12.88% y otros.
- Para poder identificar una subrasante inadecuada se tiene que evaluar acorde al reglamento del MTC, sin embargo, también se puede evaluar mediante el ensayo de índice plástico, Proctor modificado y CBR. Para nuestro estudio se identificó que la calicata más inadecuada fue la calicata C-4, que es un suelo limo arcilloso con alto índice plástico y gran presencia de finos en su granulometría, obteniendo un CBR entre 3.9% ubicándose entre 3% y 6% categorizándose insuficiente.
- Se concluyó que el IP tiende a disminuir, como se observó desde el 6% de la muestra patrón en la calicata C-3 a 4%, 3% y 2%. Y de 9% de la calicata C-4 al 7%, 4% y 3% con la adición de ceniza al 5%, 10% y 15%, siendo el más resaltante el 15% con una disminución del 75% en el Índice Plástico.
- Se observó la disminución del óptimo contenido de humedad de 10.40% en la calicata C-3 a 9.10%, 9.50% y 9.0% y de 15.50% de la calicata C-4 a 13.60%, 13.30% y 12.60% con la adición del 5%, 10% y 15 % de ceniza de tallo de mostaza, además paulatinamente aumento de la DMS de 1.986 gr/cm<sup>3</sup> de la calicata C-3 a 1.996 gr/cm<sup>3</sup>, 2.009 gr/cm<sup>3</sup> y 2.062 gr/cm<sup>3</sup> y de 1.705 gr/cm<sup>3</sup> de la calicata C-4 a 1.729 gr/cm<sup>3</sup>, 1.768 gr/cm<sup>3</sup> y 1.787 gr/cm<sup>3</sup> con la adición de ceniza en todos sus porcentajes, siendo el más resaltante la adición del 15%.
- Se observó el incremento del CBR al 95% - 01" del 9.3% de la muestra patrón al 11.1% 13.0% y 13.5% de la calicata C-3 y del 3.9% al 4.6%, 5.3% y 5.6% de la calicata C-4, mejorando las propiedades mecánicas del suelo.
- Se concluyó que el mejoramiento de la subrasante de manera tradicional y el mejoramiento de subrasante con la adición de ceniza tienen una diferencia de S/. 60,179.17 soles, evaluando sus presupuestos. Resultando que es muy costoso realizar el mejoramiento del suelo con la adición de ceniza de tallos de mostaza.

## **VII. RECOMENDACIONES**

- Se recomienda el uso de equipos y maquinaria como; cortadoras y trilladoras en el procedimiento de obtención de la ceniza de tallo de mostaza, debido a que estos mejorarán el rendimiento de recolección y transporte.
- Se recomienda utilizar la ceniza de tallo de mostaza para disminuir el índice de plasticidad debido a sus propiedades secantes.
- Se recomienda el uso de la ceniza de tallo de mostaza para disminuir el Contenido de humedad de los suelos de subrasante.
- Se recomienda utilizar la ceniza de tallo de mostaza en la estabilización de subrasantes donde sea escasa o lejana el material de mejoramiento tradicional.
- Se recomienda evaluar el costo de la estabilización con ceniza de mostaza con el costo de transporte de materiales de mejoramiento de canteras.
- Se recomienda determinar otros usos para la ceniza de tallo de mostaza, como; agrícola en el control de plagas, control de humedad y como material cementante.

## REFERENCIAS

- Andaluz López, R. S. (2022). *Estudio del efecto de la ceniza de cáscara de arroz en las propiedades físico-mecánicas en suelos finos de subrasante* [Universidad Técnica de Ambato]. <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/34106>
- Apaza Velásquez, M., & Quispe Choque, J. C. (2022). Adición de ceniza de cascara de trigo y tallo de maíz para mejorar la subrasante, carretera San Pablo - Chara, Cusco 2021 [Universidad César Vallejo]. In *Universidad César Vallejo*. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/90928>
- ASTM C618 - 03. (2010). Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use West Conshohocken, PA, 2001. In *Annual Book of ASTM Standards* (Issue C, pp. 3–6).
- Braja, D. (2013). *Fundamentos de la Ingeniería Cuarta Edición* (cuarta).
- Camargo Triana, E. J., & Peralta Melo, M. Á. (2020). *Evaluación del comportamiento de la resistencia de un suelo arcilloso con adición de ceniza de cascarilla de café en el municipio de Viotá Cundinamarca* [Universidad Piloto de Colombia]. <http://repository.unipiloto.edu.co/handle/20.500.12277/7444>
- Carbone, A. V., Hernández, M. P., Arambarri, A. M., Yannicari, M., Gigón, R., Benavidez, S., & Cadavid, E. (2020). Respuesta de variedades silverstres de Brassica rapa (Brassicaceae) a la aplicación de 2,4-D. *Malezas*, 4, 4–16. <http://www.asacim.org.ar/wp-content/>
- Carrasco Días, S. (2005). *Metodología de la investigación científica*. San Marcos.
- Cobos Molina, M. A., Ortegon Ramirez, C. T., & Peralta Zarrate, J. C. (2019). *Caracterización del comportamiento geotécnico de suelos de origen volcánico estabilizados con cenizas provenientes de cáscara de coco y cisco de café* [Universidad Cooperativa de Colombia]. <https://repository.ucc.edu.co/items/329973da-d787-4517-8fb0-13acd44f1148/full>
- Corrales Álvarez, J. M. (2021). *Estabilización de subrasantes blandas con cenizas*

- de tallos de banano en zonas tropicales, Avenida Manu, Salvación, Madre de Dios* 2021 [Universidad César Vallejo].  
<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/90918>
- Escobar Lupaca, J. (2022). Estabilización de la subrasante incorporando cenizas de tallos de quinua en la carretera Checca-Mazocruz, Puno – 2022 [Universidad César Vallejo]. In *Universidad César Vallejo*.  
<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/91314>
- Garrafa Quillo, A., & Huaracha Taco, M. L. (2022). “*Estabilización sub rasante de suelos arcillosos adicionando cenizas de cabuya con cal en 4km vía Poroy - Cusco* 2022 [Universidad Cesar Vallejo].  
[http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/47102/Gutierrez\\_RS-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/47102/Gutierrez_RS-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Hernandez Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, M. del P. (2014). Metodología de la investigación. In S. A. McGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES (Ed.), *Journal of Chemical Information and Modeling* (sexta, Vol. 53, Issue 9).
- Lencinas Valeriano, F. C., & Incahuanaco Callata, B. I. (2017). *Evaluación de mezclas de concreto con adiciones de ceniza de paja de trigo como sustituto en porcentaje del cemento portland puzolanico IP en la zona altiplánica* [Universidad Nacional del Altiplano].  
<http://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/3973>
- Masats, J. (2023). *Características de la mostaza blanca*. Botanical Online.  
<https://www.botanical-online.com/botanica/mostaza-sinapis-alba>
- MTC. (2014). Manual de carreteras. In *Dirección de Normatividad Vial*. Servicios Gráficos Squadrito EIRL.
- MTC. (2016). *Manual de ensayo de materiales*.
- Neguse, D., Assefa, E., & Assefa, S. M. (2023). Study on the Performance of Expansive Subgrade Soil Stabilized with Enset Ash. *Advances in Civil Engineering*, 2023. <https://doi.org/10.1155/2023/7851261>
- Ordoño Quilca, B. P. (2022). Estabilización de subrasante con cenizas de tallo de

- muña y hojas de eucalipto en el camino vecinal PU-1065, Puno 2022 [Universidad César Vallejo]. In *Universidad César Vallejo*. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/106243>
- Rai, P., Qiu, W., Pei, H., Chen, J., Ai, X., Liu, Y., & Ahmad, M. (2021). Effect of Fly Ash and Cement on the Engineering Characteristic of Stabilized Subgrade Soil: An Experimental Study. *Geofluids*, 2021. <https://doi.org/10.1155/2021/1368194>
- Rivera, J. F., Aguirre-Guerrero, A., Mejía de Gutiérrez, R., & Orobio, A. (2020). Estabilización química de suelos - Materiales convencionales y activados alcalinamente (revisión). *Informador Técnico*, 84(2), 43–67. <https://doi.org/10.23850/22565035.2530>
- Riyad, A. S. M., Rafizul, I. M., & Johora, F. T. (2018). Effect of Fly Ash Content on the Engineering Properties of Stabilized Soil at South-western Region of Bangladesh. *Iranian Journal of Energy and Environment*, 9(3). <https://doi.org/10.5829/ijee.2018.09.03.10>
- Savedra Savedra, M., Castillo Llanque, F., Pérez Melgares, J. D., Hidalgo Moya, J. C., & Alcántara Braña, C. (2015). Características de Sinapis Alba Como Cubierta Vegetal y Para Biofumigación. In *Agricultura Andalucía*. <http://www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/ifapa/-/action/3a269130-1bb9-11df-b7e2-9dc1a0f432f2/e5747030-1bb8-11df-b7e2-35c8dbbe5a83/es/d37ec860-4634-11e0-9740-bd3181e5ef4b/alfrescoDocument?i3pn=contenidoAlf&i3pt=S&i3l=es&i3d=e5747030-1bb8-11df-b7e2->
- Sema, Y., & Lamine, M. (2019). Stabilization of Clay Soils Using Fly Ash. *Black Sea Journal of Engineering and Science*, 2(3), 81–87. <https://doi.org/10.34248/bsengineering.564166>
- Senamhi. (2023). *Mapa Climatico del Perú*. <https://www.senamhi.gob.pe/servicios/?p=mapa-climatico-del-peru>
- Vargas Cordero, Z. R. (2009). La Investigación aplicada: Una forma de conocer las realidades con evidencia científica. *Revista Educación*, 33(1), 155. <https://doi.org/10.15517/revedu.v33i1.538>

Vargas, Y. E., Gutierrez, Y. M., & Rojas Marulanda, J. R. (2020). *Estabilización de afirmado con ceniza proveniente de desechos de cascarilla de café para aplicar en suelos de construcción de vías* (Issue 1) [Universidad Cooperativa de Colombia].

<https://repositorio.sena.edu.co/handle/11404/5822%0Ahttps://www.redalyc.org/jatsRepo/3832/383257036005/383257036005.pdf>

White, H., & Sabarwal, S. (2014). Diseño y métodos cuasiexperimentales. *Sinopsis Metodológicas. Sinopsis de La Evaluación de Impacto N°. 8*, 1–16.

<https://www.unicef-irc.org/publications/pdf/MB8ES.pdf>

Zumrawi, M. M. E. (2015). Stabilization of Pavement Subgrade by Using Fly Ash Activated by Cement. *American Journal of Civil Engineering and Architecture*, 3(6), 218–224. <https://doi.org/10.12691/ajcea-3-6-5>

## **ANEXOS**

## ANEXO A- Matriz de consistencia

Título: “Efecto de la ceniza de tallo de mostaza en las propiedades físico-mecánicas de la subrasante de un suelo arenoso arcilloso para la trocha carrozable, Alpaccollo – El Collao – Puno 2023”

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	UND	INSTRUMENTOS
<b>Problema general</b> ¿Cuál es el efecto de la ceniza de tallo de mostaza en las propiedades físico-mecánicas de la subrasante de un suelo arenoso arcilloso en una trocha carrozable, Alpaccollo – El Collao – Puno 2023?	<b>Objetivo general</b> Determinar el efecto de la ceniza de tallo de mostaza en las propiedades físico-mecánicas de la subrasante de un suelo arenoso arcilloso en una trocha carrozable, Alpaccollo – El Collao – Puno 2023.	<b>Hipótesis general</b> La aplicación de ceniza de tallo de mostaza influirá de manera positiva en la estabilización de una subrasante de suelo arenoso arcilloso en una trocha carrozable, Alpaccollo – El Collao – Puno 2023.	INDEPENDIENTE	Aplicación de la ceniza de tallos de mostaza en la trocha carrozable, Alpaccollo – El Collao – Puno 2023.	5% de ceniza de tallo mostaza	%	Ficha de recolección de datos
					10% de ceniza de tallo de mostaza		
					15% de ceniza de tallo de mostaza		
<b>Problemas específicos</b> PE1: ¿Cuál es el procedimiento para obtener ceniza de tallo de mostaza para la aplicación en la subrasante de suelo arenoso arcilloso en una trocha carrozable, Alpaccollo – El Collao – Puno 2023?	<b>Objetivos específicos</b> PE1: Conceptuar el procedimiento para obtener ceniza de tallo de mostaza para la aplicación en la subrasante de suelo arenoso arcilloso en una trocha carrozable, Alpaccollo – El Collao – Puno 2023.	<b>Hipótesis específicas</b> PE1: El procedimiento para la obtención de ceniza de tallo de mostaza para la aplicación en la subrasante, se realizará correctamente acreditándose con su certificado de ceniza en laboratorio.			Granulometría y peso específico	%	
PE2: ¿Cuál es la subrasante más inadecuada del suelo natural en la trocha carrozable, Alpaccollo – El Collao – Puno 2023?	PE2: Estimar la subrasante más inadecuada del suelo natural en la trocha carrozable, Alpaccollo – El Collao – Puno 2023	PE2: Analizando las propiedades físico-mecánicas del suelo se podrá estimar la subrasante más inadecuada del suelo natural en la trocha carrozable, Alpaccollo – El Collao – Puno 2023				%	
PE3: ¿Cuánto varía el índice de plasticidad en la subrasante de suelo arenoso arcilloso aplicando ceniza de tallo de mostaza en una trocha carrozable, Alpaccollo – El Collao – Puno 2023?	PE3: Identificar la variación del índice de plasticidad de la subrasante de suelo arenoso arcilloso aplicando ceniza de tallo de mostaza en una trocha carrozable, Alpaccollo – El Collao – Puno 2023.	PE3: La aplicación de ceniza de tallo de mostaza disminuirá el índice de plasticidad en la subrasante de suelo arenoso arcilloso en una trocha carrozable, Alpaccollo – El Collao – Puno 2023.	DEPENDIENTE	Estabilización de subrasante de suelo arenoso arcilloso	Propiedades físico-mecánicas Granulometría, contenido de humedad, clasificación de suelos SUCS y AASTHO, Límite líquido, límite plástico, índice de plasticidad, máxima densidad seca, óptimo contenido de humedad y CBR	%	Ficha de recolección de datos
PE4: ¿cuál es la influencia de ceniza de tallo de mostaza en la máxima densidad seca y contenido de humedad en la subrasante de suelo arenoso arcilloso, en una trocha carrozable Alpaccollo – El Collao – Puno 2023?	PE4: Registrar la influencia de ceniza de tallo de mostaza en la máxima densidad seca y contenido de humedad en la subrasante de suelo arenoso arcilloso en una trocha carrozable, Alpaccollo – El Collao – Puno 2023.	PE4: la ceniza de tallo de mostaza reducirá la densidad máxima seca y aumentará el contenido de humedad de la subrasante de suelo arenoso arcilloso en una trocha carrozable, Alpaccollo – El Collao – Puno 2023.				Gr/cm3	
PE5: ¿Cuál es la variación del CBR al estabilizar la subrasante de suelo arenoso arcilloso con la adición de cenizas de tallos de mostaza en una trocha	PE5: Determinar la variación del CBR al estabilizar la subrasante de suelo arenoso arcilloso con la adición de cenizas de tallos de mostaza en una trocha	PE5: se tendrá una variación positiva del CBR al estabilizar la subrasante de suelo arenoso arcilloso con la adición de cenizas de tallos de mostaza en				%	

carrozable, Alpacollo – El Collao – Puno 2023?	carrozable, Alpacollo – El Collao – Puno 2023.	una trocha carrozable, Alpacollo – El Collao – Puno 2023.				
PE6: ¿Cuál es el costo beneficio de una subrasante de suelo arenoso arcilloso con y sin adición de ceniza de tallos de mostaza en una trocha carrozable, Alpacollo – El Collao – Puno 2023?	PE6: Calcular el costo beneficio de una subrasante de suelo arenoso arcilloso con y sin adición de ceniza de tallos de mostaza en una trocha carrozable, Alpacollo – El Collao – Puno 2023.	PE6: El costo beneficio de una subrasante de suelo arenoso arcilloso con adición de ceniza de tallo de mostaza en una trocha carrozable no será más económica que de un suelo natural, Alpacollo – El Collao – Puno 2023.			Costos y presupuesto	S/.

## ANEXO B- Operacionalización de Variables

Título: “Efecto de la ceniza de tallo de mostaza en las propiedades físico-mecánicas de la subrasante de un suelo arenoso arcilloso para la trocha carrozable, Alpaccollo – El Collao – Puno 2023”

VARIABLE DE INVESTIGACIÓN	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIÓN	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA	METODOLOGÍA
<b>V1:</b> <b>INDEPENDIENTE</b> Ceniza de tallo de mostaza	La ceniza de tallo de mostaza (CTM) es el residuo de la quema del tallo de mostaza en un horno a temperatura entre 500 a 650°C	se operacionalizará acorde a sus dimensiones e indicadores como; porcentaje de ceniza acorde a la dosificación, granulometría y peso específico.	Porcentaje de dosificación  granulometría y cálculo del peso específico	5% de ceniza 10% de ceniza 15% de ceniza pase por la malla N°200, determinación del peso específico de la ceniza	Razón	Tipo de Investigación: Aplicada. Nivel de Investigación: Explicativo. Diseño de Investigación: Cuasi – Experimental. Enfoque: Cuantitativo.
<b>V2:</b> <b>DEPENDIENTE</b> Propiedades físico-mecánicas del suelo de una subrasante	las propiedades físico mecánicas de la subrasante son la base primordial de toda vía, se requiere mejorar las propiedades del suelo de subrasante a través de la adicción de elementos externos, para alcanzar un CBR ≥ 6% para el nivel de subrasante, tomando en consideración lo mencionado en el reglamento de carreteras del ministerio de transportes y comunicaciones	las propiedades físico-mecánicas del suelo de subrasante se operacionalizará mediante sus dimensiones de plasticidad, compactación y capacidad de soporte	plasticidad  compactación  capacidad de soporte	Ensayo granulométrico, contenido de humedad, limite líquido, limite plástico y índice de plasticidad  Ensayo de Proctor modificado; máxima densidad seca, optimo contenido de humedad  Ensayo CBR	Razón	Población: trocha carrozable de 1.46km Muestra: 3 calicatas Muestreo: No probabilístico. Técnica: Observación directa Instrumento de recolección de datos: - Fichas de recolección de datos - Equipos y herramientas de laboratorio. - Software de análisis de datos. (Excel, SPSS v26)

### ANEXO C- Análisis estadístico de resultados

**OE3:** Identificar la variación del índice de plasticidad de la subrasante de suelo arenoso arcilloso aplicando ceniza de tallo de mostaza en una trocha carrozable, Alpacollo – El Collao – Puno 2023.

Ceniza	variable	n	mean	sd
0%	LL	6	28.1	2.01
5%	LL	6	25.5	1.51
10%	LL	6	24.9	1.35
15%	LL	6	23.2	1.52

Se realiza la prueba de Shapiro Will para la normalidad:

Shapiro-Wilk normality test
data: residuals(anova_LL)
W = 0.97179, p-value = 0.7111

Se acepta por el nivel de significancia  $P > 0.05$ , aceptamos la  $H_0$

Test de homogeneidad de varianzas

df1	df2	statistic	p
3	20	0.617	<b>0.612</b>

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Ceniza2	3	72.62	24.208	9.272	0.000477 ***
Residuals	20	52.22	2.611		

Tukey multiple comparisons of means  
95% family-wise confidence level

	diff	lwr	upr	p adj
10%-0%	-3.1816667	-5.7927347	-0.57059859	0.0135665
<b>15%-0%</b>	<b>-4.8400000</b>	<b>-7.4510681</b>	<b>-2.22893192</b>	<b>0.0002423</b>
5%-0%	-2.5983333	-5.2094014	0.01273475	0.0514126
15%-10%	-1.6583333	-4.2694014	0.95273475	0.3126281
5%-10%	0.5833333	-2.0277347	3.19440141	0.9227240
5%-15%	2.2416667	-0.3694014	4.85273475	0.1087951

Se tiene un mejor valor de significancia entre el 0% y 15%

Ceniza	variable	n	mean	sd
0%	LP	4	20.2	0.27
5%	LP	4	19.7	0.531
10%	LP	4	21.3	0.839
15%	LP	4	20.4	0.747

Shapiro-Wilk normality test  
 data: residuals(anova\_LP)  
 W = 0.91949, p-value = **0.1656**

Se acepta por el nivel de significancia  $P > 0.05$ , aceptamos la  $H_0$

	df1	df2	statistic	p
	3	12	0.929	0.188

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
CenizaLP	3	5.141	1.7138	4.239	0.0293 *
Residuals	12	4.851	0.4043		

Tukey multiple comparisons of means  
 95% family-wise confidence level

	diff	lwr	upr	p adj
10%-0%	1.0875	-0.247316	2.422316	0.1260927
15%-0%	0.2575	-1.077316	1.592316	0.9383428
5%-0%	-0.4750	-1.809816	0.859816	0.7209433
15%-10%	-0.8300	-2.164816	0.504816	0.3002543
<b>5%-10%</b>	<b>-1.5625</b>	<b>-2.897316</b>	<b>-0.227684</b>	<b>0.0206704</b>
5%-15%	-0.7325	-2.067316	0.602316	0.3997334

Se tiene un mejor valor de significancia entre el 10% y 15%

Ceniza	variable	n	mean	sd
0%	IP	2	7.89	2.48
5%	IP	2	5.76	2.17
10%	IP	2	3.62	0.283
15%	IP	2	2.80	0.672

Shapiro-Wilk normality test  
 data: residuals(anova\_IP)  
 W = 0.945, p-value = 0.6608

Se acepta por el nivel de significancia  $P > 0.05$ , aceptamos la  $H_0$

	df1	df2	statistic	p
	3	4	6.73	0.735

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
CenizaIP	3	31.41	10.468	3.683	0.12
Residuals	4	11.37	2.842		

**OE4:** Registrar la influencia de ceniza de tallo de mostaza en la máxima densidad seca y contenido de humedad en la subrasante de suelo arenoso arcilloso en una trocha carrozable, Alpacollo – El Collao – Puno 2023.

Ceniza	variable	n	mean	sd
0%	OCH	8	11.5	3.62
5%	OCH	8	10.3	3.40
10%	OCH	8	9.96	3.21
15%	OCH	8	9.74	3.03

Shapiro-Wilk normality test  
 data: residuals(anova\_OCH)  
 W = 0.9649, p-value = **0.3717**

Se acepta por el nivel de significancia  $P > 0.05$ , aceptamos la  $H_0$

	df1	df2	statistic	p
	3	28	0.0775	0.972

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
CenizaOCH	3	14.75	4.915	0.445	0.722
Residuals	28	309.02	11.036		

0%	DMAX	8	1.85	0.141
5%	DMAX	8	1.8	0.143
10%	DMAX	8	1.84	0.148
15%	DMAX	8	1.86	0.145

Shapiro-Wilk normality test  
 data: residuals(anova\_DMAX)  
 W = 0.9581, p-value = 0.2435

	df1	df2	statistic	p
	3	28	0.133	0.940

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
CenizaDMAX	3	0.0164	0.005482	0.264	0.851
Residuals	28	0.5822	0.020792		

**OE5:** Determinar la variación del CBR al estabilizar la subrasante de suelo arenoso arcilloso con la adición de cenizas de tallos de mostaza en una trocha carrozable, Alpacollo – El Collao – Puno 2023.

AI 95%

Ceniza	variable	n	mean	sd
0%	CBR	4	9.28	4.64
5%	CBR	4	10.9	5.20
10%	CBR	4	11.7	5.67
15%	CBR	4	12.4	5.64

Shapiro-Wilk normality test  
 data: residuals(anova\_CBR)  
 W = 0.77428, p-value = 0.001266

No se tiene un valor de significancia  $P > 0.05$ , se acepta la Hipótesis alterna H1

df1	df2	statistic	p
3	12	1.33	0.311

Kruskal-Wallis rank sum test  
 data: CBR by Ceniza  
 Kruskal-Wallis chi-squared = 2.6691, df = 3, p-value = 0.4455

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Ceniza	3	21.0	6.996	0.249	0.861
Residuals	12	337.4	28.113		

## ANEXO D- Tablas

**Tabla 1**

*Clasificación botánica de planta mostaza*

<b>Clasificación botánica</b>	
Reino	<i>Plantae</i>
Subreino	<i>Tracheobionta</i>
Superdivisión	Plantas vasculares <i>Spermatophyta</i>
División	Plantas con semillas <i>Magnoliophyta</i>
Clase	Plantas con flores <i>Magnoliopsida</i>
Orden	Dicotiledóneas Brassicales
Familia	<i>Brassicaceae o Brassicáceas</i>
Género	<i>Brassica o Sinapis</i>
Especie	<i>Brassica rapa L.</i>

*Fuente: Botanical online (Masats, 2023)*

**Tabla 2**

*Correlación de tipo de Suelos AASHTO y SUCS*

<b>Clasificación de Suelos AASHTO AASHTO M-145</b>	<b>Clasificación de Suelos SUCS ASTM – D - 2487</b>
<b>A-1-a</b>	GW, GP, GM, SW, SP, SM
<b>A-1-b</b>	GM, GP, SM, SP
<b>A-2</b>	GM, GC, SM, SC
<b>A-3</b>	SP
<b>A-4</b>	CL, ML
<b>A-5</b>	ML, MH, CH
<b>A-6</b>	CL, CH
<b>A-7</b>	OH, MH, CH

*Fuente: US Army Corps of Engineers*

**Tabla 3**

*Clasificación de subrasantes*

<b>Categorías</b>	<b>CBR</b>
Subrasantes irregulares	CBR<3
Subrasantes pobres	3≤CBR<6
Subrasantes regulares	6≤CBR<10
Subrasantes buenas	10≤CBR<20

Subrasantes muy buenas	$20 \leq \text{CBR} < 30$
Subrasantes excelentes	$30 \leq \text{CBR}$

Fuente: Manual de carreteras, 2014

#### Tabla 4

Clasificación de Suelo Según el tamaño de partícula

Tipo de Material	Tamaño de las partículas
<b>Grava</b>	75mm – 4.75mm
<b>Arena</b>	Arena gruesa: 4.75mm – 2.00mm
	Arena media: 2.00mm – 0.425mm
	Arena fina: 0.425mm – 0.075mm
<b>Material Fino</b>	Limo 0.075mm – 0.005mm
	Arcilla < a 0.005mm

Fuente: Manual de carreteras, 2014

#### Tabla 5

Clasificación de suelos según IP

Índice de Plasticidad	Plasticidad	Característica
<b>IP &gt; 20</b>	Alta	Suelos muy arcillosos
<b>IP ≤ 20</b>	Media	Suelos arcillosos
<b>IP &gt; 7</b>		
<b>IP &lt; 7</b>	Baja	Suelos poco arcillosos
<b>IP = 0</b>	No plástica (NP)	Suelos exentos de arcilla

Fuente: Manual de carreteras, 2014

## ANEXO E- Análisis estadístico de resultados

### Costos y Presupuestos en OE6

#### Metrado general Sin uso de ceniza de tallo de mostaza

MEJORAMIENTO DE SUB RASANTE C/MAT. CANTERA							
PERFILADO Y COMPACTADO DE SUB-RASANTE	m3	1.00	1,461.00	8.00	0.25	2,922.00	2,922.00
EXTRACCION Y APILAMIENTO (MATERIAL - CANTERA)	m3	1.00	1,461.00	8.00	0.16	1,870.08	1,870.08
ZARANDEO DE MATERIAL EN CANTERA	m3	1.00	1,461.00	8.00	0.16	1,870.08	1,870.08
TRANSPORTE DE MATERIAL DE PRESTAMO	m3	1.00	1,461.00	8.00	0.09	1,051.92	1,051.92
CARGUIO DE MATERIAL DE CANTERA	m3	1.00	1,870.08			1,870.08	1,870.08
CONFORMACION DE TERRAPLENES CON MATERIAL DE PRESTAMO	m3	1.00	1,461.00	8.00	0.25	2,922.00	2,922.00
RIEGO	m3	1.00	1,461.00	8.00	0.05	584.40	584.40

#### Metrado general de partida para uso de ceniza de mostaza

MEJORAMIENTO DE SUB RASANTE C/MAT. CENIZA DE TALLO DE MOSTZA							
PERFILADO Y COMPACTADO DE SUB-RASANTE	m3	1.00	1,461.00	8.00	0.25	2,922.00	2,922.00
EXTRACCION Y APILAMIENTO (MATERIAL - CENIZA)	m3	1.00	1,461.00	8.00	0.16	1,870.08	1,870.08
ZARANDEO DE MATERIAL DE CENIZA	m3	1.00	1,870.08			1,870.08	1,870.08
INCINERACIÓN DE MATERIAL DE CENIZA	m3	1.00	1,870.08			1,870.08	1,870.08
TRANSPORTE DE MATERIAL DE PRESTAMO	m3	1.00	1,461.00	8.00	0.09	1,051.92	1,051.92
CARGUIO DE MATERIAL DE CENIZA	m3	1.00	1,870.08			1,870.08	1,870.08
CONFORMACION DE TERRAPLENES CON MATERIAL DE PRESTAMO	m3	1.00	1,461.00	8.00	0.25	2,922.00	2,922.00
RIEGO	m3	1.00	1,461.00	8.00	0.05	584.40	584.40

#### Costo unitario de partidas influyentes

Partida	06.02	EXTRACCION Y APILAMIENTO (MATERIAL - CENIZA)					
Rendimiento	m3/DIA	MO. 50.0000	EQ. 50.0000	Costo unitario directo por : m3			17.66
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.	
	<b>Mano de Obra</b>						
0147010004	PEON	hh	6.0000	0.9600	17.86	17.15	
	<b>Equipos</b>						
0337010001	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		3.0000	17.15	0.51	
						0.51	

Partida	06.03	INCINERACION DE MATERIAL DE CENIZA				
Rendimiento	m3/DIA	MO. 250.0000	EQ. 250.0000	Costo unitario directo por : m3		16.41
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.
<b>Mano de Obra</b>						
0147010002	OPERARIO	hh	1.0000	0.0320	25.41	0.81
0147010004	PEON	hh	2.0000	0.0640	17.86	1.14
<b>1.95</b>						
<b>Equipos</b>						
0337010001	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		3.0000	1.95	0.06
0348760056	HORNO ELECTRICO INDUSTRIAL	hm	1.0000	0.0320	150.00	4.80
0349040011	CARGADOR S/LLANTAS 160-195 HP 3.5 YD3.	hm	1.0000	0.0320	220.00	7.04
0349040093	TRILLADORA DE HIERBA 5TD-125	hm	1.0000	0.0320	80.00	2.56
<b>14.46</b>						

Partida	06.04	ZARANDEO DE MATERIAL DE CENIZA				
Rendimiento	m3/DIA	MO. 2,500.0000	EQ. 2,500.0000	Costo unitario directo por : m3		2.34
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.
<b>Mano de Obra</b>						
0147010002	OPERARIO	hh	2.0000	0.0064	25.41	0.16
0147010004	PEON	hh	6.0000	0.0192	17.86	0.34
<b>0.50</b>						
<b>Equipos</b>						
0337010001	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		3.0000	0.50	0.02
0349040011	CARGADOR S/LLANTAS 160-195 HP 3.5 YD3.	hm	2.0000	0.0064	220.00	1.41
0349080010	ZARANDA VIBRATORIA 4"x6"x14" M.E. 15 HP	hm	2.0000	0.0064	10.00	0.06
0349150008	GRUPO ELECTROGENO 380 HP 250 KW	hm	2.0000	0.0064	55.00	0.35
<b>1.84</b>						

Partida	06.06	CARGUIO DE MATERIAL DE CENIZA				
Rendimiento	m3/DIA	MO. 2,000.0000	EQ. 2,000.0000	Costo unitario directo por : m3		1.92
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.
<b>Mano de Obra</b>						
0147010003	OFICIAL	hh	2.0000	0.0080	19.82	0.16
<b>0.16</b>						
<b>Equipos</b>						
0337010001	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		3.0000	0.16	
0349040011	CARGADOR S/LLANTAS 160-195 HP 3.5 YD3.	hm	2.0000	0.0080	220.00	1.76
<b>1.76</b>						

# ANEXO F- Panel Fotográfico

## Figura 25

Recolección de Materiales y Procesamiento







# GEOTECMIN JEFRALEO E.I.R.L.

## LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS Y CONCRETO

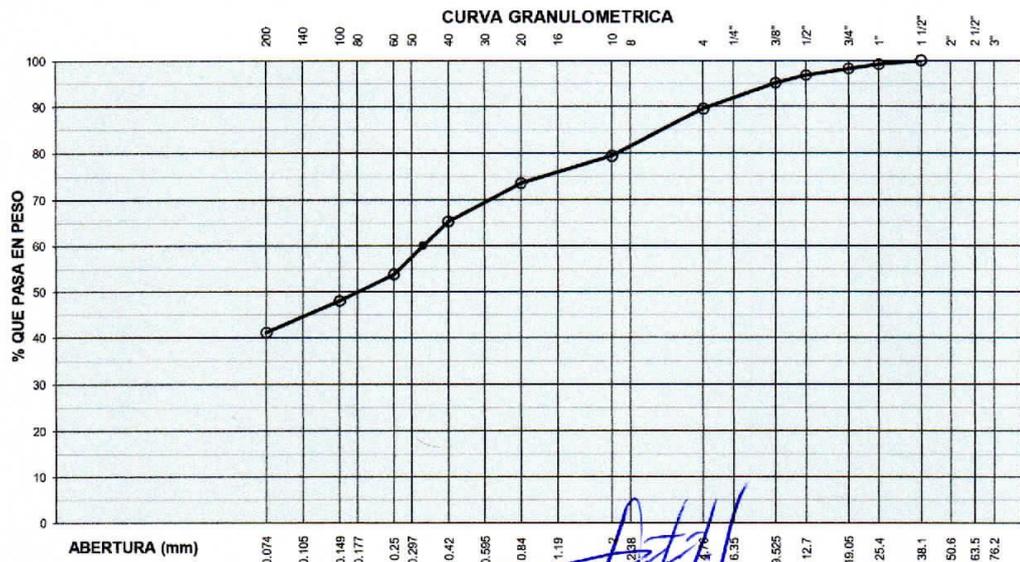
PROYECTO : "EFECTO DE LA CENIZA DE TALLO DE MOSTAZA EN LAS PROPIEDADES FISICO-MECANICAS DE LA SUBRASANTE DE UN SUELO ARENOSO ARCILLOSO PARA LA TROCHA CARROZABLE, ALPACCOLLO - EL COLLAO - PUNO 2023"

SOLICITANTE : OSMAR DAVID LIENDO CRUZ  
 LUGAR : SAN MIGUEL DE ALPACCOLLO - ILAVE  
 FECHA RECEPCION : 17/04/2023  
 FECHA DE ENSAYO : 21/04/2023

PROGRESIVA : 1+000  
 N° CALICATA : C-3  
 MUESTRA : PISTA  
 TEC. RESPONSABLE : J.C.J.  
 ING. RESPONSABLE : H.F.M.P.

### ANALISIS GRANULOMETRICO DE AGREGADOS ( INTEGRAL ) MTC E 204-2016

TAMICES		MATERIAL RETENIDO			MATERIAL QUE PASA (%)	ESPECIFICACIONES		DESCRIPCION DE LA MUESTRA
Ø	mm	PESO (g)	PARCIAL (%)	ACUMULADO (%)	MIN. (%)	MAX. (%)		
Pulg.	mm							
3"	76.20						PESO INICIAL : 2838 g	
2 1/2"	63.50						PORCION FINOS : 1900.0 g	
2"	50.80						% DE HUMEDAD : 14.0	
1 1/2"	38.10				100.0		TAMAÑO MAXIMO : 2"	
1"	25.40	21	0.8	0.8	99.2		% DE GRAVA : 10.5	
3/4"	19.05	25	0.9	1.7	98.3		% DE ARENA : 48.4	
1/2"	12.70	38	1.4	3.2	96.8		% PASANTE N° 200 : 41.1	
3/8"	9.53	45	1.7	4.9	95.1		L.L. : 26 %	
1/4"	6.35						L.P. : 20 %	
N° 4	4.75	148	5.6	10.5	89.5		I.P. : 6 %	
N° 8	2.36						M.F. : 0.55	
N° 10	2.00	215.0	10.1	20.6	79.4		CLASIFIC. SUCS : SC-SM	
N° 16	1.19						CLASIF. AASHTO : A-4 (1)	
N° 20	0.85	123.7	5.8	26.5	73.5		D <sub>15</sub> - C <sub>u</sub>	
N° 30	0.60						D <sub>30</sub> - C <sub>c</sub>	
N° 40	0.42	175.0	8.2	34.7	65.3		D <sub>45</sub> 0.331	
N° 50	0.30						OBSERVACIONES:	
N° 60	0.25	243.7	11.5	46.2	53.8			
N° 80	0.18							
N° 100	0.15	124.5	5.9	52.0	48.0			
N° 140	0.11							
N° 200	0.074	145.0	6.8	58.9	41.1			
BANDEJA		873.1	41.1	100.0				



*Heder Frank Maniani Pantoja*  
 INGENIERO GEOLOGO  
 CIP. 246281



# GEOTECMIN JEFRALEO E.I.R.L.

## LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS Y CONCRETO

PROYECTO : "EFECTO DE LA CENIZA DE TALLO DE MOSTAZA EN LAS PROPIEDADES FISICO-MECANICAS DE LA SUBRASANTE DE UN SUELO ARENOSO ARCILLOSO PARA LA TROCHA CARROZABLE, ALPACCOLLO - EL COLLAO - PUNO 2023"

SOLICITANTE : OSMAR DAVID LIENDO CRUZ  
LUGAR : SAN MIGUEL DE ALPACCOLLO - ILAVE

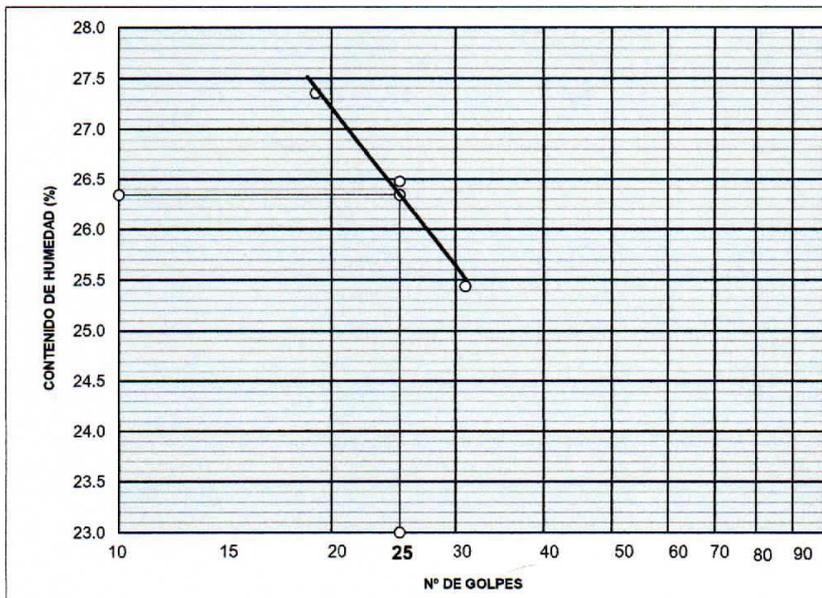
FECHA RECEPCION : 17/04/2023  
FECHA DE ENSAYO : 21/04/2023

PROGRESIVA: 1+000  
N° CALICATA: C-3  
MUESTRA: PISTA  
TEC. RESPONSABLE: J.C.J.  
ING. RESPONSABLE: H.F.M.P.

### LIMITES DE CONSISTENCIA PASANTE MALLA N° 40

LIMITE LIQUIDO (LL) MTC E 110-2016					
NUMERO DE GOLPES, N		19	25	31	
N° DEL DEPOSITO		4	5	6	
PESO DEL SUELO HUMEDO + DEPOSITO	(g)	33.38	31.12	31.60	
PESO DEL SUELO SECO + DEPOSITO	(g)	29.17	27.85	28.12	
PESO DEL AGUA	(g)	4.21	3.27	3.48	
PESO DEL DEPOSITO	(g)	13.78	15.50	14.44	
PESO DEL SUELO SECO	(g)	15.39	12.35	13.68	
CONTENIDO DE AGUA	(%)	27.36	26.48	25.44	

LIMITE PLASTICO (LP) MTC E 111-2016					
N° DEL DEPOSITO		3	2		Centrar
PESO DEL SUELO HUMEDO + DEPOSITO	(g)	18.33	19.23		
PESO DEL SUELO SECO + DEPOSITO	(g)	17.51	18.29		
PESO DEL AGUA	(g)	0.82	0.94		
PESO DEL DEPOSITO	(g)	13.44	13.69		
PESO DEL SUELO SECO	(g)	4.07	4.60		
CONTENIDO DE AGUA	(%)	20.15	20.43		



L.L. = 26 %

L.P. = 20 %

I.P. = 6 %

OBSERVACIONES:



Hedey Frank Mampul Paruta  
INGENIERO GEOLOGO  
CIP. 246281







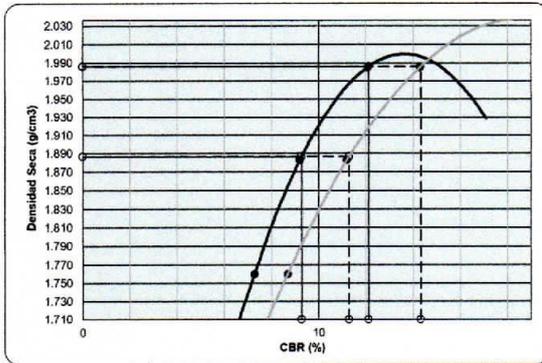
## GEOTECMIN JEFRALEO E.I.R.L.

### LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS Y CONCRETO

PROYECTO : "EFECTO DE LA CENIZA DE TALLO DE MOSTAZA EN LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE LA SUBRASANTE DE UN SUELO ARENOSO ARCILLOSO PARA LA TROCHA CARROZABLE, ALPACCOLLO - EL COLLAO - PUNO 2023"

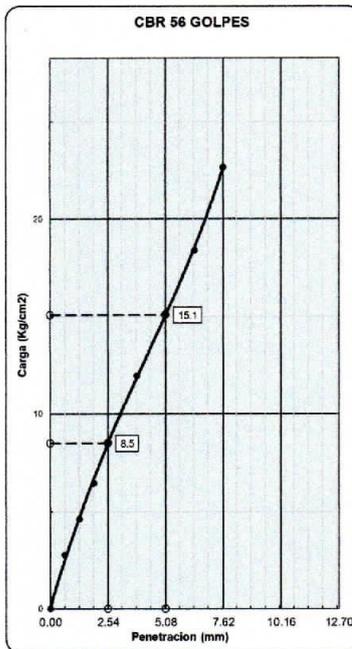
SOLICITANTE : <b>OSMAR DAVID LIENDO CRUZ</b>	PROGRESIVA : <b>1+000</b>
LUGAR : <b>SAN MIGUEL DE ALPACCOLLO - ILAVE</b>	N° CALICATA : <b>C-3</b>
FECHA RECEPCION : <b>17/04/2023</b>	MUESTRA : <b>PISTA</b>
FECHA DE ENSAYO : <b>21/04/2023</b>	TEC. RESPONSABLE : <b>J.C.J.</b>
	ING. RESPONSABLE : <b>H.F.M.P.</b>

#### ENSAYO DE CBR - GRAFICO DE PENETRACION MTC E 132-2016

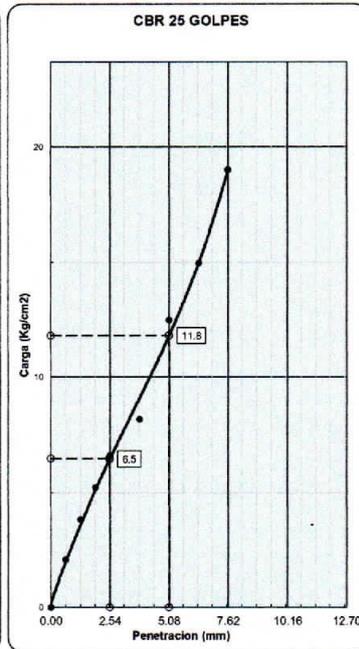


C.B.R. AL 100% DE M.D.S. 0.1"	12.1
C.B.R. AL 95% DE M.D.S. 0.1"	9.3
C.B.R. AL 100% DE M.D.S. 0.2"	14.3
C.B.R. AL 95% DE M.D.S. 0.2"	11.3

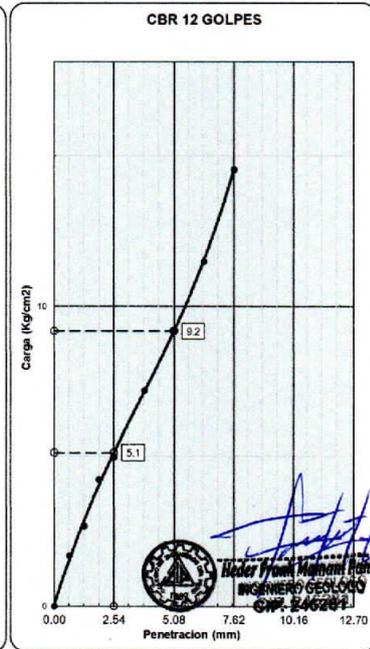
Observaciones: *Celda de Carga*



C.B.R. (0.1")-56 GOLPES : **12.1**  
C.B.R. (0.2")-56 GOLPES : **14.3**



C.B.R. (0.1")-25 GOLPES : **9.2**  
C.B.R. (0.2")-25 GOLPES : **11.2**



C.B.R. (0.1")-12 GOLPES : **7.3**  
C.B.R. (0.2")-12 GOLPES : **8.7**



# GEOTECMIN JEFRALEO E.I.R.L.

## LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS Y CONCRETO

PROYECTO : "EFECTO DE LA CENIZA DE TALLO DE MOSTAZA EN LAS PROPIEDADES FISICO-MECANICAS DE LA SUBRASANTE DE UN SUELO ARENOSO ARCILLOSO PARA LA TROCHA CARROZABLE, ALPACCOLLO - EL COLLAO - PUNO 2023"

SOLICITANTE : OSMAR DAVID LIENDO CRUZ  
LUGAR : SAN MIGUEL DE ALPACCOLLO - ILAVE

PROGRESIVA: 1+000  
N° CALICATA: C3

FECHA RECEPCION : 17/04/2023  
FECHA DE ENSAYO : 25/04/2023

TEC. RESPONSABLE: J.C.J.  
ING. RESPONSABLE: H.F.M.P.

MUESTRA : SUELO NATURAL + 5% DE CENIZA

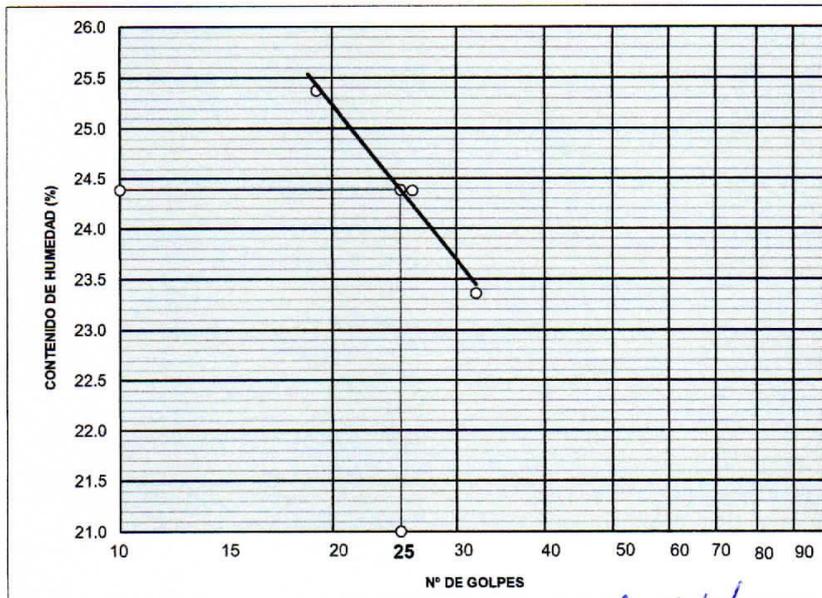
### LIMITES DE CONSISTENCIA PASANTE MALLA N° 40

#### LIMITE LIQUIDO (LL) MTC E 110-2016

NUMERO DE GOLPES, N	19	26	32		
N° DEL DEPOSITO	5	7	8		
PESO DEL SUELO HUMEDO + DEPOSITO (g)	28.73	29.26	28.58		
PESO DEL SUELO SECO + DEPOSITO (g)	26.70	27.20	26.73		
PESO DEL AGUA (g)	2.03	2.06	1.85		
PESO DEL DEPOSITO (g)	18.70	18.75	18.81		
PESO DEL SUELO SECO (g)	8.00	8.45	7.92		
CONTENIDO DE AGUA (%)	25.38	24.38	23.36		

#### LIMITE PLASTICO (LP) MTC E 111-2016

N° DEL DEPOSITO	5	1			Centrar
PESO DEL SUELO HUMEDO + DEPOSITO (g)	13.36	13.88			
PESO DEL SUELO SECO + DEPOSITO (g)	12.52	12.97			
PESO DEL AGUA (g)	0.84	0.91			
PESO DEL DEPOSITO (g)	8.34	8.46			
PESO DEL SUELO SECO (g)	4.18	4.51			
CONTENIDO DE AGUA (%)	20.10	20.18			



L.L. = 24 %

L.P. = 20 %

I.P. = 4 %

OBSERVACIONES:



Heder Frank Magoni  
INGENIERO GEOLÓGO  
CIP. 246281



# GEOTECMIN JEFRALEO E.I.R.L.

## LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS Y CONCRETO

PROYECTO : "EFECTO DE LA CENIZA DE TALLO DE MOSTAZA EN LAS PROPIEDADES FISICO-MECANICAS DE LA SUBRASANTE DE UN SUELO ARENOSO ARCILLOSO PARA LA TROCHA CARROZABLE, ALPACCOLLO - EL COLLAO - PUNO 2023"

SOLICITANTE : OSMAR DAVID LIENDO CRUZ  
 LUGAR : SAN MIGUEL DE ALPACCOLLO - ILAVE  
 FECHA RECEPCION : 17/04/2023  
 FECHA DE ENSAYO : 25/04/2023

PROGRESIVA : 1+000  
 N° CALICATA : C3  
 MUESTRA : SUELO NAT. + 5% DE CENIZA  
 TEC. RESPONSABLE : J.C.J.  
 ING. RESPONSABLE : H.F.M.P.

### ENSAYO DE COMPACTACION MTC E 115-2016

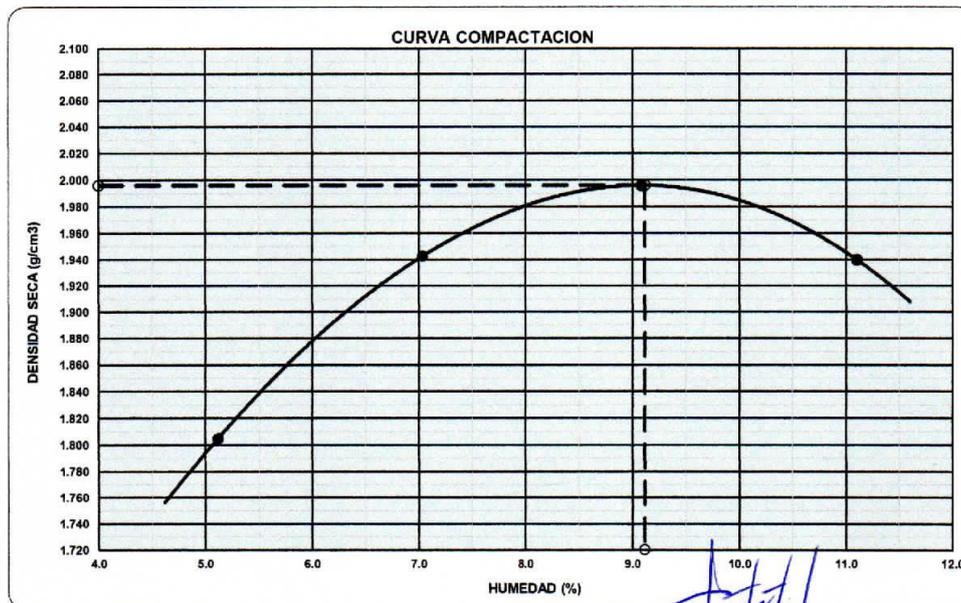
METODO DE COMPACTACION :	A	VOLUMEN DEL MOLDE :	2105 cm <sup>3</sup>	MOLDE N° :	1
<b>COMPACTACION</b>					
N° ENSAYO	1	2	3	4	
PESO MOLDE + SUELO (g)	10565.0	10719.0	10925.0	10879.0	
PESO MOLDE (g)	6572.0	6342.0	6342.0	6342.0	
PESO SUELO COMPACTADO (g)	3993.0	4377.0	4583.0	4537.0	
DENSIDAD HUMEDA (g/cm <sup>3</sup> )	1.9	2.1	2.2	2.2	
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>					
RECIPIENTE N°					
PESO SUELO HUMEDO + TARA (g)	563.0	546.2	497.2	515.4	
PESO SUELO SECO + TARA (g)	535.6	510.3	455.8	463.9	
PESO DEL AGUA (g)	27.4	35.9	41.4	51.5	
PESO DEL RECIPIENTE (g)		Peso recipiente = 0.00 g. Programado en balanza digital			
PESO DEL SUELO SECO (g)	535.6	510.3	455.8	463.9	
CONTENIDO HUMEDAD (%)	5.1	7.0	9.1	11.1	
DENSIDAD SECA (gr/cm <sup>3</sup> )	1.805	1.943	1.996	1.940	

MAXIMA DENSIDAD SECA

**1.996** gr/cm<sup>3</sup>

OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD

**9.1** %

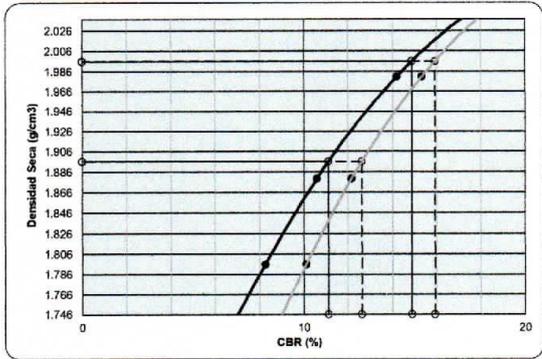


Heider Frank Marmont Pantoja  
 INGENIERO GEOLOGO  
 CIP. 246281



PROYECTO : "EFECTO DE LA CENIZA DE TALLO DE MOSTAZA EN LAS PROPIEDADES FISICO-MECANICAS DE LA SUBRASANTE DE UN SUELO ARENOSO ARCILLOSO PARA LA TROCHA CARROZABLE, ALPACOLLO - EL COLLAO - PUNO 2023"

SOLICITANTE : OSMAR DAVID LIENDO CRUZ	PROGRESIVA : 1+000
LUGAR : SAN MIGUEL DE ALPACOLLO - ILAVE	N° CALICATA : C3
FECHA RECEPCION : 17/04/2023	MUESTRA : SUELO NAT. + 5% DE CENIZA
FECHA DE ENSAYO : 25/04/2023	TEC. RESPONSABLE : J.C.J.
	ING. RESPONSABLE : H.F.M.P.

**ENSAYO DE CBR - GRAFICO DE PENETRACION MTC E 132-2016**


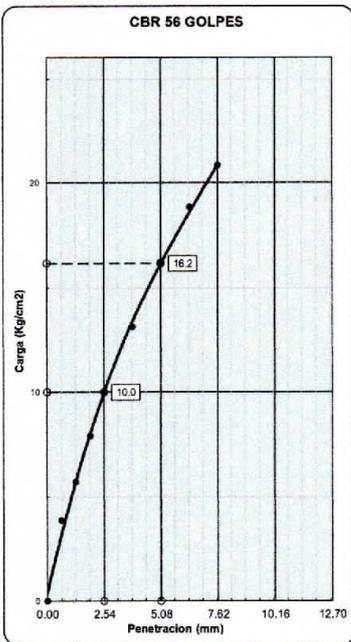
C.B.R. AL 100% DE M.D.S. 0.1"	14.9
C.B.R. AL 95% DE M.D.S. 0.1"	11.1
C.B.R. AL 100% DE M.D.S. 0.2"	15.9
C.B.R. AL 95% DE M.D.S. 0.2"	12.6

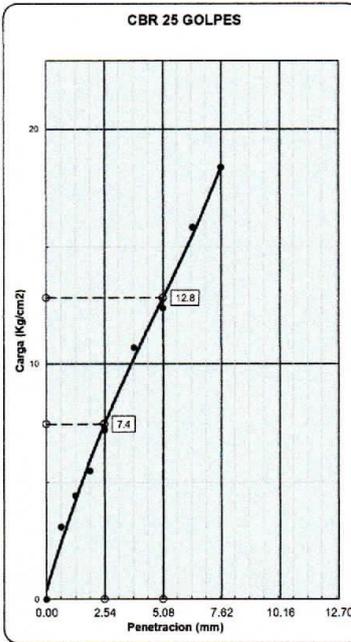
Datos del Proctor		
Densidad Seca	1.996	g/cm <sup>3</sup>
Humedad Opt.	9.1	%

Observaciones: Celda de Carga

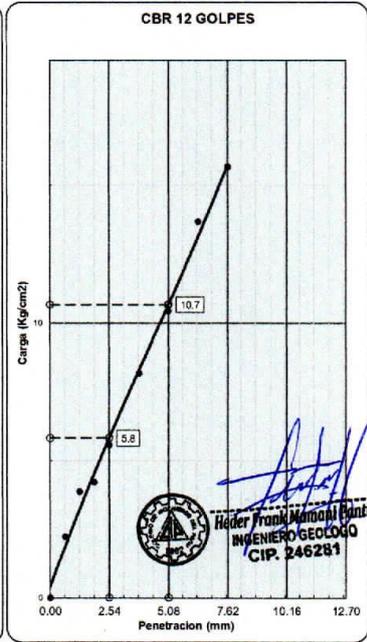
---



C.B.R. (0.1")-56 GOLFES : **14.2**  
 C.B.R. (0.2")-56 GOLFES : **15.3**



C.B.R. (0.1")-25 GOLFES : **10.6**  
 C.B.R. (0.2")-25 GOLFES : **12.2**



C.B.R. (0.1")-12 GOLFES : **8.3**  
 C.B.R. (0.2")-12 GOLFES : **10.1**



# GEOTECMIN JEFRALEO E.I.R.L.

## LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS Y CONCRETO

PROYECTO : "EFECTO DE LA CENIZA DE TALLO DE MOSTAZA EN LAS PROPIEDADES FISICO-MECANICAS DE LA SUBRASANTE DE UN SUELO ARENOSO ARCILLOSO PARA LA TROCHA CARROZABLE, ALPACCOLLO - EL COLLAO - PUNO 2023"

SOLICITANTE : OSMAR DAVID LIENDO CRUZ

CANTERA: 1+000

LUGAR : SAN MIGUEL DE ALPACCOLLO - ILAVE

N° CALICATA: C-3

FECHA RECEPCION : 17/04/2023

TEC. RESPONSABLE: J.C.J.

FECHA DE ENSAYO : 21/04/2023

ING. RESPONSABLE: H.F.M.P.

MUESTRA : SUELO NAT. + 10% DE CENIZA

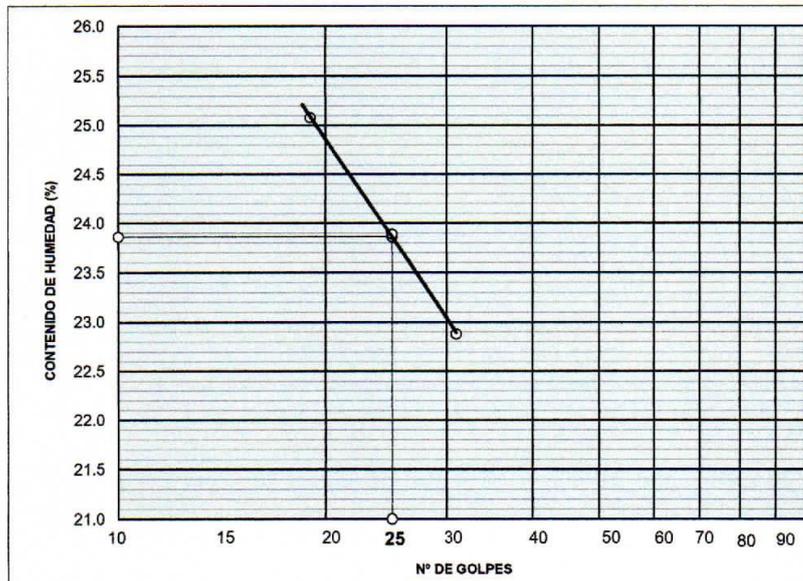
### LIMITES DE CONSISTENCIA PASANTE MALLA N° 40

#### LIMITE LIQUIDO (LL) MTC E 110-2016

NUMERO DE GOLPES, N	19	25	31		
N° DEL DEPOSITO	4	5	6		
PESO DEL SUELO HUMEDO + DEPOSITO (g)	33.03	30.80	31.25		
PESO DEL SUELO SECO + DEPOSITO (g)	29.17	27.85	28.12		
PESO DEL AGUA (g)	3.86	2.95	3.13		
PESO DEL DEPOSITO (g)	13.78	15.50	14.44		
PESO DEL SUELO SECO (g)	15.39	12.35	13.68		
CONTENIDO DE AGUA (%)	25.08	23.89	22.88		

#### LIMITE PLASTICO (LP) MTC E 111-2016

N° DEL DEPOSITO	3	2			Centrar
PESO DEL SUELO HUMEDO + DEPOSITO (g)	18.35	19.23			
PESO DEL SUELO SECO + DEPOSITO (g)	17.51	18.29			
PESO DEL AGUA (g)	0.84	0.94			
PESO DEL DEPOSITO (g)	13.44	13.69			
PESO DEL SUELO SECO (g)	4.07	4.60			
CONTENIDO DE AGUA (%)	20.64	20.43			



LL. = 24 %

L.P. = 21 %

I.P. = 3 %

OBSERVACIONES:



Hedey Frank Mamoni Poma  
INGENIERO GEÓLOGO  
CIP. 246281







# GEOTECMIN JEFRALEO E.I.R.L.

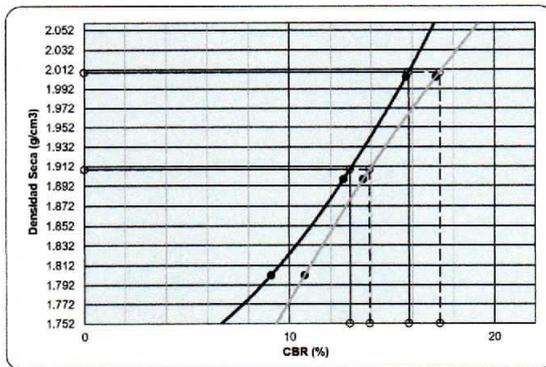
## LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS Y CONCRETO

PROYECTO : "EFECTO DE LA CENIZA DE TALLO DE MOSTAZA EN LAS PROPIEDADES FISICO-MECANICAS DE LA SUBRASANTE DE UN SUELO ARENOSO ARCILLOSO PARA LA TROCHA CARROZABLE, ALPACOLLO - EL COLLAO - PUNO 2023"

SOLICITANTE : OSMAR DAVID LIENDO CRUZ  
 LUGAR : SAN MIGUEL DE ALPACOLLO - ILAVE  
 FECHA RECEPCION : 17/04/2023  
 FECHA DE ENSAYO : 21/04/2023

PROGRESIVA : 1+000  
 N° CALICATA : C-3  
 MUESTRA : SUELO NAT. + 10% DE CENIZA  
 TEC. RESPONSABLE : J.C.J.  
 ING. RESPONSABLE : H.F.M.P.

### ENSAYO DE CBR - GRAFICO DE PENETRACION MTC E 132-2016

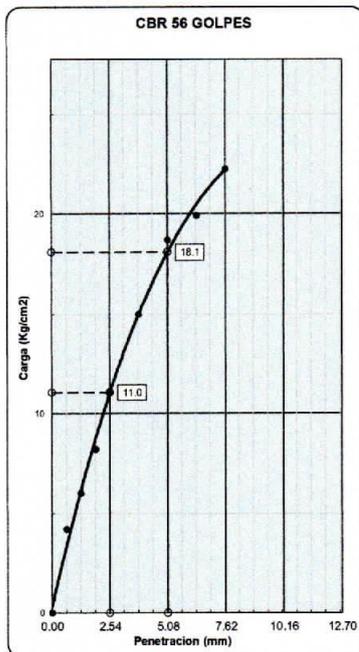


C.B.R. AL 100% DE M.D.S. 0.1"	15.8
C.B.R. AL 95% DE M.D.S. 0.1"	13.0

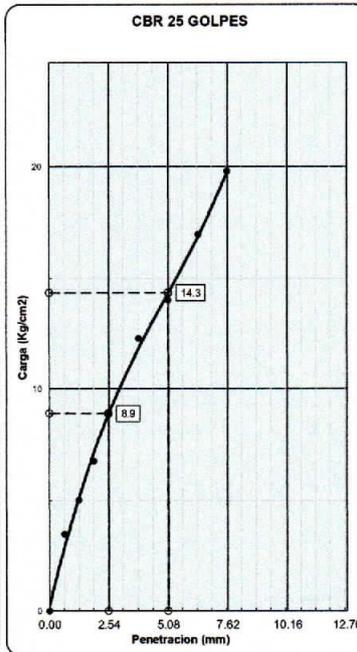
C.B.R. AL 100% DE M.D.S. 0.2"	17.3
C.B.R. AL 95% DE M.D.S. 0.2"	13.9

Datos del Proctor		
Densidad Seca	2.009	g/cm <sup>3</sup>
Humedad Opt.	9.5	%

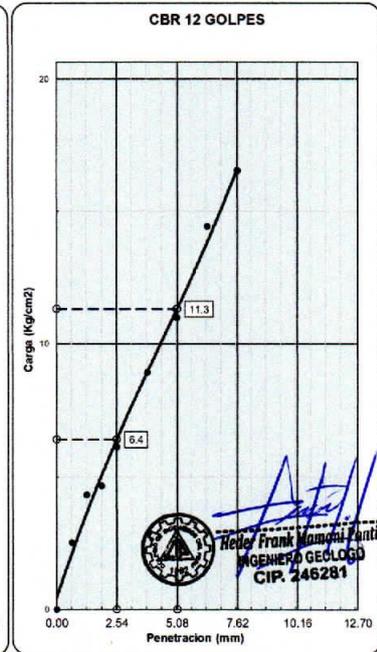
Observaciones: Celda de Carga



C.B.R. (0.1")-56 GOLPES : 15.7  
 C.B.R. (0.2")-56 GOLPES : 17.2



C.B.R. (0.1")-25 GOLPES : 12.6  
 C.B.R. (0.2")-25 GOLPES : 13.6



C.B.R. (0.1")-12 GOLPES : 9.1  
 C.B.R. (0.2")-12 GOLPES : 10.7



# GEOTECMIN JEFRALEO E.I.R.L.

## LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS Y CONCRETO

PROYECTO : "EFECTO DE LA CENIZA DE TALLO DE MOSTAZA EN LAS PROPIEDADES FISICO-MECANICAS DE LA SUBRASANTE DE UN SUELO ARENOSO ARCILLOSO PARA LA TROCHA CARROZABLE, ALPACCOLLO - EL COLLAO - PUNO 2023"

SOLICITANTE : OSMAR DAVID LIENDO CRUZ  
 LUGAR : SAN MIGUEL DE ALPACCOLLO - ILAVE  
 FECHA RECEPCION : 17/04/2023  
 FECHA DE ENSAYO : 21/04/2023  
 MUESTRA : SUELO NAT. + 15% DE CENIZA

CANTERA: 1+000  
 N° CALICATA: C-3  
 TEC. RESPONSABLE: J.C.J.  
 ING. RESPONSABLE: H.F.M.P.

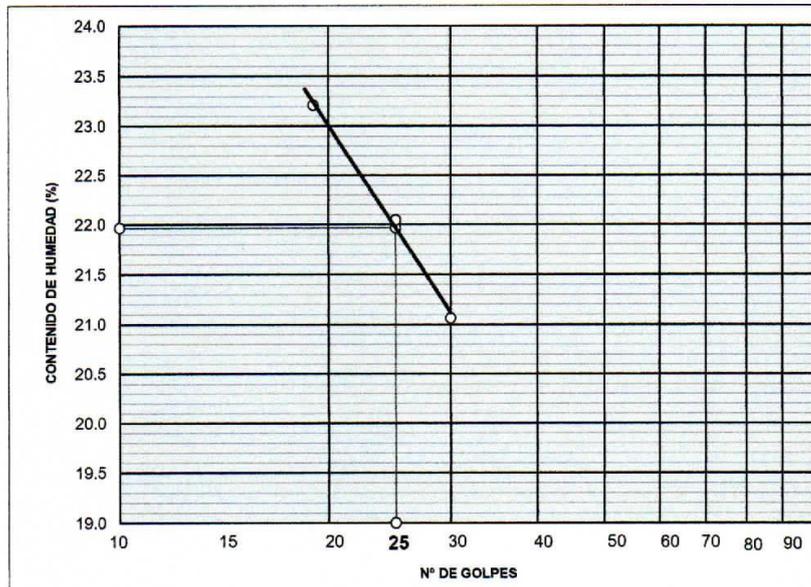
### LIMITES DE CONSISTENCIA PASANTE MALLA N° 40

#### LIMITE LIQUIDO (LL) MTC E 110-2016

NUMERO DE GOLPES, N	19	25	30		
N° DEL DEPOSITO	5	7	6		
PESO DEL SUELO HUMEDO + DEPOSITO (g)	29.13	28.83	28.31		
PESO DEL SUELO SECO + DEPOSITO (g)	27.18	27.02	26.65		
PESO DEL AGUA (g)	1.95	1.81	1.66		
PESO DEL DEPOSITO (g)	18.78	18.81	18.77		
PESO DEL SUELO SECO (g)	8.40	8.21	7.88		
CONTENIDO DE AGUA (%)	23.21	22.05	21.07		

#### LIMITE PLASTICO (LP) MTC E 111-2016

N° DEL DEPOSITO	5	1		Centrar	
PESO DEL SUELO HUMEDO + DEPOSITO (g)	13.35	13.86			
PESO DEL SUELO SECO + DEPOSITO (g)	12.52	12.97			
PESO DEL AGUA (g)	0.83	0.89			
PESO DEL DEPOSITO (g)	8.34	8.46			
PESO DEL SUELO SECO (g)	4.18	4.51			
CONTENIDO DE AGUA (%)	19.86	19.73			



L.L. = 22 %

L.P. = 20 %

I.P. = 2 %

OBSERVACIONES:



*Heder Frank Mamani Pauli*  
 Heder Frank Mamani Pauli  
 INGENIERO GEOTECNICO  
 CIP. 246281



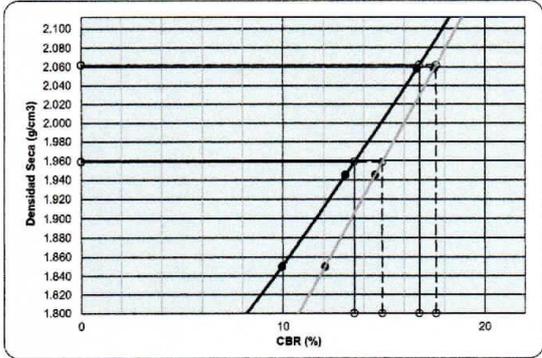


**LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS Y CONCRETO**

PROYECTO : "EFECTO DE LA CENIZA DE TALLO DE MOSTAZA EN LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECANICAS DE LA SUBRASANTE DE UN SUELO ARENOSO ARCILLOSO PARA LA TROCHA CARROZABLE, ALPACCOLLO - EL COLLAO - PUNO 2023"

SOLICITANTE : <b>OSMAR DAVID LIENDO CRUZ</b>	PROGRESIVA : <b>1+000</b>
LUGAR : <b>SAN MIGUEL DE ALPACCOLLO - ILAVE</b>	Nº CALICATA : <b>C-3</b>
FECHA RECEPCION : <b>17/04/2023</b>	MUESTRA : <b>SUELO NAT. + 15% DE CENIZA</b>
FECHA DE ENSAYO : <b>21/04/2023</b>	TEC. RESPONSABLE : <b>J.C.J.</b>
	ING. RESPONSABLE : <b>H.F.M.P.</b>

**ENSAYO DE CBR - GRAFICO DE PENETRACION  
MTC E 132-2016**

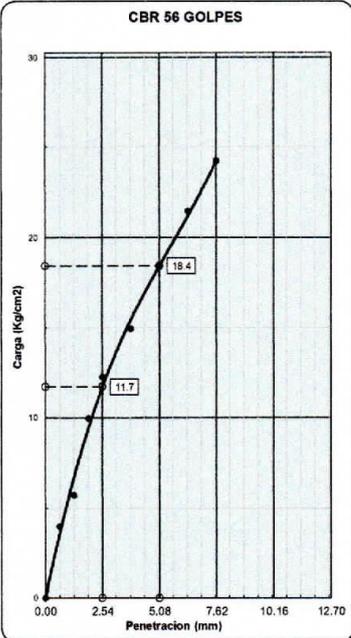


C.B.R. AL 100% DE M.D.S. 0.1"	<b>16.8</b>
C.B.R. AL 95% DE M.D.S. 0.1"	<b>13.5</b>
C.B.R. AL 100% DE M.D.S. 0.2"	<b>17.6</b>
C.B.R. AL 95% DE M.D.S. 0.2"	<b>14.9</b>

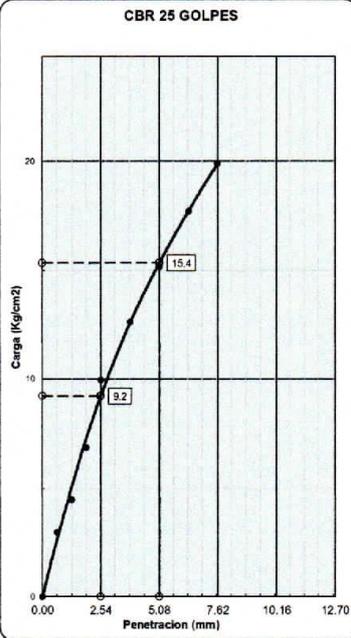
  

Datos del Proctor	
Densidad Seca	2.062 g/cm <sup>3</sup>
Humedad Opt.	9.0 %

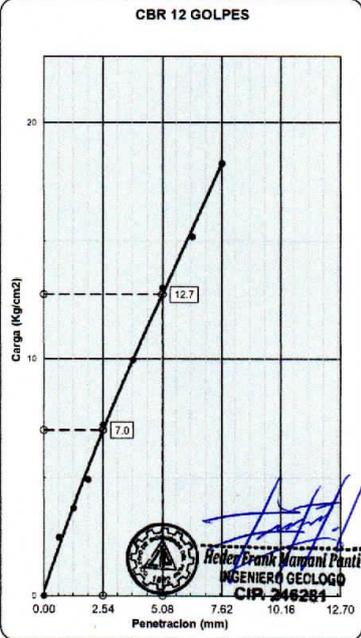
Observaciones: Celda de Carga



C.B.R. (0.1")-56 GOLPES : **16.6**  
C.B.R. (0.2")-56 GOLPES : **17.5**



C.B.R. (0.1")-25 GOLPES : **13.1**  
C.B.R. (0.2")-25 GOLPES : **14.6**



C.B.R. (0.1")-12 GOLPES : **9.9**  
C.B.R. (0.2")-12 GOLPES : **12.1**







# GEOTECMIN JEFRALEO E.I.R.L.

## LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS Y CONCRETO

PROYECTO : "EFECTO DE LA CENIZA DE TALLO DE MOSTAZA EN LAS PROPIEDADES FISICO-MECANICAS DE LA SUBRASANTE DE UN SUELO ARENOSO ARCILLOSO PARA LA TROCHA CARROZABLE, ALPACCOLLO - EL COLLAO - PUNO 2023"

SOLICITANTE : OSMAR DAVID LIENDO CRUZ  
 LUGAR : SAN MIGUEL DE ALPACCOLLO - ILAVE  
 FECHA RECEPCION : 17/04/2023  
 FECHA DE ENSAYO : 23/04/2023  
 MUESTRA : PISTA

CANtera: 1+470  
 N° CALICATA: C-04  
 TEC. RESPONSABLE: J.C.J.  
 ING. RESPONSABLE: H.F.M.P.

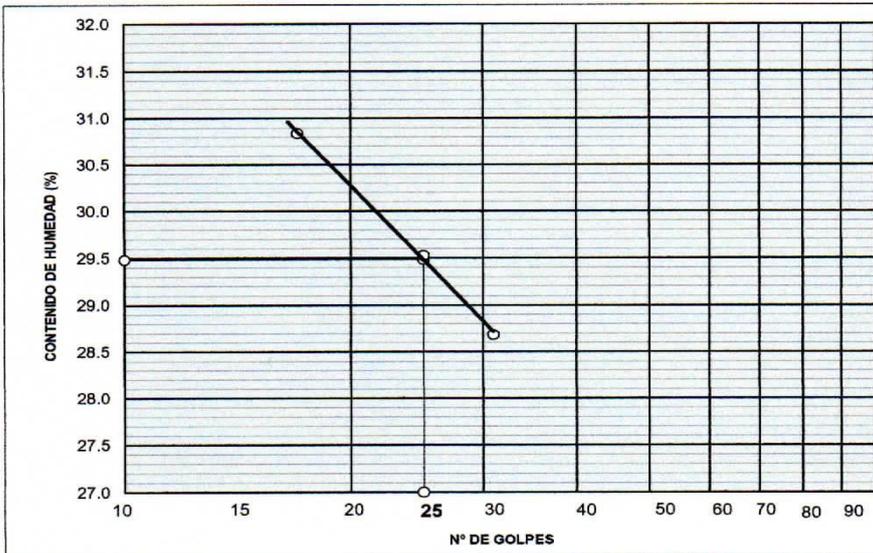
### LIMITES DE CONSISTENCIA PASANTE MALLA N° 40

#### LIMITE LIQUIDO (LL) MTC E 110-2016

NUMERO DE GOLPES, N	17	25	31		
N° DEL DEPOSITO	8	10	2		
PESO DEL SUELO HUMEDO + DEPOSITO (g)	35.15	32.55	36.13		
PESO DEL SUELO SECO + DEPOSITO (g)	30.12	27.74	31.07		
PESO DEL AGUA (g)	5.03	4.81	5.06		
PESO DEL DEPOSITO (g)	13.81	11.45	13.43		
PESO DEL SUELO SECO (g)	16.31	16.29	17.64		
CONTENIDO DE AGUA (%)	30.84	29.53	28.68		

#### LIMITE PLASTICO (LP) MTC E 111-2016

N° DEL DEPOSITO	9	10			Centrar
PESO DEL SUELO HUMEDO + DEPOSITO (g)	19.02	19.13			
PESO DEL SUELO SECO + DEPOSITO (g)	17.05	17.32			
PESO DEL AGUA (g)	1.97	1.81			
PESO DEL DEPOSITO (g)	7.10	8.40			
PESO DEL SUELO SECO (g)	9.95	8.92			
CONTENIDO DE AGUA (%)	19.80	20.29			



L.L. = 29 %

L.P. = 20 %

I.P. = 9 %

OBSERVACIONES:



Heder Frank Mamani Pajón  
 INGENIERO GEOLOGO  
 CIP. 246281



# GEOTECMIN JEFRALEO E.I.R.L.

## LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS Y CONCRETO

PROYECTO : "EFECTO DE LA CENIZA DE TALLO DE MOSTAZA EN LAS PROPIEDADES FISICO-MECANICAS DE LA SUBRASANTE DE UN SUELO ARENOSO ARCILLOSO PARA LA TROCHA CARROZABLE, ALPACCOLLO - EL COLLAO - PUNO 2023"

SOLICITANTE : OSMAR DAVID LIENDO CRUZ  
 LUGAR : SAN MIGUEL DE ALPACCOLLO - ILAVE  
 FECHA RECEPCION : 17/04/2023  
 FECHA DE ENSAYO : 23/04/2023

PROGRESIVA : 1+470  
 N° CALICATA : C-04  
 MUESTRA : PISTA  
 TEC. RESPONSABLE : J.C.J.  
 ING. RESPONSABLE : H.F.M.P.

### ENSAYO DE COMPACTACION MTC E 115-2016

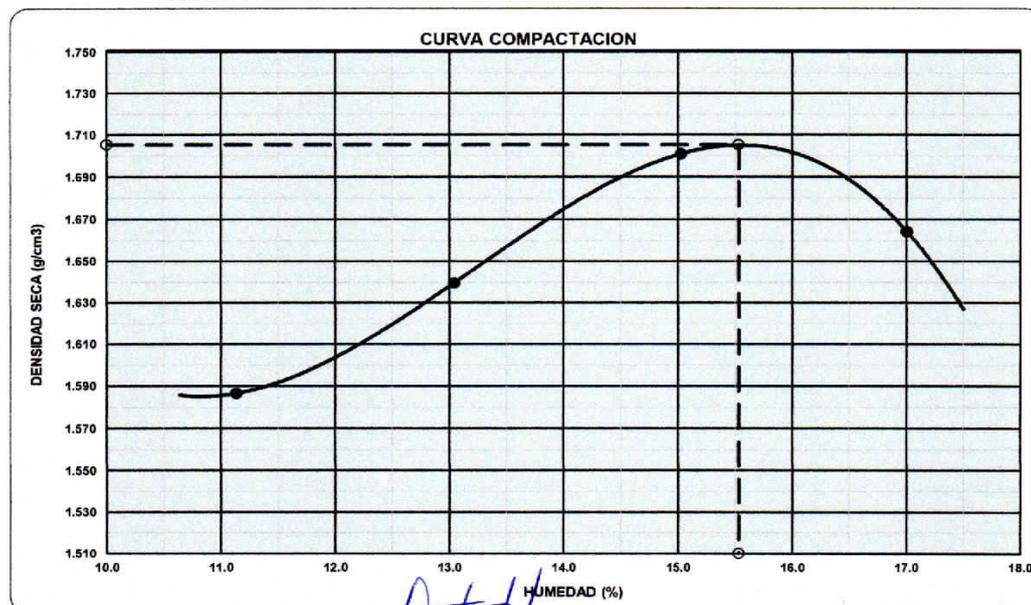
METODO DE COMPACTACION :	A	VOLUMEN DEL MOLDE :	2120 cm <sup>3</sup>	MOLDE N° :	1
<b>COMPACTACION</b>					
N° ENSAYO		1	2	3	4
PESO MOLDE + SUELO (g)		10310.0	10501.0	10720.0	10700.0
PESO MOLDE (g)		6572.0	6572.0	6572.0	6572.0
PESO SUELO COMPACTADO (g)		3738.0	3929.0	4148.0	4128.0
DENSIDAD HUMEDA (g/cm <sup>3</sup> )		1.8	1.9	2.0	1.9
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>					
RECIPIENTE N°		0.0	0.0	0.0	0.0
PESO SUELO HUMEDO + TARA (g)		550.1	488.9	521.3	503.0
PESO SUELO SECO + TARA (g)		495.0	432.5	453.2	429.9
PESO DEL AGUA (g)		55.1	56.4	68.1	73.1
PESO DEL RECIPIENTE (g)		0.0	Peso recipiente = 0.00 g. Programado en balanza digital		0.0
PESO DEL SUELO SECO (g)		495.0	432.5	453.2	429.9
CONTENIDO HUMEDAD (%)		11.1	13.0	15.0	17.0
DENSIDAD SECA (gr/cm <sup>3</sup> )		1.587	1.640	1.701	1.664

MAXIMA DENSIDAD SECA

**1.705** gr/cm<sup>3</sup>

OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD

**15.5 %**



*Heder Frank Mamani Peña*  
**INGENIERO GEOLOGO**  
 CIP. 246281







# GEOTECMIN JEFRALEO E.I.R.L.

## LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS Y CONCRETO

PROYECTO : "EFECTO DE LA CENIZA DE TALLO DE MOSTAZA EN LAS PROPIEDADES FISICO-MECANICAS DE LA SUBRASANTE DE UN SUELO ARENOSO ARCILLOSO PARA LA TROCHA CARROZABLE, ALPACCOLLO - EL COLLAO - PUNO 2023"

SOLICITANTE : OSMAR DAVID LIENDO CRUZ  
 LUGAR : SAN MIGUEL DE ALPACCOLLO - ILAVE  
 FECHA RECEPCION : 17/04/2023  
 FECHA DE ENSAYO : 25/04/2023  
 MUESTRA : SUELO NAT. + 5% DE CENIZA

PROGRESIVA: 1+470  
 N° CALICATA: C-04

TEC. RESPONSABLE: J.C.J.  
 ING. RESPONSABLE: H.F.M.P.

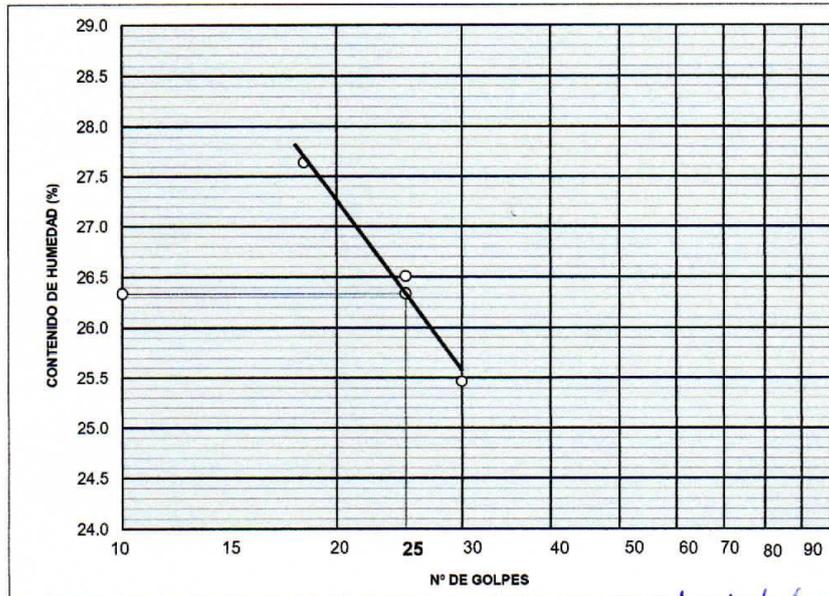
### LIMITES DE CONSISTENCIA PASANTE MALLA N° 40

#### LIMITE LIQUIDO (LL) MTC E 110-2016

NUMERO DE GOLPES, N	18	25	30		
N° DEL DEPOSITO	7	8	5		
PESO DEL SUELO HUMEDO + DEPOSITO (g)	28.30	30.16	30.31		
PESO DEL SUELO SECO + DEPOSITO (g)	24.64	26.25	26.50		
PESO DEL AGUA (g)	3.66	3.91	3.81		
PESO DEL DEPOSITO (g)	11.40	11.50	11.54		
PESO DEL SUELO SECO (g)	13.24	14.75	14.96		
CONTENIDO DE AGUA (%)	27.64	26.51	25.47		

#### LIMITE PLASTICO (LP) MTC E 111-2016

N° DEL DEPOSITO	3	5			Centrar
PESO DEL SUELO HUMEDO + DEPOSITO (g)	18.30	18.36			
PESO DEL SUELO SECO + DEPOSITO (g)	16.70	16.75			
PESO DEL AGUA (g)	1.60	1.61			
PESO DEL DEPOSITO (g)	8.45	8.32			
PESO DEL SUELO SECO (g)	8.25	8.43			
CONTENIDO DE AGUA (%)	19.39	19.10			



LL. = 26 %

L.P. = 19 %

I.P. = 7 %

OBSERVACIONES:



Header Frank Mamani Pant  
 INGENIERO GEOTECNICO  
 CIP. 246281



## GEOTECMIN JEFRALEO E.I.R.L.

### LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS Y CONCRETO

**PROYECTO : "EFECTO DE LA CENIZA DE TALLO DE MOSTAZA EN LAS PROPIEDADES FISICO-MECANICAS DE LA SUBRASANTE DE UN SUELO ARENOSO ARCILLOSO PARA LA TROCHA CARROZABLE, ALPACCOLLO - EL COLLAO - PUNO 2023"**

SOLICITANTE : <b>OSMAR DAVID LIENDO CRUZ</b>	PROGRESIVA : <b>1+470</b>
LUGAR : <b>SAN MIGUEL DE ALPACCOLLO - ILAVE</b>	N° CALICATA : <b>C-04</b>
FECHA RECEPCION : <b>17/04/2023</b>	MUESTRA : <b>SUELO NAT. + 5% DE CENIZA</b>
FECHA DE ENSAYO : <b>25/04/2023</b>	TEC. RESPONSABLE : <b>J.C.J.</b>
	ING. RESPONSABLE : <b>H.F.M.P.</b>

#### ENSAYO DE COMPACTACION MTC E 115-2016

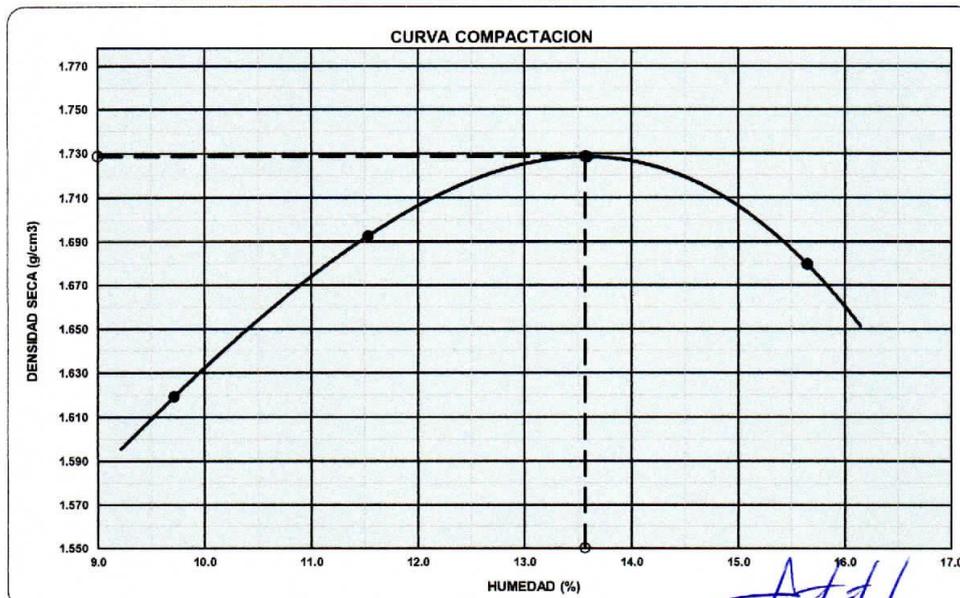
METODO DE COMPACTACION :	A	VOLUMEN DEL MOLDE :	2120 cm <sup>3</sup>	MOLDE N° :	1
<b>COMPACTACION</b>					
N° ENSAYO		1	2	3	4
PESO MOLDE + SUELO	(g)	10338.0	10574.0	10734.0	10690.0
PESO MOLDE	(g)	6572.0	6572.0	6572.0	6572.0
PESO SUELO COMPACTADO	(g)	3766.0	4002.0	4162.0	4118.0
DENSIDAD HUMEDA	(g/cm <sup>3</sup> )	1.8	1.9	2.0	1.9
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>					
RECIPIENTE N°		0.0	0.0	0.0	0.0
PESO SUELO HUMEDO + TARA	(g)	576.0	532.0	535.0	510.0
PESO SUELO SECO + TARA	(g)	525.0	477.0	471.0	441.0
PESO DEL AGUA	(g)	51.0	55.0	64.0	69.0
PESO DEL RECIPIENTE	(g)	0.0	Peso recipiente = 0,00 g. Programado en balanza digital		0.0
PESO DEL SUELO SECO	(g)	525.0	477.0	471.0	441.0
CONTENIDO HUMEDAD	(%)	9.7	11.5	13.6	15.6
DENSIDAD SECA	(gr/cm <sup>3</sup> )	1.619	1.693	1.728	1.680

MAXIMA DENSIDAD SECA

**1.729** gr/cm<sup>3</sup>

OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD

**13.6** %



*Heder Frank Mamani Paik*  
INGENIERO GEOTECNICO  
CIP. 246281





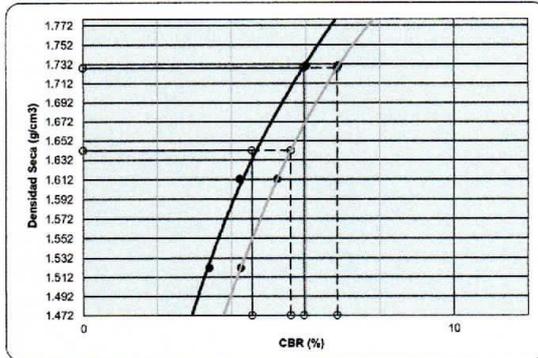
## GEOTECMIN JEFRALEO E.I.R.L.

### LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS Y CONCRETO

PROYECTO : "EFECTO DE LA CENIZA DE TALLO DE MOSTAZA EN LAS PROPIEDADES FISICO-MECANICAS DE LA SUBRASANTE DE UN SUELO ARENOSO ARCILLOSO PARA LA TROCHA CARROZABLE, ALPACCOLLO - EL COLLAO - PUNO 2023"

SOLICITANTE : OSMAR DAVID LIENDO CRUZ	PROGRESIVA : 1+470
LUGAR : SAN MIGUEL DE ALPACCOLLO - ILAVE	Nº CALICATA : C-04
FECHA RECEPCION : 17/04/2023	MUESTRA : SUELO NAT. + 5% DE CENIZA
FECHA DE ENSAYO : 25/04/2023	TEC. RESPONSABLE : J.C.J.
	ING. RESPONSABLE : H.F.M.P.

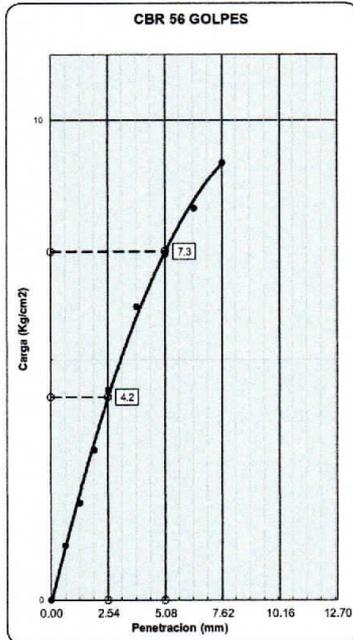
#### ENSAYO DE CBR - GRAFICO DE PENETRACION MTC E 132-2016



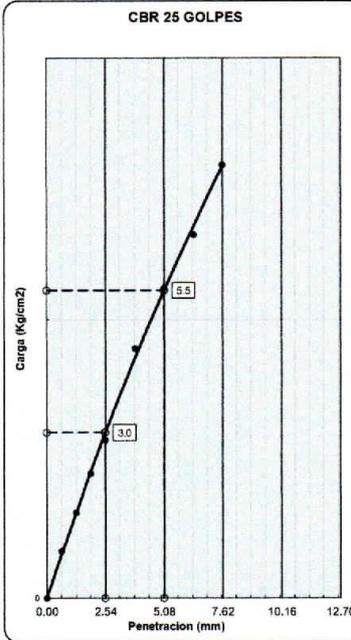
C.B.R. AL 100% DE M.D.S. 0.1"	6.0
C.B.R. AL 95% DE M.D.S. 0.1"	4.6
C.B.R. AL 100% DE M.D.S. 0.2"	6.9
C.B.R. AL 95% DE M.D.S. 0.2"	5.6

Datos del Proctor		
Densidad Seca	1.729	g/cm <sup>3</sup>
Humedad Opt.	13.6	%

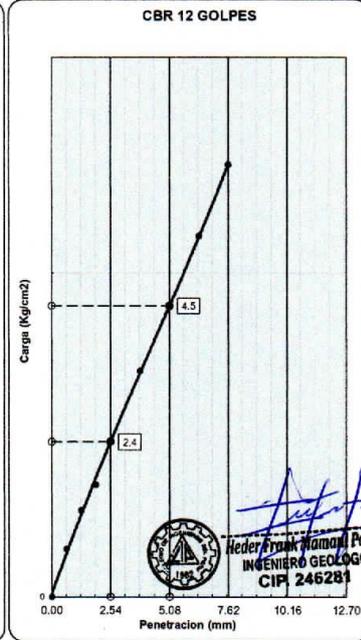
Observaciones: Celda de Carga



C.B.R. (0.1")-56 GOLPES : **6.0**  
C.B.R. (0.2")-56 GOLPES : **6.9**



C.B.R. (0.1")-25 GOLPES : **4.2**  
C.B.R. (0.2")-25 GOLPES : **5.2**



C.B.R. (0.1")-12 GOLPES : **3.4**  
C.B.R. (0.2")-12 GOLPES : **4.3**



## GEOTECMIN JEFRALEO E.I.R.L.

### LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS Y CONCRETO

PROYECTO : "EFECTO DE LA CENIZA DE TALLO DE MOSTAZA EN LAS PROPIEDADES FISICO-MECANICAS DE LA SUBRASANTE DE UN SUELO ARENOSO ARCILLOSO PARA LA TROCHA CARROZABLE, ALPACOLLO - EL COLLAO - PUNO 2023"

SOLICITANTE : OSMAR DAVID LIENDO CRUZ  
 LUGAR : SAN MIGUEL DE ALPACOLLO - ILAVE  
 FECHA RECEPCION : 17/04/2023  
 FECHA DE ENSAYO : 25/04/2023  
 MUESTRA : SUELO NAT. + 10% DE CENIZA

CANTERA: 1+470  
 N° CALICATA: C-04  
 TEC. RESPONSABLE: J.C.J.  
 ING. RESPONSABLE: H.F.M.P.

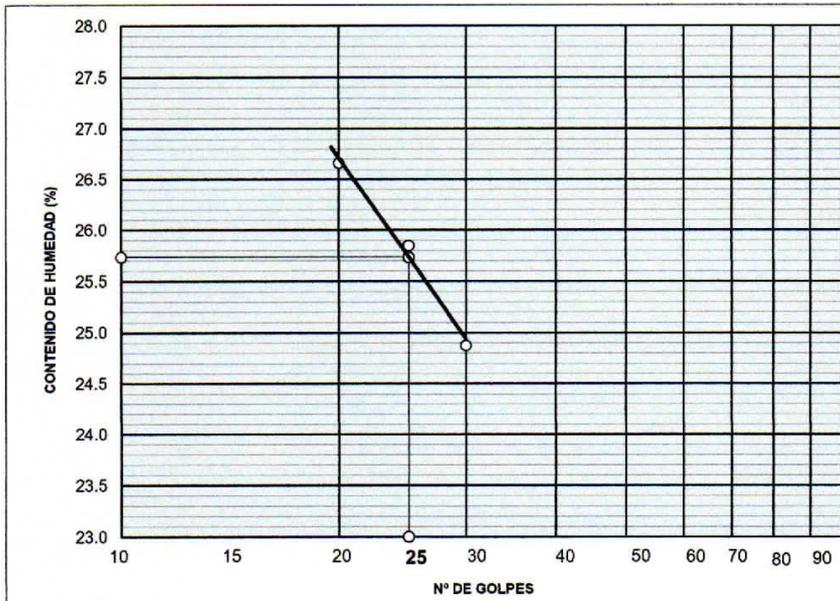
#### LIMITE DE CONSISTENCIA PASANTE MALLA N° 40

##### LIMITE LIQUIDO (LL) MTC E 110-2016

NUMERO DE GOLPES, N	20	25	30	
N° DEL DEPOSITO	4	8	5	
PESO DEL SUELO HUMEDO + DEPOSITO (g)	28.21	28.15	29.10	
PESO DEL SUELO SECO + DEPOSITO (g)	24.68	24.72	25.57	
PESO DEL AGUA (g)	3.53	3.43	3.53	
PESO DEL DEPOSITO (g)	11.44	11.45	11.38	
PESO DEL SUELO SECO (g)	13.24	13.27	14.19	
CONTENIDO DE AGUA (%)	26.66	25.85	24.88	

##### LIMITE PLASTICO (LP) MTC E 111-2016

N° DEL DEPOSITO	4	7		
PESO DEL SUELO HUMEDO + DEPOSITO (g)	19.28	19.10		Centrar
PESO DEL SUELO SECO + DEPOSITO (g)	17.65	17.35		
PESO DEL AGUA (g)	1.63	1.75		
PESO DEL DEPOSITO (g)	10.20	9.42		
PESO DEL SUELO SECO (g)	7.45	7.93		
CONTENIDO DE AGUA (%)	21.88	22.07		



L.L. = **26 %**

L.P. = **22 %**

I.P. = **4 %**

OBSERVACIONES:



Walter Frank Mamani Padilla  
 INGENIERO GEOLOGO  
 CIP. 246281



# GEOTECMIN JEFRALEO E.I.R.L.

## LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS Y CONCRETO

PROYECTO : "EFECTO DE LA CENIZA DE TALLO DE MOSTAZA EN LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECANICAS DE LA SUBRASANTE DE UN SUELO ARENOSO ARCILLOSO PARA LA TROCHA CARROZABLE, ALPACOLLO - EL COLLAO - PUNO 2023"

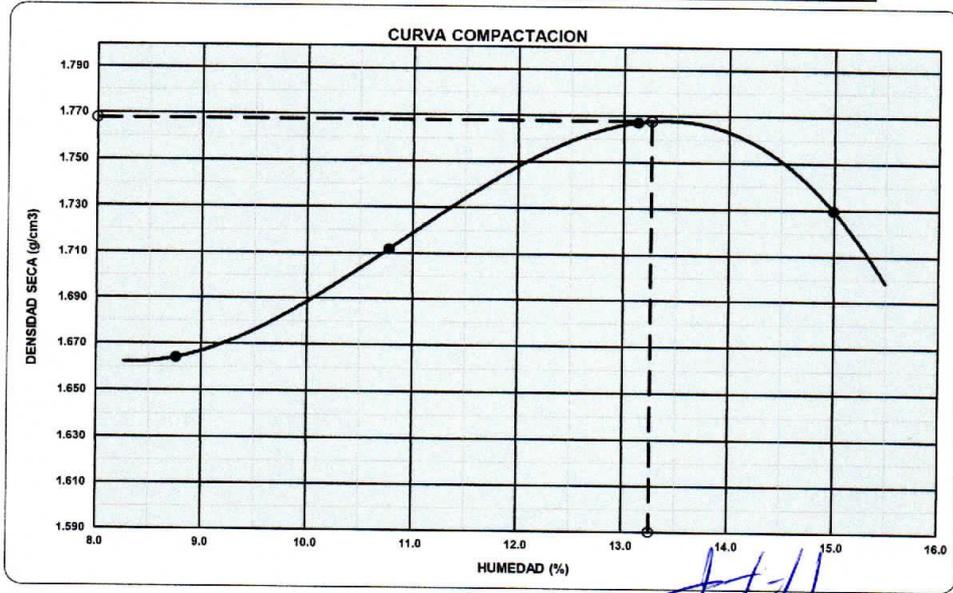
SOLICITANTE : OSMAR DAVID LIENDO CRUZ  
 LUGAR : SAN MIGUEL DE ALPACOLLO - ILAVE  
 FECHA RECEPCION : 17/04/2023  
 FECHA DE ENSAYO : 25/04/2023

PROGRESIVA : 1+470  
 N° CALICATA : C-04  
 MUESTRA : SUELO NAT. + 10% DE CENIZA  
 TEC. RESPONSABLE : J.C.J.  
 ING. RESPONSABLE : H.F.M.P.

### ENSAYO DE COMPACTACION MTC E 115-2016

METODO DE COMPACTACION :	A	VOLUMEN DEL MOLDE :		2120 cm <sup>3</sup>	MOLDE N° :		1
<b>COMPACTACION</b>							
N° ENSAYO		1	2	3	4		
PESO MOLDE + SUELO (g)		10409.0	10592.0	10810.0	10789.0		
PESO MOLDE (g)		6572.0	6572.0	6572.0	6572.0		
PESO SUELO COMPACTADO (g)		3837.0	4020.0	4238.0	4217.0		
DENSIDAD HUMEDA (g/cm <sup>3</sup> )		1.8	1.9	2.0	2.0		
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>							
RECIPIENTE N°		0.0	0.0	0.0	0.0		
PESO SUELO HUMEDO + TARA (g)		540.0	550.0	519.5	503.1		
PESO SUELO SECO + TARA (g)		496.5	496.5	459.2	437.5		
PESO DEL AGUA (g)		43.5	53.5	60.3	65.6		
PESO DEL RECIPIENTE (g)		0.0	Peso recipiente = 0.00 g. Programado en balanza digital		0.0		
PESO DEL SUELO SECO (g)		496.5	496.5	459.2	437.5		
CONTENIDO HUMEDAD (%)		8.8	10.8	13.1	15.0		
DENSIDAD SECA (gr/cm <sup>3</sup> )		1.664	1.712	1.767	1.730		

MAXIMA DENSIDAD SECA **1.768** gr/cm<sup>3</sup>      OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD **13.3** %



*Hede Frank Mamani Poma*  
 INGENIERO GEOLOGO  
 CIP. 246281

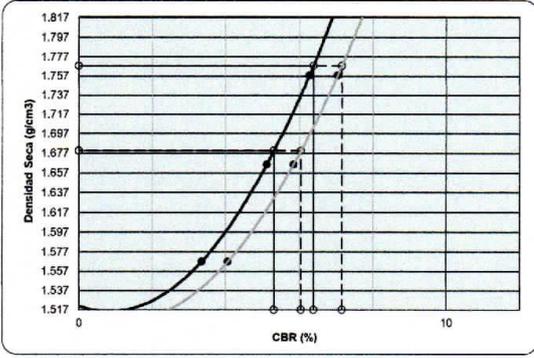


### LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS Y CONCRETO

PROYECTO : "EFECTO DE LA CENIZA DE TALLO DE MOSTAZA EN LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECANICAS DE LA SUBRASANTE DE UN SUELO ARENOSO ARCILLOSO PARA LA TROCHA CARROZABLE, ALPACOLLO - EL COLLAO - PUNO 2023"

SOLICITANTE : OSMAR DAVID LIENDO CRUZ	PROGRESIVA : 1+470
LUGAR : SAN MIGUEL DE ALPACOLLO - ILAVE	N° CALICATA : C-04
FECHA RECEPCION : 17/04/2023	MUESTRA : SUELO NAT. + 10% DE CENIZA
FECHA DE ENSAYO : 25/04/2023	TEC. RESPONSABLE : J.C.J.
	ING. RESPONSABLE : H.F.M.P.

#### ENSAYO DE CBR - GRAFICO DE PENETRACION MTC E 132-2016

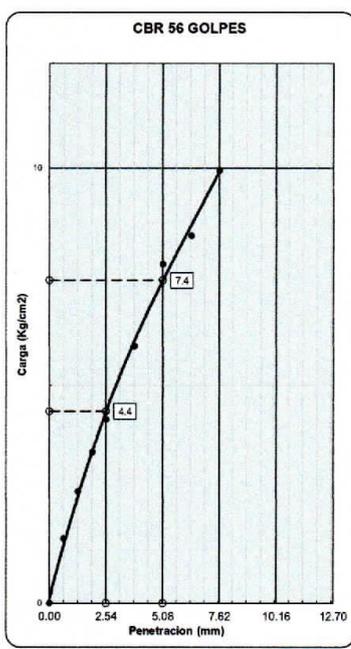


C.B.R. AL 100% DE M.D.S. 0.1" :	6.4
C.B.R. AL 95% DE M.D.S. 0.1" :	5.3

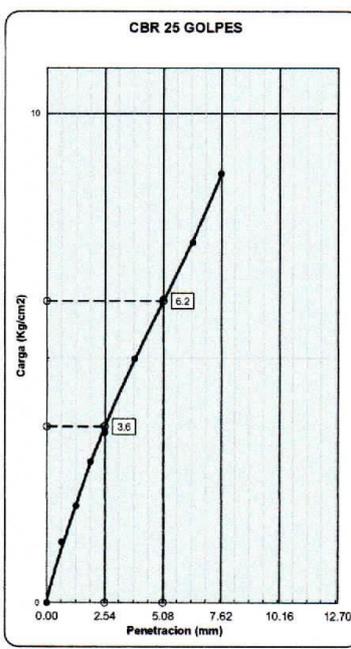
C.B.R. AL 100% DE M.D.S. 0.2" :	7.2
C.B.R. AL 95% DE M.D.S. 0.2" :	6.0

Datos del Proctor	
Densidad Seca	1.768 g/cm <sup>3</sup>
Humedad Opt.	13.3 %

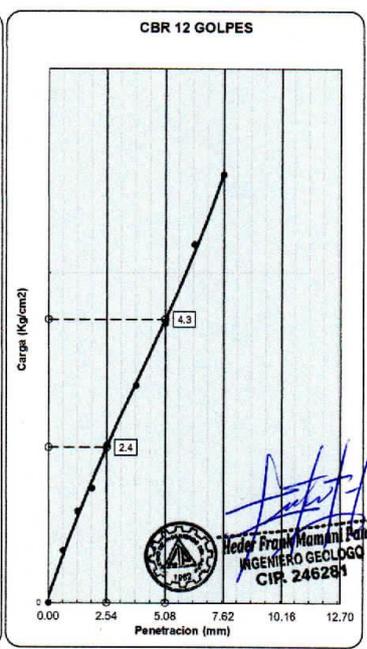
Observaciones: Celda de Carga



C.B.R. (0.1")-56 GOLPES : **6.3**  
C.B.R. (0.2")-56 GOLPES : **7.1**



C.B.R. (0.1")-25 GOLPES : **5.1**  
C.B.R. (0.2")-25 GOLPES : **5.8**



C.B.R. (0.1")-12 GOLPES : **3.3**  
C.B.R. (0.2")-12 GOLPES : **4.1**

  
**Heder Frank Mamani Paniz**  
 INGENIERO GEOLOGO  
 CIP. 246281



# GEOTECMIN JEFRALEO E.I.R.L.

## LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS Y CONCRETO

PROYECTO : "EFECTO DE LA CENIZA DE TALLO DE MOSTAZA EN LAS PROPIEDADES FISICO-MECANICAS DE LA SUBRASANTE DE UN SUELO ARENOSO ARCILLOSO PARA LA TROCHA CARROZABLE, ALPACCOLLO - EL COLLAO - PUNO 2023"

SOLICITANTE : OSMAR DAVID LIENDO CRUZ  
 LUGAR : SAN MIGUEL DE ALPACCOLLO - ILAVE  
 FECHA RECEPCION : 17/04/2023  
 FECHA DE ENSAYO : 25/04/2023  
 MUESTRA : SUELO NAT. + 15% DE CENIZA

PROGRESIVA: 1+470  
 N° CALICATA: C-04

TEC. RESPONSABLE: J.C.J.  
 ING. RESPONSABLE: H.F.M.P.

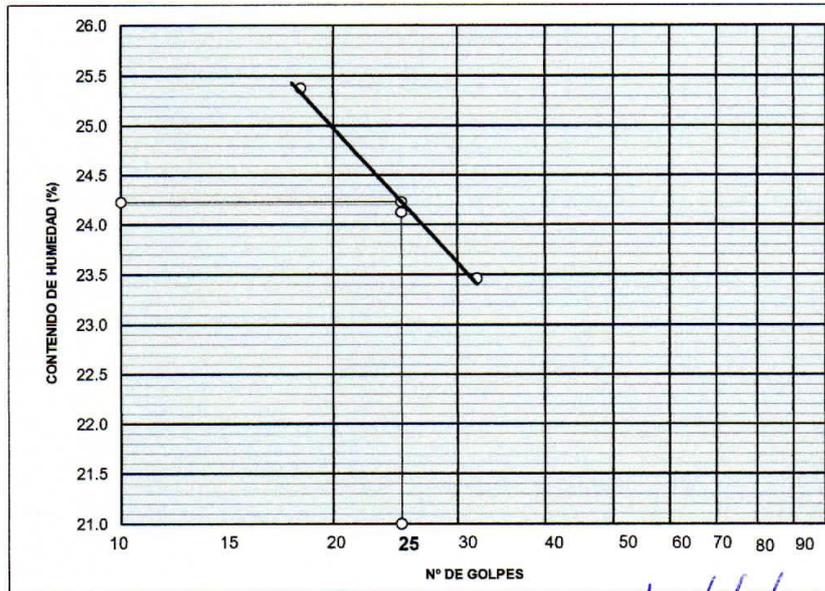
### LIMITES DE CONSISTENCIA PASANTE MALLA N° 40

#### LIMITE LIQUIDO (LL) MTC E 110-2016

NUMERO DE GOLPES, N	18	25	32		
N° DEL DEPOSITO	1	6	4		
PESO DEL SUELO HUMEDO + DEPOSITO (g)	28.00	29.56	30.01		
PESO DEL SUELO SECO + DEPOSITO (g)	24.64	26.05	26.50		
PESO DEL AGUA (g)	3.36	3.51	3.51		
PESO DEL DEPOSITO (g)	11.40	11.50	11.54		
PESO DEL SUELO SECO (g)	13.24	14.55	14.96		
CONTENIDO DE AGUA (%)	25.38	24.12	23.46		

#### LIMITE PLASTICO (LP) MTC E 111-2016

N° DEL DEPOSITO	2	1			Centrar
PESO DEL SUELO HUMEDO + DEPOSITO (g)	18.30	18.42			
PESO DEL SUELO SECO + DEPOSITO (g)	16.60	16.65			
PESO DEL AGUA (g)	1.70	1.77			
PESO DEL DEPOSITO (g)	8.45	8.32			
PESO DEL SUELO SECO (g)	8.15	8.33			
CONTENIDO DE AGUA (%)	20.86	21.25			



L.L. = 24 %

L.P. = 21 %

I.P. = 3 %

OBSERVACIONES:



Heder Frank Maman Pantoja  
 INGENIERO GEOTECNICO  
 CIP. 246201







# GEOTECMIN JEFRALEO E.I.R.L.

## LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS Y CONCRETO

PROYECTO : "EFECTO DE LA CENIZA DE TALLO DE MOSTAZA EN LAS PROPIEDADES FISICO-MECANICAS DE LA SUBRASANTE DE UN SUELO ARENOSO ARCILLOSO PARA LA TROCHA CARROZABLE, ALPACCOLLO - EL COLLAO - PUNO 2023"

SOLICITANTE : OSMAR DAVID LIENDO CRUZ

PROGRESIVA : 1+470

LUGAR : SAN MIGUEL DE ALPACCOLLO - ILAVE

N° CALICATA : C-04

FECHA RECEPCION : 17/04/2023

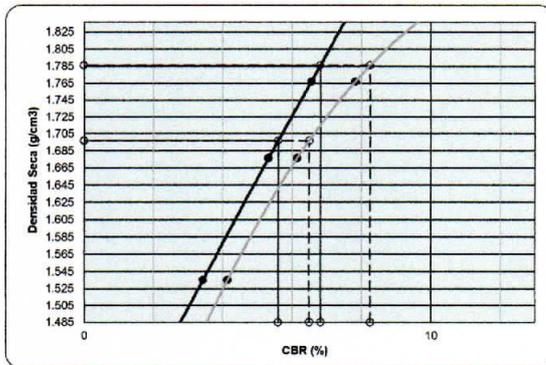
MUESTRA : SUELO NAT. + 15% DE CENIZA

FECHA DE ENSAYO : 25/04/2023

TEC. RESPONSABLE : J.C.J.

ING. RESPONSABLE : H.F.M.P.

### ENSAYO DE CBR - GRAFICO DE PENETRACION MTC E 132-2016

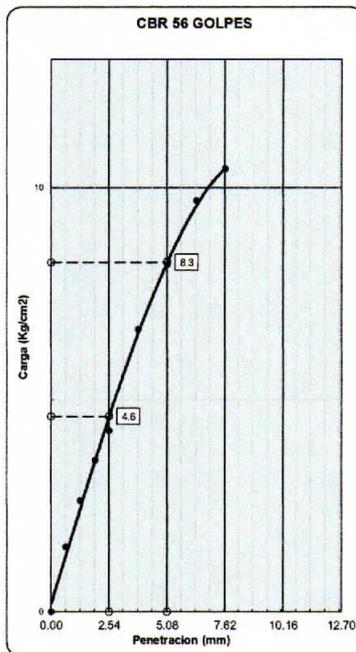


C.B.R. AL 100% DE M.D.S. 0.1"	6.8
C.B.R. AL 95% DE M.D.S. 0.1"	5.6

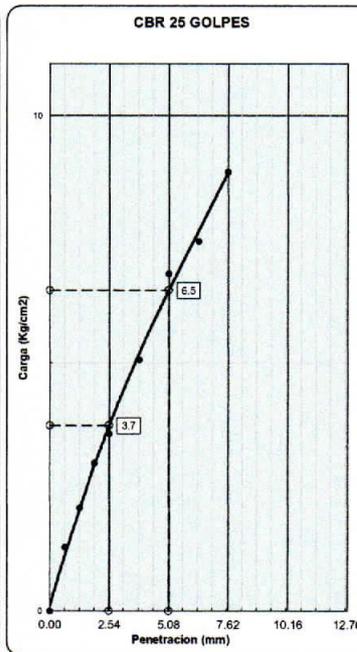
C.B.R. AL 100% DE M.D.S. 0.2"	8.2
C.B.R. AL 95% DE M.D.S. 0.2"	6.5

Datos del Proctor	
Densidad Seca	1.787 g/cm <sup>3</sup>
Humedad Opt.	12.6 %

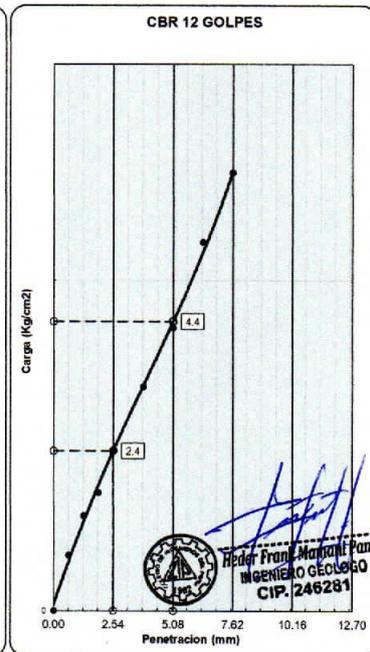
Observaciones: Celda de Carga



C.B.R. (0.1")-56 GOLPES : 6.6  
C.B.R. (0.2")-56 GOLPES : 7.8



C.B.R. (0.1")-25 GOLPES : 5.3  
C.B.R. (0.2")-25 GOLPES : 6.1



C.B.R. (0.1")-12 GOLPES : 3.4  
C.B.R. (0.2")-12 GOLPES : 4.1

INFORME DE ENSAYO

## DIFRACCIÓN DE RAYOS X EN POLVO

ASTM C - 1365 - 18

CODIGO DE INFORME

GCT- DRX - 005

Pag. 1 - 1

**TESIS** : EFECTOS DE LA CENIZA DE TALLO DE MOSTAZA EN LAS PROPIEDADES FISICO-MECANICAS DE LA SUBRASANTE DE UN SUELO ARENOSO ARCILLOSO PARA LA TROCHA CARROZABLE, ALPACCOLLO - EL COLLAO, PUNO 2023

**UBICACIÓN** : PUNO - EL COLLAO - ILAVE

**F. INGRESO** : 2023-05-06

**SOLICITANTE** : Br. OSMAR DAVID LIENDO CRUZ

**F. EMISIÓN** : 2023-06-13

ENSAYADO EN: LABORATORIO GEOCONTROL TOTAL E.I.R.L.

### DATOS DE LA MUESTRA

<b>Material</b>	: CENIZA	<b>Progresiva</b>	: ---
<b>Cantera</b>	: ---	<b>N° de Muestra</b>	: M - 1

#### A.- Medición Instrumental DRX

Ensayo		RESULTADO
C3s <M1>	%	11,42
C3s <M3>	%	0,01
C2S alpha'H	%	0,00
C3A - monoclinic	%	14,49
C4AF	%	1,31
Lime	%	0,00
Portlandite	%	2,62
Periclase	%	6,16
Quartz	%	4,77
Arcanite	%	29,91
Langbeinite	%	11,31
Aphthitalite	%	2,21
Gypsum	%	1,73
Bassanite	%	8,59
Calcite	%	5,5

#### B.- Medición Instrumental FRX

Ensayo		RESULTADO
SiO <sub>2</sub>	%	12,88
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%	0,00
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%	0,96
CaO	%	10,05
MgO	%	4,26
SO <sub>3</sub>	%	4,81
Na <sub>2</sub> O	%	1,75
K <sub>2</sub> O	%	21,29
TiO <sub>2</sub>	%	0,18
CO <sub>2</sub>	%	2,38
MnO	%	1:40

### OBSERVACIONES

1. La muestra fue puesta en el laboratorio por el solicitante.
2. Como podemos observar de acuerdo a los resultados de DRX este producto tiene Arcanite KSO<sub>4</sub> 29,91 %, Ca(OH)<sub>2</sub> de 2,62 %, SiO<sub>2</sub> 4,77 % y CaCO<sub>3</sub> en 5,46 %.



GEOCONTROL TOTAL E.I.R.L.

*Rawl Miranda Quintanilla*  
Ing. Rawl Miranda Quintanilla  
CIP: 131480

Los resultados reflejados en este informe solo están relacionados a la muestra ensayada. Está terminantemente prohibido la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de GEOCONTROL TOTAL E.I.R.L. El laboratorio no se hace responsable del mal uso ni la incorrecta interpretación de los resultados aquí declarados.

**INGENIERÍA - CONSTRUCCIÓN - CONTROL DE CALIDAD - SUPERVISIÓN - SEGURIDAD EN OBRA**

Dirección: Av. Circunvalación N° 1728 - Juliaca (Ref. ex ovalo salida cusco)  
Teléfonos: 051-328588 / 951 010447 / 951 671568  
Correos: informes@geocontroltotal.com / geocontroltotal@gmail.com  
www.geocontroltotal.com

026936