



## **FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**

MEJORAMIENTO DE SUBRASANTE DEL CAMINO VECINAL PARA MEJORAR  
VALOR SOPORTE DEL SUELO UTILIZANDO CENIZA VOLATIL DE TOTORA EN  
ZONA ALTO ANDINA DEL PERU-2023

**Línea de investigación:**

**Seguridad vial e infraestructura de transportes**

Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Civil

**Autor:**

Villafuerte Inocente, Oscar Enrique Arturo

**Asesor:**

Romero Ríos, David

ORCID: 0000-0003-3172-9024

**Jurado:**

García Urrutia-Olavarria, Roque Jesús Leonardo

Ayquipa Quispe, Evelyn

Arévalo Vida, Samir Augusto

**Lima - Perú**

**2024**



# MEJORAMIENTO DE SUBRASANTE DEL CAMINO VECINAL PARA MEJORAR VALOR SOPORTE DEL SUELO UTILIZANDO CENIZA VOLATIL DE TOTORA EN ZONA ALTO ANDINA DEL PERU-2023

## INFORME DE ORIGINALIDAD

|                     |                     |               |                         |
|---------------------|---------------------|---------------|-------------------------|
| <b>30%</b>          | <b>28%</b>          | <b>2%</b>     | <b>22%</b>              |
| INDICE DE SIMILITUD | FUENTES DE INTERNET | PUBLICACIONES | TRABAJOS DEL ESTUDIANTE |

## FUENTES PRIMARIAS

|          |  |               |
|----------|--|---------------|
| <b>1</b> | <b>hdl.handle.net</b><br>Fuente de Internet  | <b>15%</b>    |
| <b>2</b> | <b>Submitted to Universidad Nacional Federico Villarreal</b><br>Trabajo del estudiante | <b>9%</b>     |
| <b>3</b> | <b>Submitted to Universidad Cesar Vallejo</b><br>Trabajo del estudiante                | <b>1%</b>     |
| <b>4</b> | <b>repositorio.unfv.edu.pe</b><br>Fuente de Internet                                   | <b>1%</b>     |
| <b>5</b> | <b>rdu.unc.edu.ar</b><br>Fuente de Internet  | <b>1%</b>     |
| <b>6</b> | <b>repositorio.utea.edu.pe</b><br>Fuente de Internet                                   | <b>&lt;1%</b> |
| <b>7</b> | <b>repositorio.ucv.edu.pe</b><br>Fuente de Internet                                    | <b>&lt;1%</b> |
| <b>8</b> | <b>vsip.info</b><br>Fuente de Internet   | <b>&lt;1%</b> |



FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

**MEJORAMIENTO DE SUBRASANTE DEL CAMINO VECINAL PARA MEJORAR  
VALOR SOPORTE DEL SUELO UTILIZANDO CENIZA VOLATIL DE TOTORA EN  
ZONA ALTO ANDINA DEL PERU-2023**

Línea de Investigación:

Seguridad vial e infraestructura de transportes

Modalidad de Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil

Autor:

Villafuerte Inocente, Oscar Enrique Arturo

Asesor:

Romero Ríos, David

(ORCID: 0000-0003-3172-9024)

Jurado:

García Urrutia-Olavarria, Roque Jesús Leonardo

Ayquipa Quispe, Evelyn

Arévalo Vida, Samir Augusto

Lima - Perú

2024

### **Dedicatoria**

Dedicado con todo mi corazón a mi madre, Mary por sus enseñanzas y comprensión brindado en esta etapa de mi vida. A mis hermanos, Carlos y Oswaldo que estuvieron a mi lado apoyándome y brindándome consejos. A mi tío, Oswaldo, que me orientó y apoyó como guía para elegir esta profesión tan responsable y de retos que encuentro en cada paso que doy, a mis abuelos, Oswaldo y Julia, y a toda mi familia, en agradecimiento por toda el apoyo moral y emocional, la comprensión y motivación impartida para mi crecimiento profesional.

### **Agradecimiento**

Agradezco a Dios por haberme permitido y darme fuerzas para poder concluir este trabajo de suficiencia profesional y con eso mi carrera profesional, a mi Madre, por ser incondicional, en todo momento apoyándome, con sus palabras, consejos y acciones, por ser mi motor y motivo, gracias a mis hermanos, gracias a mi tío por su guía y a toda mi familia por la comprensión y apoyo brindado en este camino de esfuerzo y sacrificio.

## ÍNDICE

|  |    |
|--|----|
| RESUMEN .....                                    | 8  |
| ABSTRACT.....                                    | 9  |
| I. INTRODUCCIÓN.....                             | 10 |
| 1.1. Descripción y formulación del problema..... | 11 |
| 1.2. Antecedentes .....                          | 12 |
| 1.3. Objetivos .....                             | 15 |
| 1.4. Justificación e importancia.....            | 15 |
| 1.5. Hipótesis.....                              | 16 |
| II. MARCO TEÓRICO.....                           | 17 |
| 2.1. Bases teóricas .....                        | 17 |
| III. MÉTODO .....                                | 19 |
| 3.1. Tipo de investigación .....                 | 19 |
| 3.2. Ámbito temporal y espacial .....            | 19 |
| 3.3. Variables .....                             | 19 |
| 3.4. Población y muestra .....                   | 19 |
| 3.5. Instrumentos .....                          | 20 |
| 3.6. Procedimientos .....                        | 20 |
| 3.7. Análisis de datos .....                     | 21 |
| 3.8 Consideración ética .....                    | 21 |

|                                  |    |
|----------------------------------|----|
| IV. RESULTADOS .....             | 22 |
| V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS ..... | 50 |
| VI. CONCLUSIONES .....           | 52 |
| VII. RECOMENDACIONES .....       | 54 |
| VIII. REFERENCIAS .....          | 55 |
| IX. ANEXOS .....                 | 58 |

## Índice de tablas

|  |    |
|--|----|
| Tabla 1 Granulometría del km 00+500.....                             | 22 |
| Tabla 2 Granulometría del km 01+500.....                             | 24 |
| Tabla 3 Granulometría del km 02+500.....                             | 25 |
| Tabla 4 Contenido de humedad natural .....                           | 26 |
| Tabla 5 Límites de consistencia.....                                 | 27 |
| Tabla 6 Proctor modificado en estado natural .....                   | 29 |
| Tabla 7 Valor relativo de soporte (CBR) en estado natural.....       | 32 |
| Tabla 8 Granulometría del S.N. + 4% de ceniza de totora.....         | 35 |
| Tabla 9 Granulometría del S.N. + 8% de ceniza de totora.....         | 36 |
| Tabla 10 Granulometría del S.N. + 12% de ceniza de totora.....       | 38 |
| Tabla 11 Granulometría del S.N. + 16% de ceniza de totora.....       | 39 |
| Tabla 12 Contenido de humedad natural .....                          | 40 |
| Tabla 13 Límites de consistencia con las dosificaciones.....         | 41 |
| Tabla 14 Proctor modificado con las dosificaciones .....             | 43 |
| Tabla 15 Valor relativo de soporte (CBR) con las dosificaciones..... | 46 |

## Índice de figuras

|  |    |
|--|----|
| Figura 1 Curva granulométrica del km 00+500.....                   | 23 |
| Figura 2 Granulometría del km 01+500.....                          | 25 |
| Figura 3 Granulometría del km 02+500.....                          | 26 |
| Figura 4 Contenido de humedad natural.....                         | 27 |
| Figura 5 Límites de consistencia.....                              | 28 |
| Figura 7 Proctor modificado de la calicata 02.....                 | 30 |
| Figura 8 Proctor modificado de la calicata 03.....                 | 30 |
| Figura 9 Proctor modificado en estado natural.....                 | 31 |
| Figura 10 CBR de la calicata 01.....                               | 32 |
| Figura 11 CBR de la calicata 02.....                               | 33 |
| Figura 12 CBR de la calicata 03.....                               | 33 |
| Figura 15 Curva granulométrica con la incorporación del 8.0%.....  | 37 |
| Figura 16 Curva granulométrica con la incorporación del 12%.....   | 38 |
| Figura 17 Curva granulométrica con la incorporación del 16%.....   | 40 |
| Figura 18 <i>Contenido de humedad con las dosificaciones</i> ..... | 41 |
| Figura 19 Límites de consistencia en estado natural.....           | 42 |
| Figura 20 Proctor modificado del SN + 4% de ceniza de totora.....  | 43 |
| Figura 21 Proctor modificado del SN + 8% de ceniza.....            | 44 |

## RESUMEN

**Objetivo:** Analizar la incorporación de cenizas volátiles de totora o de Icchu en la estabilización de suelos de fundación conformados como subrasante para la trocha carrozable Ccota – Quipata, Puno 2023. **Método:** Tipo de investigación aplicada, se realizó un reconocimiento de campo, se identificó el lugar de interés, en el caso de esta investigación es toda la vía Ccota-Quipata en la ciudad de Puno. La población representa toda la vía Ccota-Quipata, la cual tiene una longitud de 2.750 km en la ciudad de Puno. **Resultados:** Los resultados indicaron que la densidad seca máxima aumentó gradualmente al incrementar el porcentaje de ceniza, alcanzando su punto máximo de 1.719 gr/cm<sup>3</sup> con un 16% de ceniza de totora y un contenido óptimo de humedad de 16.55%. Esto sugirió que la ceniza de totora proporcionó una adecuada estabilización del suelo, mejorando sus propiedades de compactación. Además, en términos económicos, la ceniza de totora resultó ser una opción más rentable, con un costo de S/. 20.55 por m<sup>3</sup>, en comparación con S/. 36.33 por m<sup>3</sup> de cemento Portland tipo I, debido a su abundancia en la región. **Conclusiones:** el uso de ceniza de totora fue una alternativa efectiva y económica para la estabilización de suelos en proyectos de infraestructura vial en la región de Puno.

*Palabras clave:* Subrasante, camino vecinal, ceniza, totora.

## ABSTRACT

**Objective:** Analyze the incorporation of volatile ashes from totora or Icchu in the stabilization of foundation soils formed as subgrade for the Ccota – Quipata motorized trail, Puno 2023. **Method:** Type of applied research, a field reconnaissance was carried out, to identify The place of interest, in the case of this investigation, is the entire Ccota-Quipata road in the city of Puno. The population represents the entire Ccota-Quipata road, which has a length of 2,750 km in the city of Puno. **Results:** The results indicated that the maximum dry density gradually increased with increasing ash percentage, reaching its maximum point of 1,719 gr/cm<sup>3</sup> with 16% cattail ash and an optimal moisture content of 16.55%. This suggested that cattail ash provided adequate soil stabilization, improving its compaction properties. Furthermore, in economic terms, reed ash turned out to be a more profitable option, with a cost of S/. 20.55 per m<sup>3</sup>, compared to S/. 36.33 per m<sup>3</sup> of Portland cement type I, due to its abundance in the region. **Conclusions:** the use of cattail ash was an effective and economical alternative for soil stabilization in road infrastructure projects in the Puno region.

*Keywords:* Subgrade, local road, ash, cattails.

## I. INTRODUCCIÓN

El terreno en el que se formarán las vías, por regla general, no tiene las condiciones adecuadas para el movimiento de carros, esta disposición se ha desarrollado desde el pasado, cuando las carreteras construidas estaban en mal estado debido al tráfico, factores climatológicos. Era necesario encontrar una solución a este enorme problema e intentar mejorar la calidad de las carreteras. En el Perú, existe un gran problema con las autopistas, ya que su construcción es costosa y un país que sufre escasez en este sentido debe tener una excelente red de carreteras. Así, la opción que se está desarrollando es el uso de diversas tecnologías y materiales para crear una vía que garantice el libre tránsito de personas y mercancías. En Perú el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) está considerando estabilizar suelos con un agente externo para mejorar las propiedades físicas y mecánicas del terreno de acuerdo con la normativa vigente, pero el alto costo de estos agentes lleva a la búsqueda de alternativas que sustituyan a los estabilizantes recomendados y puedan prescindir de ellos. Entonces se puede construir una vía. En Puno, se fomenta la obra de caminos, su mantenimiento y en algunos casos su mejorar los factores climáticos de la zona, altitud y suelo no presentan propiedades mecánicas y físicas óptimas. propiedades, son un problema oculto que obliga a buscar alternativas a los estabilizadores de suelos que puedan dotar al suelo de una mayor capacidad portante y en este caso sobre el terreno.

Este estudio se buscará una solución al problema aplicando la técnica de estabilización del terreno con ceniza de totora, es una planta acuática que se encuentra en las zonas altas de los lagos andinos y que forma carrizo. Este recurso renovable se utiliza como fertilizante, forraje, construcción de balsas y alimento para el ganado. Su uso amigable con el medio ambiente es muy importante dada su abundancia en estas tierras altas andinas, puede servir para mejorar el suelo.

Conocer los tipos de suelo en el que se podría aplicar esta investigación nos indicara si los suelos efectivamente se vuelven estables y también si incrementan su valor soporte CBR, trabajo, y si se estabilizan o no con la adición de ceniza de totora, ya que se busca la optimización del mantenimiento de la vía terrestre, en este caso el camino de acarreo.

La aplicación y desarrollo del proyecto será parte del desarrollo sostenible, pues aportando positivamente al desarrollo local donde se aplique mejorando el Hábitat de estas zonas altoandinas incrementando la economía y también al medio ambiente.

### **1.1. Descripción y formulación del problema**

Se están construyendo, manteniendo y a veces mejorando caminos en Puno y en otras partes del país donde los factores climáticos locales, la altitud y las condiciones del suelo no son adecuados. Las propiedades físicas y mecánicas óptimas son un problema potencial y debemos buscar estabilizadores de suelo alternativos que puedan darles a los suelos una mayor capacidad de carga. Este estudio propone mejorar el subsuelo de la ruta de transporte que conecta los centros de asentamiento de Ccota - Quipata mediante la introducción de ceniza de totora como estabilizador y evaluando sus efectos sobre las propiedades del subsuelo.

#### ***1.1.1 Problema general***

¿La incorporación de cenizas volátiles de totora utilizadas para mejorar los suelos de la subrasante en la trocha carrozable Ccota - Quipata, Puno tendrán resultados efectivos incrementado la resistencia?

#### ***1.1.2 Problemas específicos***

¿De qué forma influye la incorporación de cenizas volátiles de totora o de icchu, en las propiedades físicas de la subrasante de la trocha carrozable Ccota – Quipata, Puno?

¿La incorporación de ceniza volátil de totora o de icchu, podrá mejorar las propiedades mecánicas de la subrasante de la trocha carrozable Ccota – Quipata, Puno?

¿Se podrá determinar el porcentaje apropiado de ceniza volátil de totora o de icchu, para adicionar al suelo de fundación de la trocha carrozable Ccota-Quipata, Puno?

¿Cómo repercute en el costo de conformación del terreno de fundación, la aplicación de cenizas volátiles de totora o de Icchu en la estabilización de suelos de fundación para conformación de subrasante de la trocha carrozable Ccota – Quipata, Puno?

## **1.2. Antecedentes**

### ***1.2.1 En el ámbito internacional***

Según lo indicado por Terrones (2018), realizó un estudio con el propósito de mejorar la estabilidad de los suelos arcillosos y limosos al añadir ceniza de caña en diferentes cantidades: 5%, 10% y 15%. Las tácticas utilizadas se adaptaron al estilo de descripción, al diseño experimental y al enfoque cuantitativo empleados, manteniendo consistencia en cada instante. Después de recopilar treinta y seis muestras, se logró una resistencia de 150.60 KPa y una resistencia del 23.67%. Como resultado, se determinó que el 15% de la ceniza producida a partir del bagazo de caña de azúcar cumplía con los requisitos mínimos fijados por el MTC. Se establece que la ceniza proveniente del residuo de la caña de azúcar es un subproducto natural que mejora las propiedades superficiales, potencia el crecimiento de caminos y reduce costos.

Según Gavancho y Quinte (2021), realizó una investigación para determinar el efecto de la ceniza de eucalipto sobre la estabilidad del suelo. Los métodos utilizados son el tipo de aplicación, el nivel de interpretación, la alternativa experimental y el método cuantitativo. Como resultado: la tierra + 10% CE aumentó el MDS en un 10,45% y la reducción del IP en un 54,97%, el CBR crecimiento en un 385,14% y el MR crecimiento en un 157,94%. Concluyeron que la adición de ceniza de eucalipto mejoraría las propiedades del sustrato.

Siguiendo el estudio realizado por Capuñay y Pastor (2020), se llevó a cabo un examen con el fin de descubrir las propiedades físicas y mecánicas de suelos que incluían ceniza de bagazo de caña en diferentes cantidades: 45%, 35% y 25%. Se emplearon enfoques aplicados, niveles de descripción, diseños experimentales y enfoques cuantitativos, considerando la variabilidad en CBR y contenido de humedad. Tras el análisis, se determinó que la composición incluía un 35% de cenizas, un 17,91% de CBR, un 8,07% de OCH y una resistencia a la compresión de 1752 kg/cm<sup>2</sup>. Estos parámetros se aplicaron a una muestra de arena inadecuada y a un índice CBR para un porcentaje del 45% de arena fina. El 15,80% es para residuos inorgánicos y el 12,59% para residuos orgánicos. En resumen, el bagazo de caña de azúcar en forma de ceniza contribuye a enriquecer las características del suelo.

Siguiendo la investigación realizada por Gálvez y Santoyo en 2019, se embarcaron en un estudio sobre la solidificación de suelos con características de adhesión. Exploraba la posibilidad de impactar en la ceniza proveniente de la cáscara de arroz para realzar las propiedades del terreno. Se utilizó una metodología con un enfoque cuantitativo, nivel descriptivo y diseño experimental. Se probaron concentraciones del 3%, 10% y 15%, obteniendo una resistencia del 6,68%. El segundo porcentaje alcanzó un 10,93%, mientras que el tercero se situó en un 13,77%, lo que sugiere que la inclusión de ceniza de cáscara de arroz beneficia las características del suelo.

### ***1.2.2 En el ámbito nacional***

De acuerdo con la investigación de Camelo y Gonzales (2021), en su trabajo titulado "Características flexibles de la base tratada con cenizas volantes granulares para carreteras adaptables", se llevó a cabo un análisis para examinar las propiedades elásticas de la base tratada con cenizas volantes en comparación con el pavimento flexible estándar. Se utilizó el tipo de estrategia, el nivel de detalle, el plan de investigación y el enfoque numérico. Tras analizar los

datos, se determinó que las cenizas volantes contribuyen a potenciar las características físicas y mecánicas de los caminos no rígidos.

En su estudio titulado "Explorando el impacto de la ceniza de cáscara de arroz en las características mecánicas de los suelos finos", Andaluz y Portilla (2022) abordan la evaluación de las propiedades mecánicas de un suelo fino cuando se combina con ceniza de cáscara de arroz. Se emplean técnicas de alta categoría como interpretación, diseño experimental y análisis cuantitativo para obtener resultados de pruebas CBR, medida alterada, límite de densidad, densidad, granulometría y contenido de humedad. Tras el análisis, se determinó que incorporar ceniza de cáscara de arroz podría potenciar las características del suelo fino, siempre y cuando se administre en la cantidad adecuada.

En el estudio "Contraste de las propiedades de resistencia del suelo al añadir ceniza de cáscara de arroz y ceniza de cáscara de café" realizado por Laguna y Chacon (2020), se investigaron las características de resistencia del suelo al incorporar diferentes concentraciones (4%, 10% y 12%) de ceniza de cáscara de arroz y ceniza de cáscara de café con el fin de mejorar su estabilidad. Se utiliza una variedad de métodos que incluyen la aplicación, la explicación, la creación de experimentos y el enfoque numérico, lo que permite realizar diferentes pruebas en laboratorio como proctor, CBR, RCI, MR y Triaxis. En consecuencia, se puede concluir que la ceniza realmente realza las propiedades del suelo.

Morales (2015), en su investigación "Evaluación de cenizas de carbón para la estabilización de terrenos por Activación Alcalina y su Uso en Caminos de Tierra" determina y estima las propiedades mecánicas de los terrenos cuando se introducen dosis de cenizas de carbón como 7, 14, 21, etc., apunta el estudio para evaluar el porcentaje aquí se hizo para determinar cuál es el mejor. El método utilizado es el tipo avanzado, nivel de explicación. Los resultados mostraron que

mezclar cenizas orgánicas con terrenos arenoso y arcilloso mejoró las propiedades del terreno, y el uso de un tamiz #100 aumentó la cementación de la mezcla.

### **1.3. Objetivos**

#### ***1.3.1 Objetivo general***

Analizar la incorporación de cenizas Volátiles de totora o de Icchu en la estabilización de suelos de fundación conformados como subrasante para la trocha carrozable Ccota – Quipata, Puno 2023.

#### ***1.3.2 Objetivos específicos***

- Analizar la incorporación de cenizas de totora en las propiedades físicas de la subrasante de la trocha carrozable Ccota – Quipata. Puno 2023.
- Analizar la incorporación de ceniza de totora en las propiedades mecánicas de la subrasante de la trocha carrozable Ccota – Quipata. Puno 2023.
- Dosificar la adición de ceniza de totora o de plantas de alta altura, fibrosas como es el caso del ICCHU para lograr el valor óptimo que sirva de partida para realizar mejoramientos de suelos.
- Analizar el costo de la aplicación de cenizas de totora en la estabilización de suelos de la subrasante de la trocha carrozable Ccota – Quipata. Puno 2023.

### **1.4. Justificación e importancia**

El fundamento es que se cuenta con el conocimiento necesario respecto al uso correcto de estabilizar la superficie para la mejora de las propiedades físicas y mecánicas. Esto reduce el hundimiento, la contracción y la hinchazón del suelo y aumenta la resiliencia del suelo. Además, la inclusión de ceniza de totora debería proporcionar una alternativa de ahorro de costes. Esta investigación debe seguir los procesos metodológicos de la investigación que cumplan con los

estándares requeridos, se utilizan métodos científicos y se proponen nuevas alternativas que permitan establecer procedimientos que cumplan con los requisitos actuales, tiene un carácter experimental. Por lo tanto, contamos con resultados confiables que ayudarán en el desarrollo de proyectos similares en infraestructura vial en la provincia de Puno.

## **1.5. Hipótesis**

### ***1.5.1 Hipótesis general***

La incorporación de ceniza volátil de totora estabiliza suelos de fundación alto andinos para conformar sub rasante en la trocha carrozable Ccota – Quipata, Puno.

### ***1.5.2 Hipótesis específicas***

- La incorporación de ceniza de totora mejora las propiedades físicas del terreno de fundación y de la subrasante mejorada de la trocha carrozable Ccota – Quipata. Puno.
- La incorporación de ceniza de totora incrementa las propiedades mecánicas del terreno de fundación incrementado el valor soporte CBR de la subrasante de la trocha carrozable Ccota – Quipata. Puno.
- La dosificación adecuada de adición de ceniza volátil de totora o de plantas de alta de zonas altoandinas (Icchu) incrementa la serviciabilidad de la trocha carrozable.
- El costo de la aplicación de la ceniza volátil de totora para estabilización de suelos del terreno de fundación, subrasante para la trocha carrozable Ccota – Quipata es mínimo comparado con el incremento de la serviciabilidad y vida útil.

## II. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Bases teóricas

#### - Origen y formación de suelos

Según Espinace y Sanhueza (2004) se forma en áreas rocosas existentes, que están compuestas de lecho de roca que ha sido sometido a la erosión ambiental para formar residuos y arrastrado por una combinación de factores ambientales como la gravedad, el viento y el agua. Las acabras las mejoras son el principio que los transforman en componentes resistentes que aguantan la presión y la temperatura.

#### - Clasificación de suelos

Según Zapata (2018) las propiedades del suelo se expresan de manera sucinta y cambian sin necesidad de razonamientos extensos, clasificando y agrupando suelos que comparten las mismas propiedades, como las físicas, mecánicas e hidráulicas.

#### - Suelos

Según Duque y Escobar (2004) se trata de sedimentos no consolidados resultantes de cambios en las rocas y suelos transportados por el viento, agua y hielo con el apoyo de la gravedad y que, en ocasiones, contienen materia orgánica, cuerpo natural desigual.

#### - Propiedades físicas y mecánicas

Según el reporte del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC, 2018), se aconseja fortalecer las propiedades físicas y mecánicas de las capas del suelo mediante la combinación de técnicas químicas y mecánicas. La estabilización se realiza en terrenos de pobre calidad o carentes de nutrientes, como la piedra caliza, el asfalto, el cemento y otros materiales empleados para este propósito. Al realizar labores en las vías, resulta fundamental utilizar el equipo adecuado para garantizar una protección total.

### - **Límites de Atterberg**

De acuerdo con Hernández (2008), el límite de consistencia se refiere al nivel de humedad presente en el suelo, el cual puede fluctuar dependiendo de si el terreno se encuentra en estado líquido, plástico o sólido. La conducta y la coherencia varían en cada estado. Se emplea para diferenciar entre la arcilla y el limo.

### - **Contenido de humedad**

Según Rodríguez (2020) el método utilizado para determinar la proporción de cada una de estas clases de partículas minerales se denomina granulometría del suelo. Para el análisis del terreno, primero se muele el suelo y luego se tamiza a través de un tamiz de 2 mm para determinar el porcentaje de grava y partículas más grandes. Pesar el residuo que queda en el tamiz y calcular el porcentaje de residuo en la muestra total del terreno.

### - **Producción de cenizas**

De acuerdo con Rey (2017), se generan cenizas volátiles y residuales, además de yeso, a través del proceso de desulfuración húmeda del carbón. La cantidad de ceniza generada variará según diferentes factores, como la variedad de carbón utilizada, la técnica de quema empleada y la dinámica del flujo dentro del horno. Es fundamental tener un entendimiento detallado de las características mecánicas, químicas y físicas de la ceniza.

### - **Características de las cenizas**

Según Rey (2017) el tamaño de las cenizas es de distintos tamaños, desde centímetros hasta micrómetros, según si forma y textura son porosos e irregulares, la estructura del poro.

### **III. MÉTODO**

#### **3.1. Tipo de investigación**

Según indica Guerrero y Guerrero (2014) indica que en la investigación aplicada el objetivo es resolver algún problema práctico y concreto, con foco en consolidar y encontrar conocimientos para aplicarlos. La investigación está destinada a resolver los problemas reales para el mejoramiento con la incorporación de ceniza volátil de totora estabiliza suelos de fundación alto andinos para conformar sub rasante en Quipata en el departamento Puno.

#### **3.2. Ámbito temporal y espacial**

La tesis a desarrollarse se basará en la incorporación de ceniza volátil de totora estabiliza suelos de fundación alto andinos para conformar sub rasante en la trocha carrozable Ccota – Quipata que se ubica en Puno.

#### **3.3. Variables**

##### ***3.3.1 Variable independiente***

- Ceniza de totora

##### ***3.3.2 Variable dependiente***

- Estabilización de la subrasante

#### **3.4. Población y muestra**

##### ***3.4.1 Población***

La población representa toda la vía Ccota-Quipata, la cual tiene una longitud de 2.750 km en la ciudad de Puno. Según Gutiérrez y Vladimirovna (2016), es un grupo de objetos, personas a su estudio detenido, conocimientos de interés.

### **3.4.2 Muestra**

La **muestra** se ubica en Ccota-Quipata, en la ciudad de Puno, está conformada por tres calicatas se realizarán en el eje de la vía. Según Borrego (2018), una muestra es un subconjunto limitado que se toma de la población general para reducir el conjunto de experimentos.

### **3.5. Instrumentos**

Los instrumentos serán la recolección de datos, cámara, regla de aluminio, pico, pala, bolso, etc. para trabajar en el pozo de prueba. Para ser utilizado en recuperación de laboratorio, molde proctor mejorado, proctor modificado, juego de tamices, prensa de carga CBR, vidrio para moler, báscula electrónica, horno eléctrico, bandeja, estuche de transporte, martillo alto y muchos otros.

### **3.6. Procedimientos**

Iniciará con la exploración completa de la ruta Ccota-Quipata, abarcando una distancia de 2,75 kilómetros. Después, se llevará a cabo la elección minuciosa del emplazamiento donde excavar el pozo de ensayo, optando por el lugar de mayor relevancia. La muestra deberá cumplir con los criterios fijados para este proceso. Una vez obtenida, se remitirá al laboratorio con los estándares de calidad del MTC para llevar a cabo todas las pruebas necesarias. Siguiendo las pautas indicadas en la normativa actual, durante los análisis físicos y mecánicos, se destacó la inclusión de ceniza de Totorá en proporciones del 16%, 12%, 8% y 4% con el fin de obtener los resultados de la evaluación. la fortaleza del pavimento previamente citado. Igualmente, se recopilará datos acerca de la cantidad de Totorá que se produce cada año, los cuales serán empleados en el cálculo del estudio de gastos.

### **3.7. Análisis de datos**

De acuerdo con Valderrama (2019), una vez que se haya recibido la información, los datos serán sometidos a procesos utilizando el método seleccionado. La forma de examinar es de naturaleza metodológica, puesto que emplearemos información de la ficha de observación. Más adelante, se llevarán a cabo pruebas de laboratorio con el fin de confirmar la hipótesis propuesta, la cual está vinculada con los objetivos establecidos.

### **3.8 Consideraciones éticas**

La investigación se realizará de manera responsable y transparente además del compromiso de la investigación que cumpla con los objetivos planteados y así garantice la autenticidad del mismo.

## IV. RESULTADOS

### 4.1. Ensayo granulométrico

#### 4.1.1 Propiedades físicas en estado natural

En relación a las características físicas, se consideran los análisis de laboratorio realizados en tres calicatas ubicadas en los kilómetros 00+500, 01+500 y 02+500 de la carretera.

#### *Granulometría de la progresiva del km 00+500*

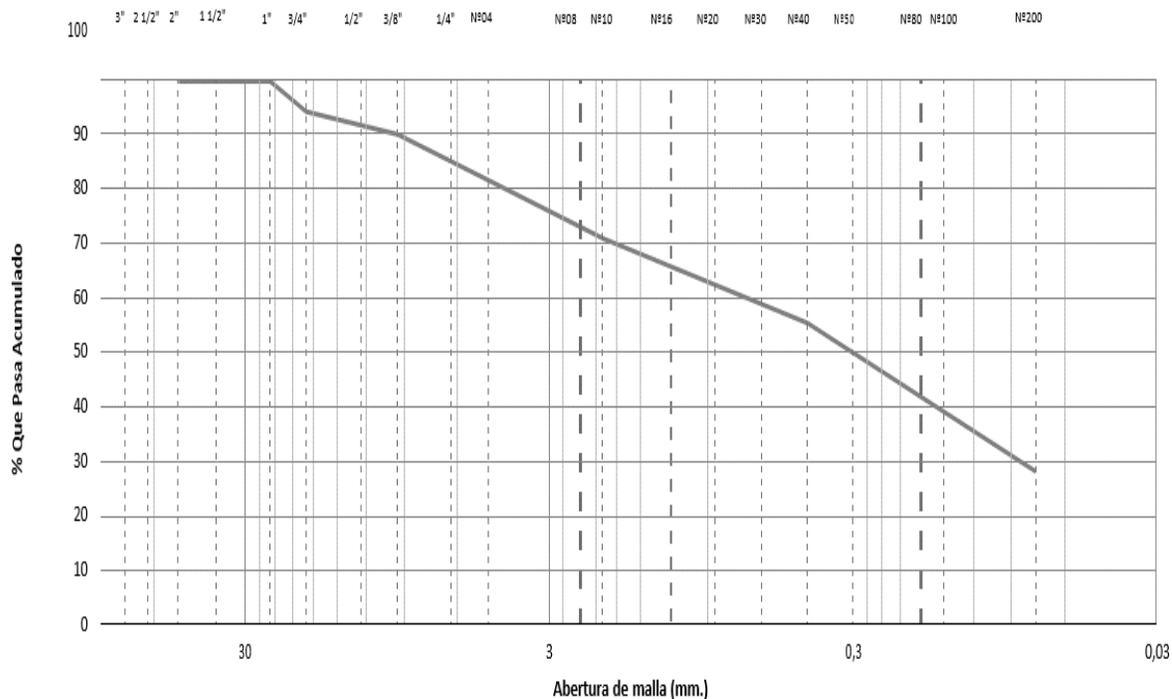
**Tabla 1**

#### *Granulometría del km 00+500*

| TAMICES |        | PESO<br>RETENIDO | % RETENIDO<br>PARCIAL | % RETENIDO<br>ACUMULADO | % QUE<br>PASA |
|---------|--------|------------------|-----------------------|-------------------------|---------------|
| (PULG)  | (mm)   |                  |                       |                         |               |
| 3"      | 75,000 |                  |                       |                         |               |
| 2 1/2"  | 63,000 |                  |                       |                         |               |
| 2"      | 50,000 |                  |                       |                         |               |
| 1 1/2"  | 37,500 |                  |                       |                         |               |
| 1"      | 25,000 |                  |                       |                         |               |
| 3/4"    | 19,000 | 330,0            | 5,5                   | 5,5                     | 94,5          |
| 1/2"    | 12,500 | 145,0            | 2,4                   | 8,0                     | 92,0          |
| 3/8"    | 9,500  | 108,0            | 1,8                   | 9,8                     | 90,2          |
| 1/4"    | 6,300  |                  |                       |                         |               |
| Nº04    | 4,750  | 507,0            | 8,5                   | 18,3                    | 81,7          |
| Nº08    | 2,360  |                  |                       |                         |               |
| Nº10    | 2,000  | 98,0             | 10,6                  | 28,9                    | 71,1          |
| Nº16    | 1,190  |                  |                       |                         |               |
| Nº20    | 0,850  |                  |                       |                         |               |
| Nº30    | 0,600  |                  |                       |                         |               |
| Nº40    | 0,425  | 144,0            | 15,6                  | 44,4                    | 55,6          |
| Nº50    | 0,300  |                  |                       |                         |               |
| Nº80    | 0,177  |                  |                       |                         |               |
| Nº100   | 0,150  |                  |                       |                         |               |
| Nº200   | 0,075  | 252,0            | 27,2                  | 71,7                    | 28,3          |
| < Nº200 | FONDO  | 262,0            | 28,3                  | 100,0                   | 0,0           |

**Figura 1**

*Curva granulométrica del km 00+500*



*Nota.* En este cuadro se presenta el nivel de detalle de la progresión km 00+500 o pozo 01. La mezcla está compuesta por un 18.3% de grava, un 53.4% de arena y un 28.3% de malla 200. Como consecuencia de esto, se obtiene la categorización del terreno de acuerdo con el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) y luego con la Clasificación de Suelos según la Asociación Americana de Carreteras y Transporte (AASHTO) A-2-6(0). ¡Claro que sí! ¡Por supuesto! ¡Sin duda! El terreno se categoriza como arcilloso con presencia de grava.

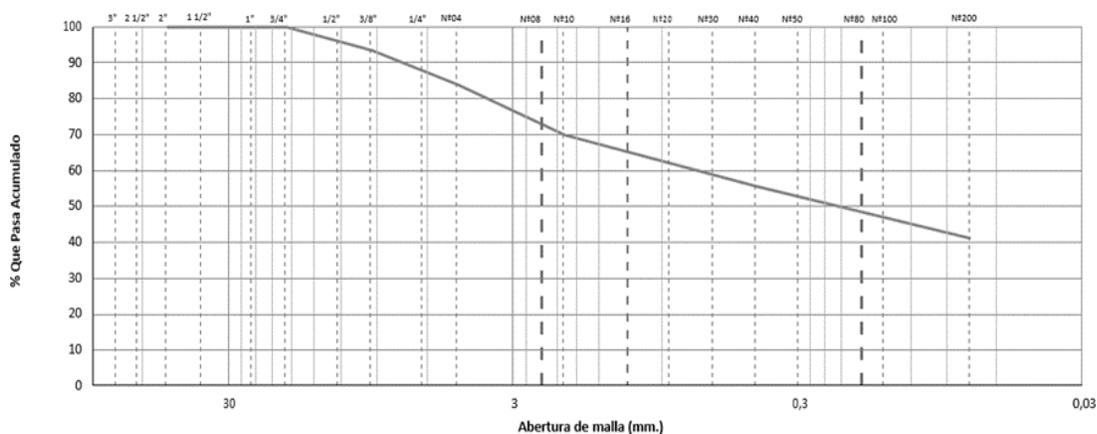
**Granulometría de la progresiva del km 01+500**

**Tabla 2**

*Granulometría del km 01+500*

| TAMICES |        | PESO<br>RETENIDO | % RETENIDO<br>PARCIAL | % RETENIDO<br>ACUMULADO | % QUEPASA |
|---------|--------|------------------|-----------------------|-------------------------|-----------|
| (PULG)  | (mm)   |                  |                       |                         |           |
| 3"      | 75,000 |                  |                       |                         |           |
| 2 1/2"  | 63,000 |                  |                       |                         |           |
| 2"      | 50,000 |                  |                       |                         |           |
| 1 1/2"  | 37,500 |                  |                       |                         |           |
| 1"      | 25,000 |                  |                       |                         |           |
| 3/4"    | 19,000 |                  |                       |                         | 100,0     |
| 1/2"    | 12,500 | 187,0            | 1,8                   | 1,8                     | 98,2      |
| 3/8"    | 9,500  | 503,0            | 4,8                   | 6,5                     | 93,5      |
| 1/4"    | 6,300  |                  |                       |                         |           |
| Nº04    | 4,750  | 1007,0           | 9,5                   | 16,0                    | 84,0      |
| Nº08    | 2,360  |                  |                       |                         |           |
| Nº10    | 2,000  | 95,0             | 14,0                  | 30,1                    | 69,9      |
| Nº16    | 1,190  |                  |                       |                         |           |
| Nº20    | 0,850  |                  |                       |                         |           |
| Nº30    | 0,600  |                  |                       |                         |           |
| Nº40    | 0,425  | 97,0             | 14,3                  | 44,4                    | 55,6      |
| Nº50    | 0,300  |                  |                       |                         |           |
| Nº80    | 0,177  |                  |                       |                         |           |
| Nº100   | 0,150  |                  |                       |                         |           |
| Nº200   | 0,075  | 98,0             | 14,5                  | 58,9                    | 41,1      |
| < Nº200 | FONDO  | 278,0            | 41,1                  | 100,0                   | 0,0       |

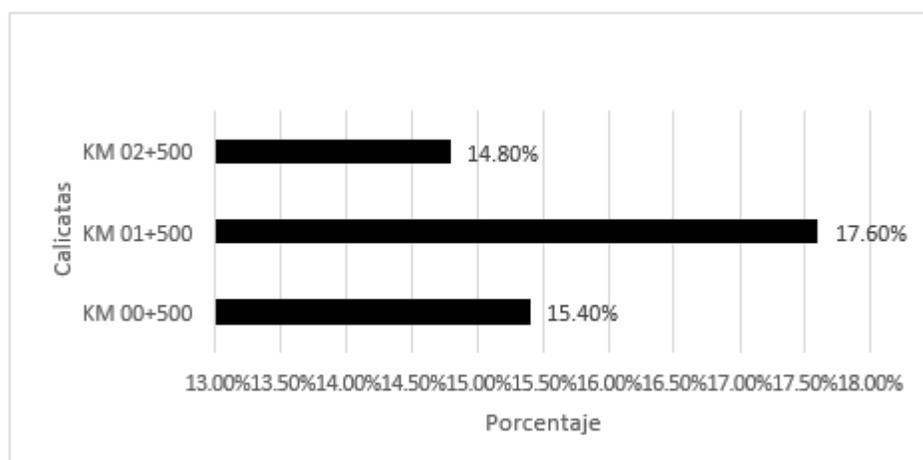
*Nota.* La tabla exhibe la distribución de tamaños de partículas en el punto kilométrico 01+500 o excavación 02, donde se encuentran un 16.0% de grava, un 42.9% de arena y un 41.1% que pasa a través de la malla 200. De esta manera, se determinó que el suelo se clasifica como SC según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos y como arena arcillosa con grava según la normativa AASHTO A-6(2).

**Figura 2***Granulometría del km 01+500***Granulometría de la progresiva del km 02+500****Tabla 3***Granulometría del km 02+500*

| TAMICES |        | PESO<br>RETENIDO | %<br>RETENIDO<br>PARCIAL | % RETENIDO<br>ACUMULADO | % QUE<br>PASA |
|---------|--------|------------------|--------------------------|-------------------------|---------------|
| (PULG)  | (mm)   |                  |                          |                         |               |
| 3"      | 75,000 |                  |                          |                         |               |
| 2 1/2"  | 63,000 |                  |                          |                         |               |
| 2"      | 50,000 |                  |                          |                         |               |
| 1 1/2"  | 37,500 |                  |                          |                         |               |
| 1"      | 25,000 |                  |                          |                         |               |
| 3/4"    | 19,000 |                  |                          |                         |               |
| 1/2"    | 12,500 |                  |                          |                         | 100,0         |
| 3/8"    | 9,500  | 361,0            | 3,7                      | 3,7                     | 96,3          |
| 1/4"    | 6,300  |                  |                          |                         |               |
| N°04    | 4,750  | 729,0            | 7,5                      | 11,1                    | 88,9          |
| N°08    | 2,360  |                  |                          |                         |               |
| N°10    | 2,000  | 87,2             | 10,1                     | 21,3                    | 78,7          |
| N°16    | 1,190  |                  |                          |                         |               |
| N°20    | 0,850  |                  |                          |                         |               |
| N°30    | 0,600  |                  |                          |                         |               |
| N°40    | 0,425  | 99,2             | 11,5                     | 32,8                    | 67,2          |
| N°50    | 0,300  |                  |                          |                         |               |
| N°80    | 0,177  |                  |                          |                         |               |
| N°100   | 0,150  |                  |                          |                         |               |
| N°200   | 0,075  | 100,4            | 11,7                     | 44,5                    | 55,5          |
| < N°200 | FONDO  | 478,2            | 55,5                     | 100,0                   | 0,0           |

*Nota.* La tabla exhibe la distribución de tamaños de partículas en la sección del kilómetro 02+500 o excavación 03, con un contenido de 11.1% de grava, 33.3% de arena y 55.5% que pasa a través de la malla 200. De esta manera, el suelo se clasificó como arcilla limosa según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) y como arcilla de baja plasticidad según la Asociación Americana de Carreteras y Transporte (AASHTO) A-6(6).



**Figura 4***Contenido de humedad natural*

*Nota.* Los resultados del análisis de humedad natural se presentan para la calicata N°01 con un 15.40%, la calicata N°02 con un 17.60% y la calicata N°03 con un 14.80%. La excavación número 02 en el punto kilométrico 01+500 presenta una elevada concentración de humedad.

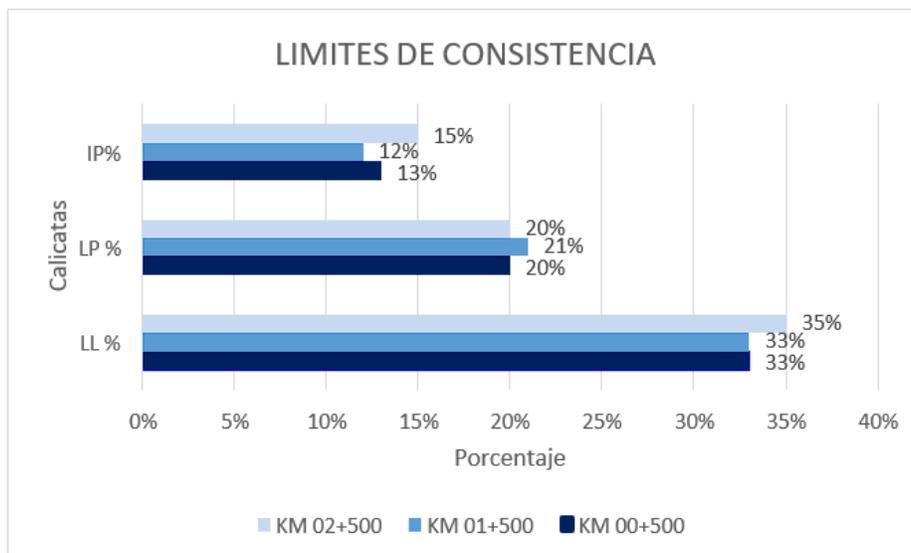
#### **4.2 Propiedades mecánicas**

Se considerarán las características físicas de tres muestras extraídas de las calicatas ubicadas en los kilómetros 00+500, 01+500 y 02+500, respectivamente, para evaluar sus propiedades mecánicas en pruebas de laboratorio.

#### **Límites de consistencia en estado natural**

**Tabla 5***Límites de consistencia*

| <b>LIMITES DE CONSISTENCIA</b> |                       |                        |                              |
|--------------------------------|-----------------------|------------------------|------------------------------|
| <b>Muestras</b>                | <b>Limite Liquido</b> | <b>Limite Plástico</b> | <b>Índice de Plasticidad</b> |
| CALICATA N°01                  | 33.00                 | 20.00                  | 13.00                        |
| CALICATA N°02                  | 33.00                 | 21.00                  | 12.00                        |
| CALICATA N°03                  | 35.00                 | 21.00                  | 15.00                        |

**Figura 5***Límites de consistencia*

*Nota.* En la primera excavación, el límite líquido fue del 33.00%, el límite plástico del 20.00% y el índice de plasticidad del 13.00%. En la segunda calicata, el límite líquido fue del 33.00%, el límite plástico del 21.00% y el índice de plasticidad del 12.00%. Por último, en la tercera excavación, el límite líquido fue del 35.00%, el límite plástico del 20.00% y el índice de plasticidad del 15.00%. El límite líquido se sitúa por debajo del 50%, lo cual señala la categorización de arcillas arenosas con escasa plasticidad, además, se observa un índice de plasticidad inferior al 20%.

## Compactación – Proctor Modificado

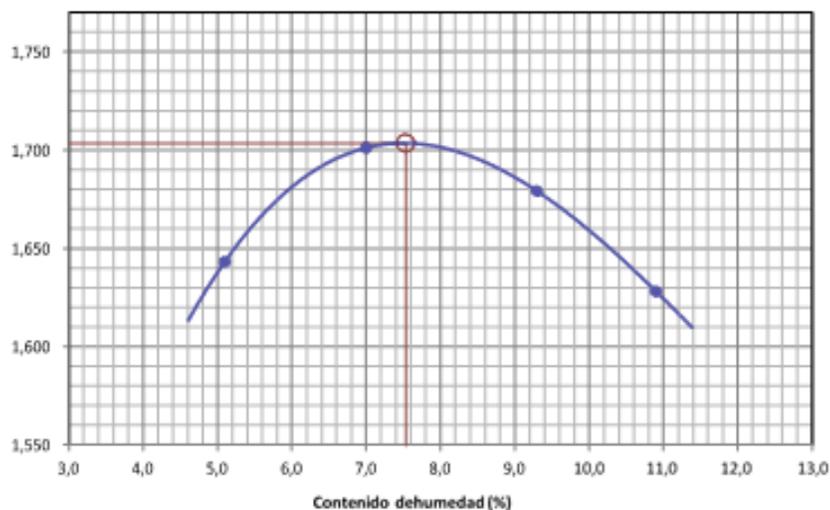
**Tabla 6**

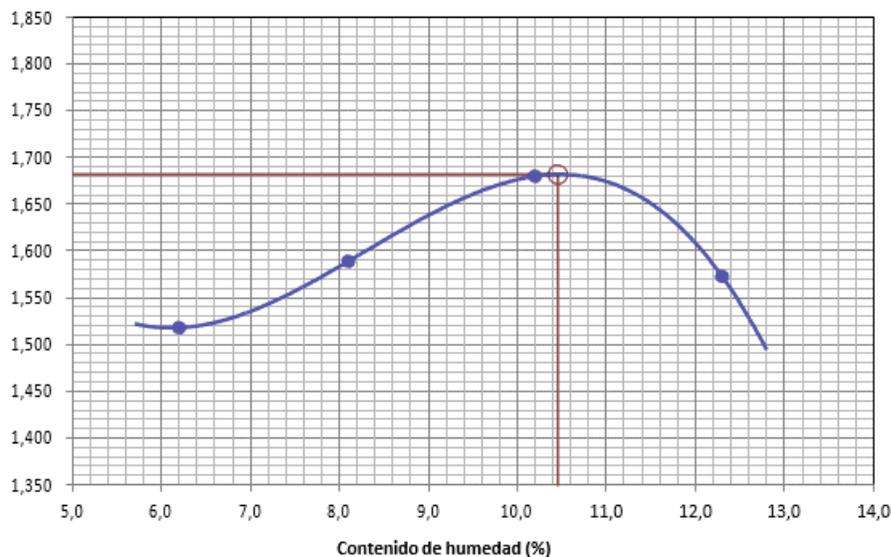
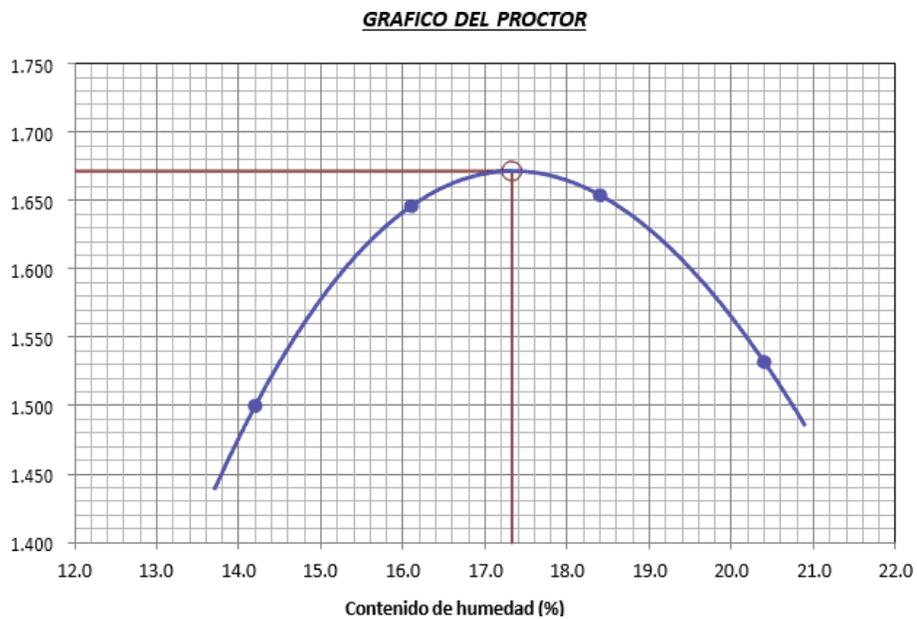
*Proctor modificado en estado natural*

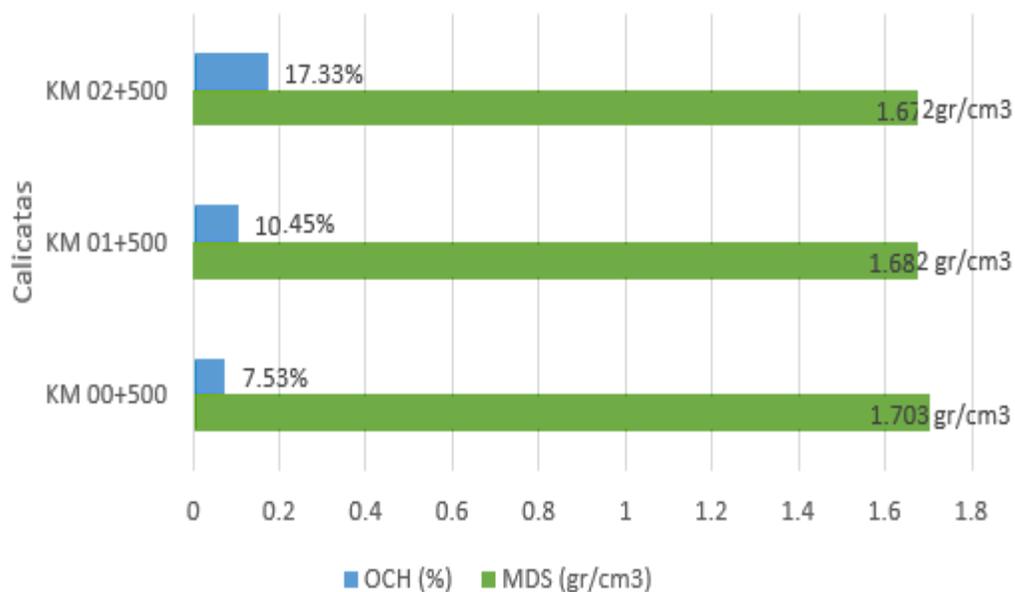
| PROCTOR STANDARD |  |                                 |
|------------------|--|---------------------------------|
| Muestras         | Máxima Densidad Seca (gr/cm <sup>3</sup> ) | Contenido de Humedad Optima (%) |
| CALICATA N°01    | 1.703                                      | 7.53                            |
| CALICATA N°02    | 1.682                                      | 10.45                           |
| CALICATA N°03    | 1.672                                      | 17.33                           |

**Figura 6**

*Proctor modificado de la calicata 01*



**Figura 7***Proctor modificado de la calicata 02***Figura 8***Proctor modificado de la calicata 03*

**Figura 9***Proctor modificado en estado natural*

*Nota.* La información de la excavación N°01 se muestra detalladamente en la tabla y en la figura adjunta. En la excavación número 02 se registró una densidad máxima en estado seco de 1.682 gramos por centímetro cúbico, con un nivel de humedad ideal del 10.45%. Por otro lado, en la excavación número 03 se observó una densidad máxima en estado seco de 1.672 gramos por centímetro cúbico, con un nivel de humedad óptimo del 17.33%. En otra ubicación se descubrió la mayor concentración de materia seca, alcanzando 1.703 gramos por centímetro cúbico, con un nivel ideal de humedad del 7.53%. La máxima compresión se logra en la excavación número 01, mientras que la mínima se encuentra en la excavación número 03.

## Valor relativo de soporte (CBR)

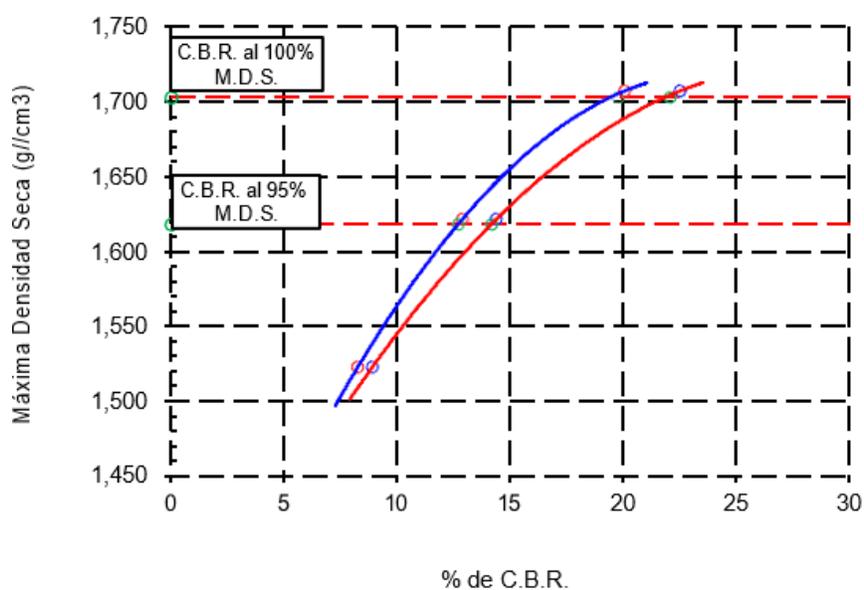
**Tabla 7**

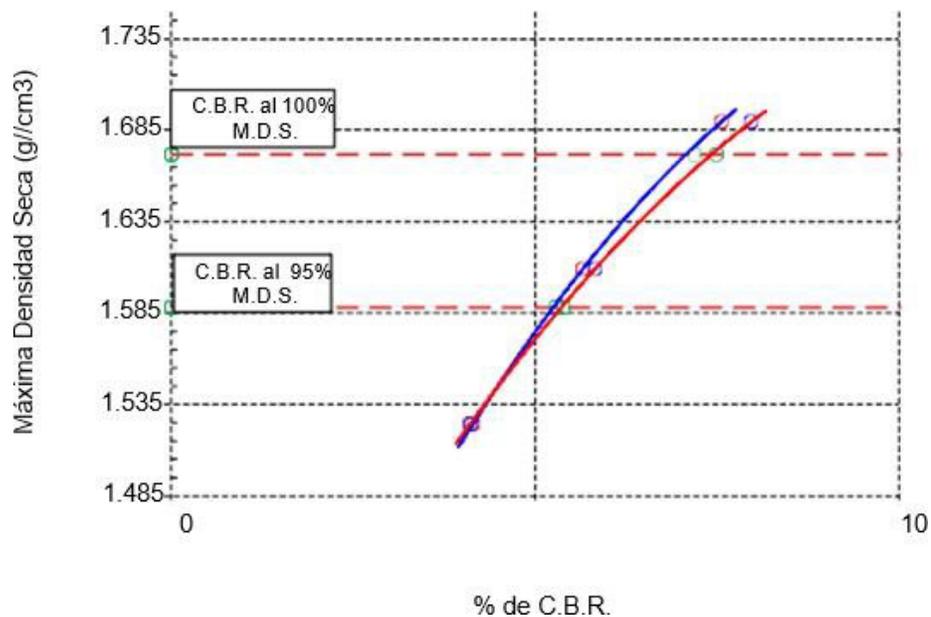
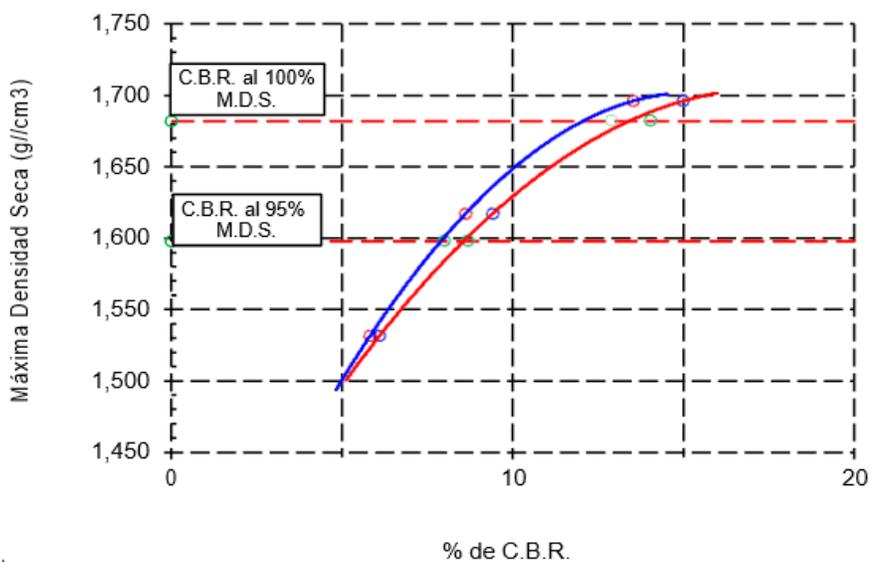
*Valor relativo de soporte (CBR) en estado natural*

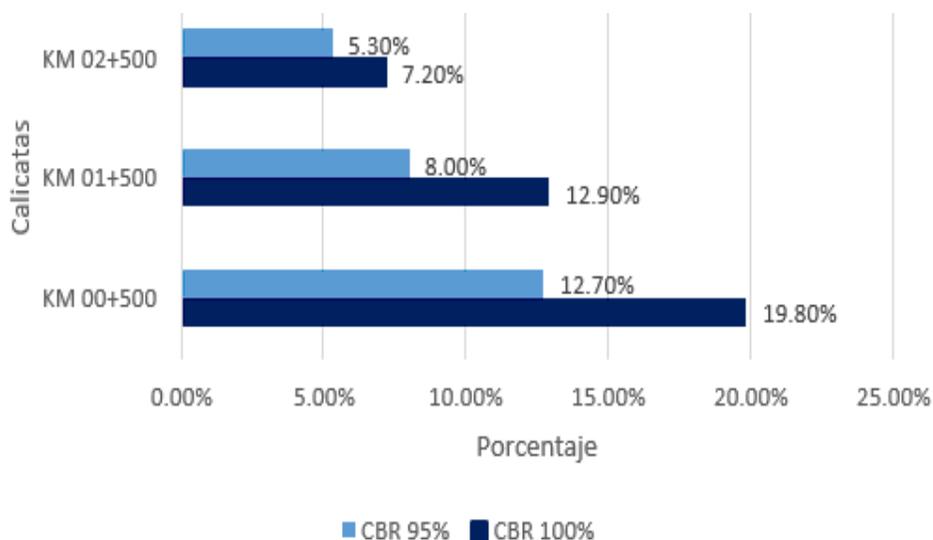
| VALOR RELATIVO DE SOPORTE (C.B.R.) |                    |                   |
|------------------------------------|--------------------|-------------------|
| Muestras                           | C.B.R. 01" al 100% | C.B.R. 01" al 95% |
| CALICATA N°01                      | 19.80%             | 12.70%            |
| CALICATA N°02                      | 12.90%             | 8.00%             |
| CALICATA N°03                      | 7.20%              | 5.30%             |

**Figura 10**

*CBR de la calicata 01*



**Figura 11***CBR de la calicata 02***Figura 12***CBR de la calicata 03*

**Figura 13***CBR en estado natural*

*Nota.* Los resultados del ensayo de CBR al 100% y al 95% de la máxima densidad seca se muestran en la tabla y la figura siguientes. En la calicata N°01, los valores fueron de 19.80% y 12.70%, respectivamente. Para la calicata N°02, se obtuvieron 12.90% y 8.00%, respectivamente, mientras que en la calicata N°03 se registraron 7.20% y 5.30%, respectivamente. La calicata 01 mostró una mayor capacidad de carga del suelo, pero se eligió la calicata N°03 como muestra representativa para el estudio debido a sus propiedades inferiores al combinarla con ceniza de totora.

### 4.3. Propiedades físicas con las dosificaciones

En relación a las características físicas, se consideran los análisis de laboratorio del suelo crítico natural (calicata 03) con la adición de distintas cantidades de ceniza de totora.

## Granulometría del suelo natural (SN) con la incorporación de 4% de ceniza de totora

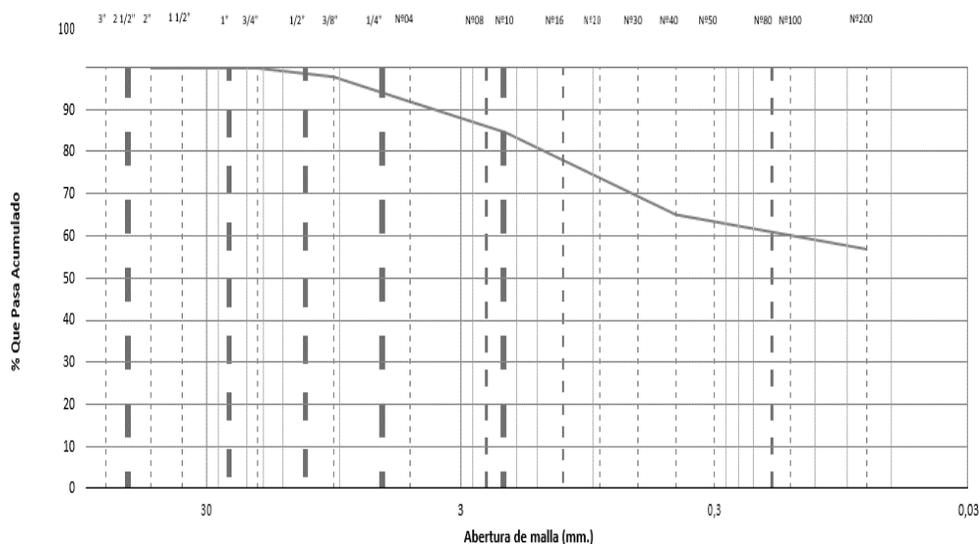
**Tabla 8**

*Granulometría del S.N. + 4% de ceniza de totora*

| TAMICES    |        | PESO<br>RETENIDO | % RETENIDO<br>PARCIAL | % RETENIDO<br>ACUMULADO | % QUE PASA |
|------------|--------|------------------|-----------------------|-------------------------|------------|
| (PUL<br>G) | (mm)   |                  |                       |                         |            |
| 3"         | 75,000 |                  |                       |                         |            |
| 2 1/2"     | 63,000 |                  |                       |                         |            |
| 2"         | 50,000 |                  |                       |                         |            |
| 1 1/2"     | 37,500 |                  |                       |                         |            |
| 1"         | 25,000 |                  |                       |                         |            |
| 3/4"       | 19,000 |                  |                       |                         | 100,0      |
| 1/2"       | 12,500 | 103,0            | 0,8                   | 0,8                     | 99,2       |
| 3/8"       | 9,500  | 154,3            | 1,3                   | 2,1                     | 97,9       |
| 1/4"       | 6,300  |                  |                       |                         |            |
| Nº04       | 4,750  | 713,2            | 5,9                   | 8,0                     | 92,0       |
| Nº08       | 2,360  |                  |                       |                         |            |
| Nº10       | 2,000  | 54,0             | 7,3                   | 15,3                    | 84,7       |
| Nº16       | 1,190  |                  |                       |                         |            |
| Nº20       | 0,850  | 67,0             | 9,1                   | 24,4                    | 75,6       |
| Nº30       | 0,600  |                  |                       |                         |            |
| Nº40       | 0,425  | 78,0             | 10,6                  | 34,9                    | 65,1       |
| Nº50       | 0,300  |                  |                       |                         |            |
| Nº80       | 0,177  |                  |                       |                         |            |
| Nº100      | 0,150  |                  |                       |                         |            |
| Nº200      | 0,075  | 61,0             | 8,3                   | 43,2                    | 56,8       |
| < Nº200    | FONDO  | 420,0            | 56,8                  | 100,0                   | 0,0        |

**Figura 14**

*Curva granulométrica con la incorporación del 4.0*



La composición original del suelo revela la presencia de un 4% de ceniza de totora, la cual está compuesta por un 8,0% de grava, un 35,2% de arena y un 56,8% de permeabilidad a través de una malla de tamaño 200. La tierra se categoriza de acuerdo al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS). De acuerdo con la normativa AASHTO A-6(6), se determinó que el terreno está compuesto por arcillas franco arenosas con baja plasticidad.

### Granulometría del suelo SN con la incorporación al 8%

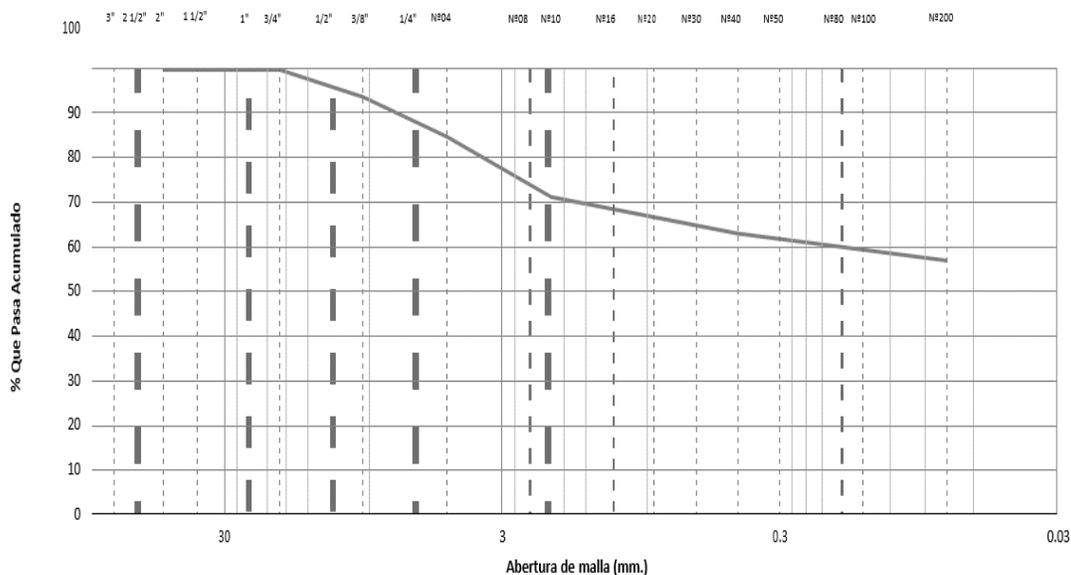
**Tabla 9**

*Granulometría del S.N. + 8% de ceniza de totora*

| TAMICES |        | PESO<br>RETENIDO | % RETENIDO<br>PARCIAL | % RETENIDO<br>ACUMULADO | % QUE<br>PASA |
|---------|--------|------------------|-----------------------|-------------------------|---------------|
| (PULG)  | (mm)   |                  |                       |                         |               |
| 3"      | 75,000 |                  |                       |                         |               |
| 2       | 63,000 |                  |                       |                         |               |
| 1/2"    |        |                  |                       |                         |               |
| 2"      | 50,000 |                  |                       |                         |               |
| 1       | 37,500 |                  |                       |                         |               |
| 1/2"    |        |                  |                       |                         |               |
| 1"      | 25,000 |                  |                       |                         |               |
| 3/4"    | 19,000 |                  |                       |                         |               |
| 1/2"    | 12,500 |                  |                       |                         | 100,0         |
| 3/8"    | 9,500  | 780,5            | 6,2                   | 6,2                     | 93,8          |
| 1/4"    | 6,300  |                  |                       |                         |               |
| Nº04    | 4,750  | 1115,3           | 8,8                   | 15,0                    | 85,0          |
| Nº08    | 2,360  |                  |                       |                         |               |
| Nº10    | 2,000  | 76,0             | 13,5                  | 28,5                    | 71,5          |
| Nº16    | 1,190  |                  |                       |                         |               |
| Nº20    | 0,850  |                  |                       |                         |               |
| Nº30    | 0,600  |                  |                       |                         |               |
| Nº40    | 0,425  | 45,6             | 8,1                   | 36,6                    | 63,4          |
| Nº50    | 0,300  |                  |                       |                         |               |
| Nº80    | 0,177  |                  |                       |                         |               |
| Nº100   | 0,150  |                  |                       |                         |               |
| 0       |        |                  |                       |                         |               |
| Nº200   | 0,075  | 34,2             | 6,1                   | 42,7                    | 57,3          |
| 0       |        |                  |                       |                         |               |
| < Nº200 | FONDO  | 322,2            | 57,3                  | 100,0                   | 0,0           |

**Figura 15**

*Curva granulométrica con la incorporación del 8.0%*



*Nota.* En la tabla se muestra cómo se distribuyen los diferentes tamaños de partículas en el suelo original, al que se le ha añadido un 8% de ceniza de totora. Este suelo está compuesto por un 15.0% de grava, un 27.7% de arena y un 57.3% que atraviesa la malla 200. De este modo, el terreno fue categorizado como CL de acuerdo al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos y como arcilla con arena poco plástica según las regulaciones de AASHTO A-6(6).

## Granulometría del suelo natural (SN) con la incorporación de 12% de ceniza de totora

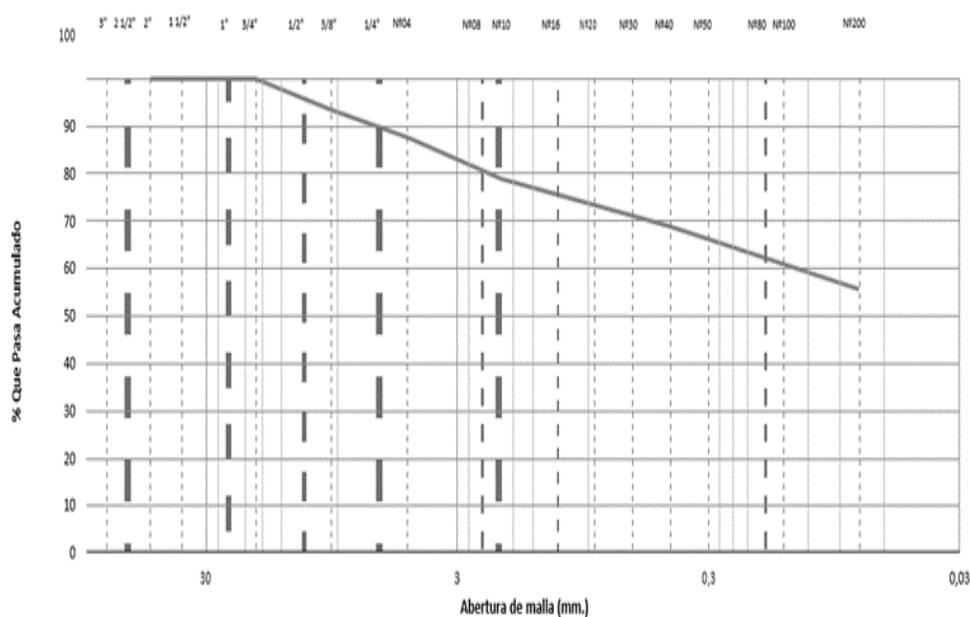
**Tabla 10**

*Granulometría del S.N. + 12% de ceniza de totora*

| TAMICES |        | PESO<br>RETENIDO | % RETENIDO<br>PARCIAL | % RETENIDO<br>ACUMULADO | % QUE<br>PASA |
|---------|--------|------------------|-----------------------|-------------------------|---------------|
| (PULG)  | (mm)   |                  |                       |                         |               |
| 3"      | 75,000 |                  |                       |                         |               |
| 2 1/2"  | 63,000 |                  |                       |                         |               |
| 2"      | 50,000 |                  |                       |                         |               |
| 1 1/2"  | 37,500 |                  |                       |                         |               |
| 1"      | 25,000 |                  |                       |                         |               |
| 3/4"    | 19,000 |                  |                       |                         |               |
| 1/2"    | 12,500 |                  |                       |                         | 100,0         |
| 3/8"    | 9,500  | 891,4            | 6,5                   | 6,5                     | 93,5          |
| 1/4"    | 6,300  |                  |                       |                         |               |
| Nº04    | 4,750  | 793,0            | 5,8                   | 12,3                    | 87,7          |
| Nº08    | 2,360  |                  |                       |                         |               |
| Nº10    | 2,000  | 97,0             | 8,8                   | 21,1                    | 78,9          |
| Nº16    | 1,190  |                  |                       |                         |               |
| Nº20    | 0,850  |                  |                       |                         |               |
| Nº30    | 0,600  |                  |                       |                         |               |
| Nº40    | 0,425  | 110,0            | 10,0                  | 31,1                    | 68,9          |
| Nº50    | 0,300  |                  |                       |                         |               |
| Nº80    | 0,177  |                  |                       |                         |               |
| Nº100   | 0,150  |                  |                       |                         |               |
| Nº200   | 0,075  | 145,4            | 13,2                  | 44,3                    | 55,7          |
| < Nº200 | FONDO  | 612,9            | 55,7                  | 100,0                   | 0,0           |

**Figura 16**

*Curva granulométrica con la incorporación del 12%*



Se presenta la distribución de tamaños de partículas del suelo original, enriquecido con un 12% de ceniza de espadaña, que está compuesto por un 12,3% de grava, un 32,0% de arena y un 55,7% que pasa a través de la malla 200. En consecuencia, el suelo fue categorizado como CL por el sistema SUCS y como A-6(5) por AASHTO, lo que indica que se trata de arcillas arenosas con una plasticidad reducida.

### Granulometría del SN con la incorporación de 16% de ceniza de totora

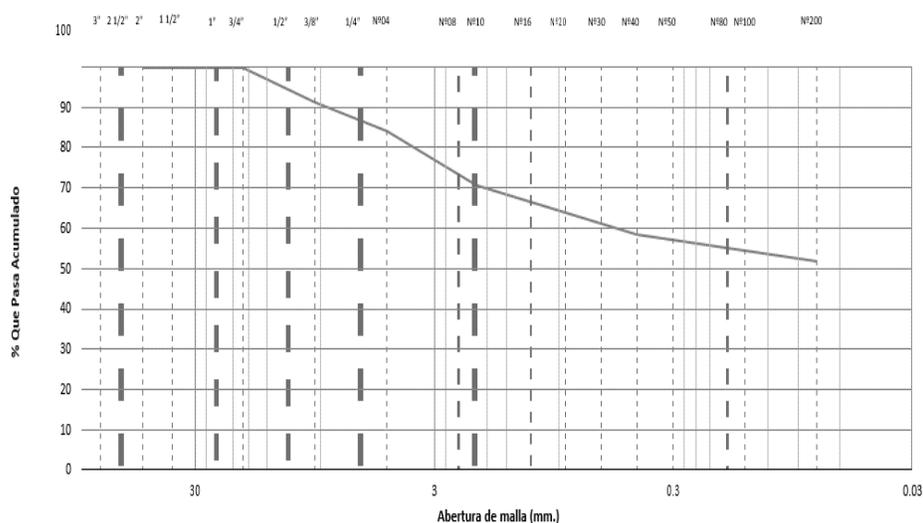
**Tabla 11**

*Granulometría del S.N. + 16% de ceniza de totora*

| TAMICES |        | PESO<br>RETENIDO | % RETENIDO<br>PARCIAL | % RETENIDO<br>ACUMULADO | % QUE<br>PASA |
|---------|--------|------------------|-----------------------|-------------------------|---------------|
| (PULG)  | (mm)   |                  |                       |                         |               |
| 3"      | 75,000 |                  |                       |                         |               |
| 2 1/2"  | 63,000 |                  |                       |                         |               |
| 2"      | 50,000 |                  |                       |                         |               |
| 1 1/2"  | 37,500 |                  |                       |                         |               |
| 1"      | 25,000 |                  |                       |                         |               |
| 3/4"    | 19,000 |                  |                       |                         |               |
| 1/2"    | 12,500 |                  |                       |                         | 100,0         |
| 3/8"    | 9,500  | 789,0            | 8,5                   | 8,5                     | 91,5          |
| 1/4"    | 6,300  |                  |                       |                         |               |
| N°04    | 4,750  | 653,5            | 7,1                   | 15,6                    | 84,4          |
| N°08    | 2,360  |                  |                       |                         |               |
| N°10    | 2,000  | 75,0             | 13,5                  | 29,1                    | 70,9          |
| N°16    | 1,190  |                  |                       |                         |               |
| N°20    | 0,850  |                  |                       |                         |               |
| N°30    | 0,600  |                  |                       |                         |               |
| N°40    | 0,425  | 67,4             | 12,2                  | 41,3                    | 58,7          |
| N°50    | 0,300  |                  |                       |                         |               |
| N°80    | 0,177  |                  |                       |                         |               |
| N°100   | 0,150  |                  |                       |                         |               |
| N°200   | 0,075  | 36,7             | 6,6                   | 47,9                    | 52,1          |
| < N°200 | FONDO  | 288,9            | 52,1                  | 100,0                   | 0,0           |

**Figura 17**

*Curva granulométrica con la incorporación del 16%*



*Nota.* La tabla exhibe la distribución de tamaños de partículas del suelo original junto con un aditivo de ceniza de totora al 16%, compuesto por 15.6% de grava, 32.3% de arena y 52.1% que pasa a través de la malla 200. De esta manera, se determinó que el suelo se clasifica como CL según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos y como limo arenoso de baja plasticidad con grava de acuerdo con la normativa AASHTO A-4(4).

### Contenido de humedad con las dosificaciones

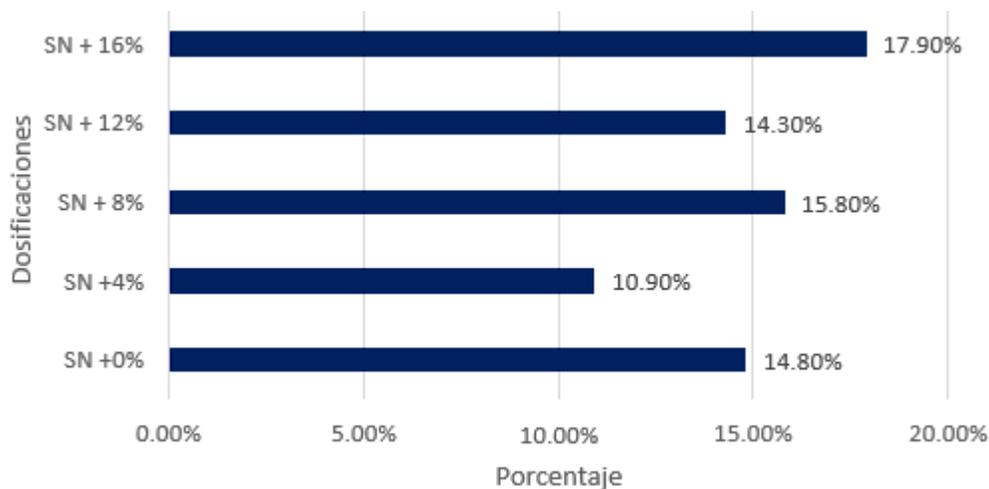
**Tabla 12**

*Contenido de humedad natural*

| CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL |                 |                         |
|------------------------------|-----------------|-------------------------|
| Muestras                     | PROFUNDIDAD (m) | Contenido de humedad(%) |
| SN +0%                       | 1.50            | 14.80%                  |
| SN +4%                       | 1.50            | 10.90%                  |
| SN + 8%                      | 1.50            | 15.80%                  |
| SN + 12%                     | 1.50            | 14.30%                  |
| SN + 16%                     | 1.50            | 17.90%                  |

**Figura 18**

*Contenido de humedad con las dosificaciones*



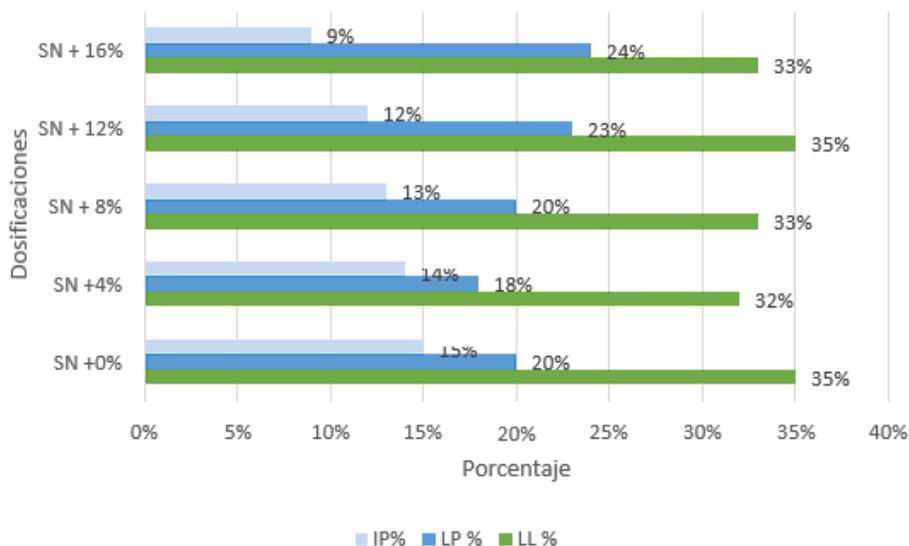
*Nota.* Los datos del análisis de humedad de la muestra más importante de la calicata N°03 se presentan en la tabla y gráfico siguientes. Se registró un contenido de humedad del 10.90% al agregar un 4%, del 15.80% al agregar un 8%, del 14.30% al agregar un 12%, y del 17.90% al agregar un 16%. La proporción con mayor humedad corresponde a la dosificación que incluyó un 16% de ceniza de totora.

### **Límite de consistencia con las dosificaciones**

**Tabla 13**

*Límites de consistencia con las dosificaciones*

| <b>LIMITES DE CONSISTENCIA</b> |                       |                        |                              |
|--------------------------------|-----------------------|------------------------|------------------------------|
| <b>Muestras</b>                | <b>Limite Liquido</b> | <b>Limite Plástico</b> | <b>Índice de Plasticidad</b> |
| SN +0%                         | 35.00                 | 20.00                  | 15.00                        |
| SN +4%                         | 32.00                 | 18.00                  | 14.00                        |
| SN + 8%                        | 33.00                 | 20.00                  | 13.00                        |
| SN + 12%                       | 35.00                 | 23.00                  | 12.00                        |
| SN + 16%                       | 33.00                 | 24.00                  | 9.00                         |

**Figura 19***Límites de consistencia en estado natural*

*Nota.* Los resultados de la prueba de viscosidad extrema se presentan para la calicata número 03, resaltando la muestra principal con la inclusión precisa del 4% de ceniza de junco. El porcentaje máximo de humedad es del 32%, el tope de maleabilidad es del 18%, el coeficiente de maleabilidad es del 14%. Al añadir un 8% de ceniza de espadaña, se consigue un límite líquido del 33%, y al incorporar un 12% de ceniza de espadaña, el tope de maleabilidad se eleva al 20%, logrando un coeficiente de maleabilidad del 13%. Se alcanzó un nivel de maleabilidad del 23% y un coeficiente de maleabilidad del 12%. Al añadir un 16% de ceniza de totora, se consiguió un nivel de fluidez del 33%, un nivel de maleabilidad del 24% y un coeficiente de maleabilidad del 9%. Se llevó a cabo la dosificación con menor plasticidad al agregar un 16% de ceniza de totora.

## Proctor Modificado

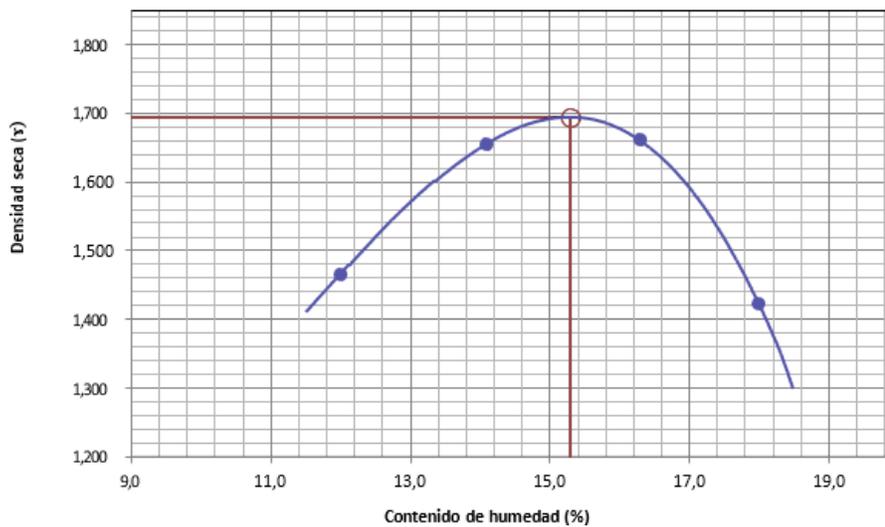
**Tabla 14**

*Proctor modificado con las dosificaciones*

| PROCTOR MODIFICADO |  |                                 |
|--------------------|--|---------------------------------|
| Muestras           | Máxima Densidad Seca (gr/cm <sup>3</sup> ) | Contenido de Humedad Optima (%) |
| SN +0%             | 1.672                                      | 17.33%                          |
| SN +4%             | 1.693                                      | 15.29%                          |
| SN + 8%            | 1.706                                      | 13.78%                          |
| SN + 12%           | 1.713                                      | 16.77%                          |
| SN + 16%           | 1.719                                      | 16.55%                          |

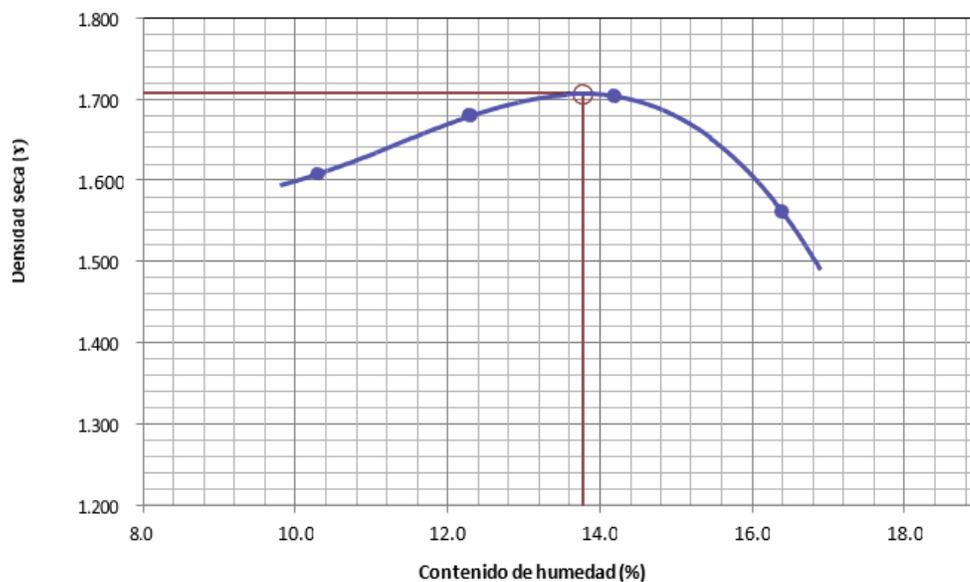
**Figura 20**

*Proctor modificado del SN + 4% de ceniza de totora*

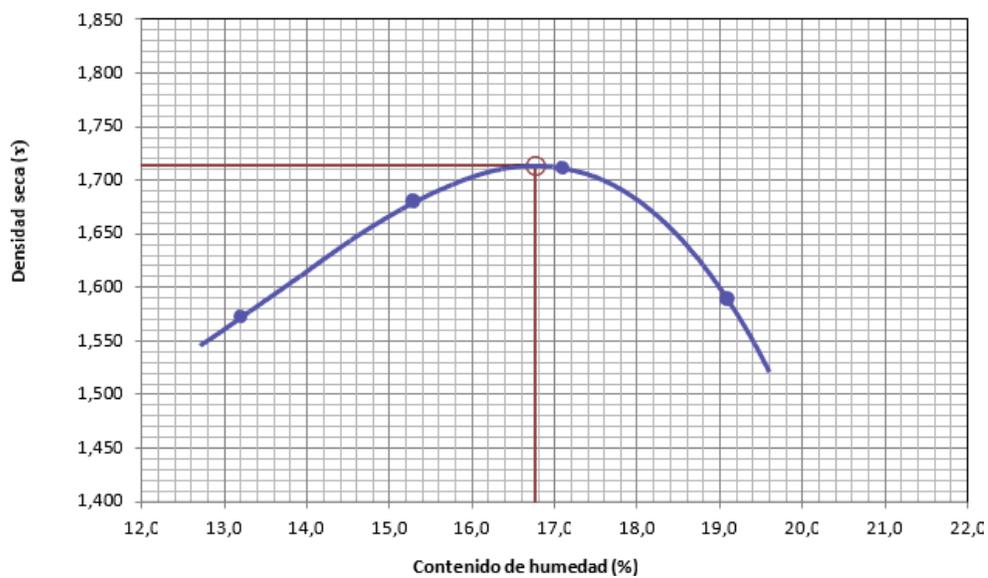


**Figura 21**

*Proctor modificado del SN + 8% de ceniza*

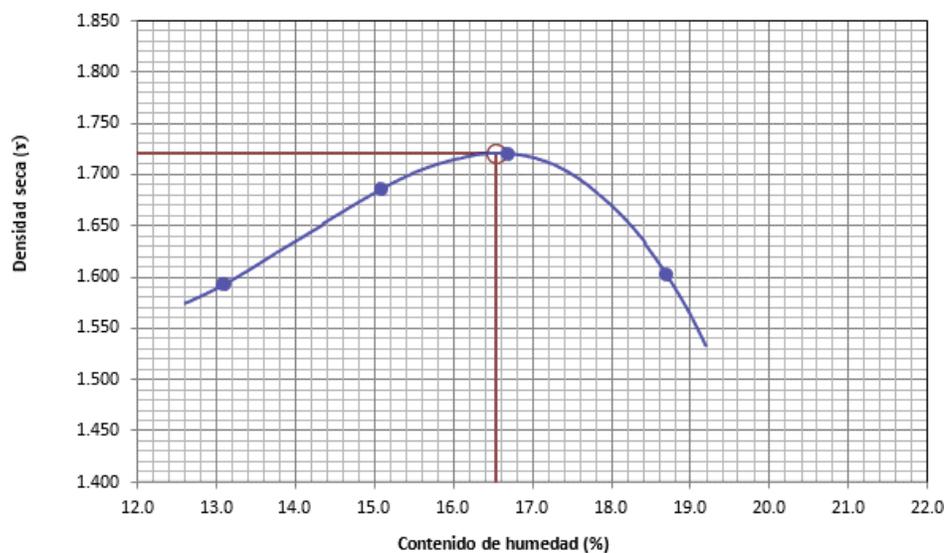
**Figura 22**

*Proctor modificado del SN + 12% de ceniza*

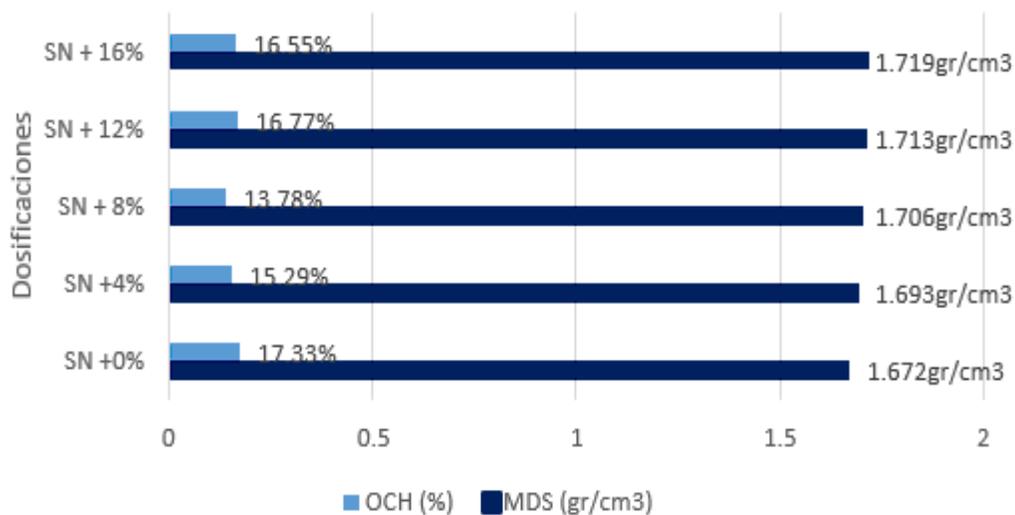


**Figura 23**

*Proctor modificado del SN + 16% de ceniza*

**Figura 24**

*Proctor modificado con las dosificaciones*



*Nota.* A partir de la tabla y la figura, se puede apreciar el resultado obtenido en el ensayo del proctor modificado realizado en la calicata crítica (03) con distintas proporciones.

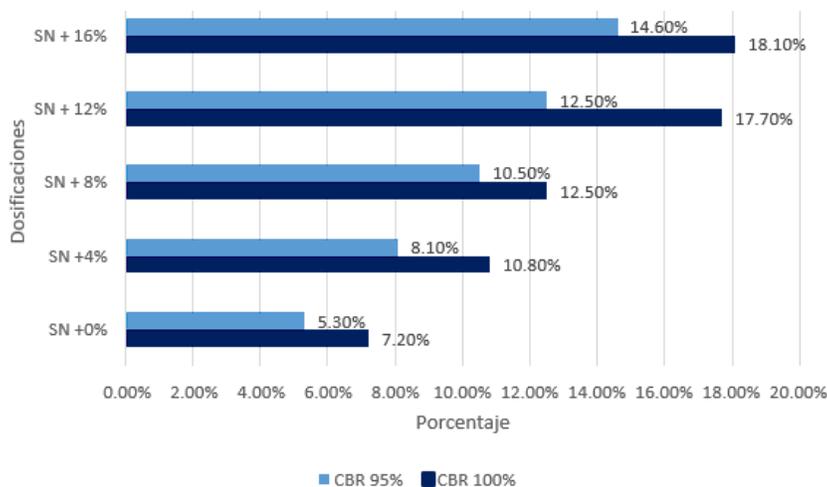
Al añadir un 4% de ceniza de totora, se logró una densidad seca máxima de 1.693 gr/cm<sup>3</sup> y un contenido de humedad óptimo del 15.29%. Con un 8% de ceniza de totora, la densidad seca máxima fue de 1.706 gr/cm<sup>3</sup> y el contenido de humedad óptimo fue del 13.78%. Al aumentar la proporción al 12% de ceniza de totora, se alcanzó una densidad seca máxima de 1.713 gr/cm<sup>3</sup> y un contenido de humedad óptimo del 16.77%. Finalmente, al utilizar un 16% de ceniza de totora, se logró una densidad seca máxima de 1.719 gr/cm<sup>3</sup> y un contenido de humedad óptimo del 16.55%. Se puede observar que al agregar un 16% de ceniza de totora se logra una mayor compresión en comparación con otras cantidades utilizadas.

### Valor relativo de soporte (CBR)

**Tabla 15**

*Valor relativo de soporte (CBR) con las dosificaciones*

| VALOR RELATIVO DE SOPORTE (C.B.R.) |                       |                      |
|------------------------------------|-----------------------|----------------------|
| Muestras                           | C.B.R. 01" al<br>100% | C.B.R. 01" al<br>95% |
| SN +0%                             | 7.20%                 | 5.30%                |
| SN +4%                             | 10.80%                | 8.10%                |
| SN + 8%                            | 12.50%                | 10.50%               |
| SN + 12%                           | 17.70%                | 12.50%               |
| SN + 16%                           | 18.10%                | 14.60%               |

**Figura 25***Valor relativo de soporte (CBR) en estado natural*

*Nota.* Se muestran los resultados de las pruebas CBR al 100% y 95% de la densidad seca máxima No. 03 en cada dosificación. Al incorporar 4% de ceniza de carrizo, el 100% de CBR del suelo natural pasa a ser 10,80% y el 95% pasa a ser 8,10%, al incorporar 8% de ceniza de junco, el 100% de CBR pasa a ser 12,50% y el 95% pasa a ser 10,50%. El 12% de ceniza de junco tuvo un CBR de 17,70%, el 95% tuvo un CBR de 12,50% y la incorporación de 16% de ceniza de junco tuvo un CBR de 18,10% para el 100% y 14,60% para el 95%. Esto indica que la capacidad de carga del suelo se logra en mayor medida con una adición del 16%.

### **Determinación de costos de producción**

El Pichu es una unidad de medida empleada por los habitantes locales, representa la cantidad de totora que se puede sujetar con las dos manos y su peso varía entre 8 y 12 kg, siendo tomado como 11 kg para fines de estudio. La cantidad de totora que se produce en una hectárea es de 100 toneladas, lo cual se traduce en 9091 picchu. En el mercado actual, una caña de azúcar tiene un valor de 2.00 soles, lo que significa que una tonelada de totora tiene un precio de 176 soles.

El 61,6% de la extensión de totora en el lago Titicaca se encuentra en Perú, mientras que el 38,4% corresponde a Bolivia. Entre los análisis de la caña de azúcar llevados a cabo se encuentran los realizados por PELT, ALT y el Proyecto de Biodiversidad Perú-Bolivia.

**Tabla 16**

*Producción de Totora en el lago Titicaca*

| <b>AÑO</b> | <b>BOLIVIA</b><br><b>hectáreas</b> | <b>PERU</b><br><b>hectáreas</b> | <b>Total</b> |
|------------|------------------------------------|---------------------------------|--------------|
|            | Sin datos                          | 52884                           |              |
| 1986       | 16940                              | 52070                           | 69010        |
| 1992       | 15338                              | 44090                           | 59428        |
| 2000 (2)   | 11989                              | 26640                           | 38629        |

### **Análisis de costos unitarios**

Se creó un desglose de los gastos de fabricación de ceniza de totora, considerando la cantidad de totora producida cada año en el lago Titicaca.

**Tabla 17**

*Costos de producción de ceniza de Totora*

| <b>Descripción de recurso</b> | <b>Precio S/. x</b> | <b>Precio S/. x</b> |
|-------------------------------|---------------------|---------------------|
|                               | <b>Ton</b>          | <b>Kg</b>           |
| Totora                        | 176                 | 0.176               |
| Traslado al horno             | 70                  | 0.07                |
| Incineración                  | 90                  | 0.09                |
| Mano de Obra (04) S/. 40 c/u  | 160                 | 0.16                |
| <b>TOTAL</b>                  | 496                 | 0.496               |

Tabla 18

Costos unitarios con cemento

| ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS                      |            |              |                                 |            |             |  |
|--|------------|--------------|---------------------------------|------------|-------------|--|
| CORTE DE MATERIAL DE TERRENO A NIVEL DE SUBRASANTE |            |              |                                 |            |             |  |
| m3/DIA   | 1,237.5000 | EQ. 250.0000 | Costo unitario directo por : m3 |            | 36.33       |  |
| Descripción Recurso                                | Unidad     | Cuadrilla    | Cantidad                        | Precio S/. | Parcial S/. |  |
| <b>Mano de Obra</b>                                |            |              |                                 |            |             |  |
| OPERARIO   | hh         | 0.0000       | 0.0000                          | S/. 19.81  | S/. 0.00    |  |
| CAPATAZ  | hh         | 0.3000       | 0.0019                          | S/. 25.75  | S/. 0.05    |  |
| PEON   | hh         | 3.0000       | 0.0194                          | S/. 14.72  | S/. 0.29    |  |
|  |            |              |                                 |            | S/. 0.34    |  |
| <b>Materiales</b>                                  |            |              |                                 |            |             |  |
| CEMENTO PORTLAND TIPO I                            | bls        |              | 1.3200                          | S/. 23.32  | S/. 30.78   |  |
| AGUA PARA LA OBRA                                  | m3         |              | 0.1200                          | S/. 0.32   | S/. 0.04    |  |
|  |            |              |                                 |            | S/. 30.82   |  |
| <b>Equipos</b>                                     |            |              |                                 |            |             |  |
| HERRAMIENTAS MANUALES                              | %MO        |              | 0.0030                          | S/. 0.25   | S/. 0.001   |  |
| EXCAVADORA SOBRE ORUGA                             | hm         | 1.0000       | 0.0065                          | S/. 307.07 | S/. 1.99    |  |
| TRACTOR SOBRE ORUGA                                | hm         | 0.5000       | 0.0032                          | S/. 289.80 | S/. 0.94    |  |
| RODILLO LISO VIBRATORIO                            | hm         | 1.0000       | 0.0065                          | S/. 147.36 | S/. 0.95    |  |
| MOTONIVELADORA                                     | hm         | 1.0000       | 0.0065                          | S/. 200.68 | S/. 1.30    |  |
|  |            |              |                                 |            | S/. 5.17    |  |

Tabla 19

Costos unitarios con ceniza de totora

| ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS                      |            |              |                                 |            |             |  |
|--|------------|--------------|---------------------------------|------------|-------------|--|
| CORTE DE MATERIAL DE TERRENO A NIVEL DE SUBRASANTE |            |              |                                 |            |             |  |
| m3/DIA   | 1,237.5000 | EQ. 250.0000 | Costo unitario directo por : m3 |            | 20.55       |  |
| Descripción Recurso                                | Unidad     | Cuadrilla    | Cantidad                        | Precio S/. | Parcial S/. |  |
| <b>Mano de Obra</b>                                |            |              |                                 |            |             |  |
| OPERARIO   | hh         | 0.0000       | 0.0000                          | S/. 19.81  | S/. 0.00    |  |
| CAPATAZ  | hh         | 0.3000       | 0.0019                          | S/. 25.75  | S/. 0.05    |  |
| PEON   | hh         | 3.0000       | 0.0194                          | S/. 14.72  | S/. 0.29    |  |
|  |            |              |                                 |            | S/. 0.34    |  |
| <b>Materiales</b>                                  |            |              |                                 |            |             |  |
| CENIZA DE TOTORA                                   | kg         |              | 30.0000                         | S/. 0.50   | S/. 15.00   |  |
| AGUA PARA LA OBRA                                  | m3         |              | 0.1200                          | S/. 0.32   | S/. 0.04    |  |
|  |            |              |                                 |            | S/. 15.04   |  |
| <b>Equipos</b>                                     |            |              |                                 |            |             |  |
| HERRAMIENTAS MANUALES                              | %MO        |              | 0.0030                          | S/. 0.25   | S/. 0.001   |  |
| EXCAVADORA SOBRE ORUGA                             | hm         | 1.0000       | 0.0065                          | S/. 307.07 | S/. 1.99    |  |
| TRACTOR SOBRE ORUGA                                | hm         | 0.5000       | 0.0032                          | S/. 289.80 | S/. 0.94    |  |
| RODILLO LISO VIBRATORIO                            | hm         | 1.0000       | 0.0065                          | S/. 147.36 | S/. 0.95    |  |
| MOTONIVELADORA                                     | hm         | 1.0000       | 0.0065                          | S/. 200.68 | S/. 1.30    |  |
|  |            |              |                                 |            | S/. 5.17    |  |

## V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

- En la investigación se consideraron antecedentes que compartían similitudes orgánicas, ya que hay pocos estudios sobre ceniza de totora, pero sí hay suficientes sobre elementos orgánicos. Considerando esto, coincide con el estudio de Espino (2021) que se adentró en la exploración de cómo la ceniza de madera puede ser utilizada para mejorar la estabilidad de suelos arcillosos, con el propósito de analizar el impacto de la materia orgánica en dicho proceso de estabilización. Tras el experimento, se descubrió que la ceniza de madera tiene un impacto importante en la estabilización del suelo, al igual que la ceniza de totora, según este estudio, mejora ciertas características físicas y mecánicas.
- Según el estudio de Terrones (2018), se llevó a cabo una investigación para mejorar la estabilidad de suelos con alto contenido de arcilla y limo mediante la adición de ceniza de bagazo de caña en proporciones del 5%, 10% y 15%. En el estudio se utilizaron diferentes cantidades de ceniza de totora: 4%, 8%, 12% y 16%, las cuales tienen un impacto notable, especialmente al añadir el 16% adicional. De esta manera, llegan a la conclusión de que las cenizas de los elementos naturales enriquecen las características del suelo, beneficiando la construcción de carreteras, al tratarse de un subproducto de materiales orgánicos.
- En su estudio, Gavancho y Quinte (2021) se propusieron averiguar cómo la ceniza de eucalipto podría contribuir a estabilizar la capa inferior del suelo. Coincide con el estudio actual en relación a las pruebas utilizadas, los autores lograron obtener un incremento del 10% en la calidad del suelo como resultado. El CE incrementa la MDS en un 10.45% y reduce el IP en un 54.97%, eleva el CBR en un 385.14% y el MR en un 157.94%. No obstante, en este estudio, la mezcla más eficiente se logró al agregar un 16%, con un IP del 9%, una densidad seca máxima de 1.719 gr/cm<sup>3</sup>, un contenido de humedad óptimo del 16.55% y un CBR del 18.10%.

Tantos estudios coinciden en que añadir ceniza orgánica mejora las características de la capa inferior.

- En el estudio realizado por Capuñay y Pastor (2020), se llevó a cabo una investigación con el propósito de examinar las propiedades físicas y mecánicas de suelos al incorporar ceniza de bagazo de caña de azúcar en proporciones del 25%, 35% y 45%. Se empleó un método basado en números con un diseño experimental aplicado y un nivel explicativo en la metodología, lo cual permitió identificar disparidades en el CBR y en el nivel de humedad presente. Después de realizar el análisis, se determinó que al agregar un 35% de ceniza, se obtuvo un CBR de 17.91%, un OCH de 8.07% y un MDS de 1752 kg/cm<sup>2</sup> para arenas mal graduadas. Por otro lado, al incluir un 45% de arena limosa, el CBR fue de 15.80%, mientras que para el limo orgánico fue de 12.59%. Se puede concluir que la presencia de ceniza de bagazo de caña de azúcar potencia las características de la capa inferior del suelo.
- En su estudio, Gálvez y Santoyo (2019) llevaron a cabo una investigación con el objetivo de estabilizar suelos cohesivos mediante el uso de ceniza de cáscara de arroz para mejorar las características del terreno. Se probaron concentraciones del 3%, 10% y 15%, y se observó que la resistencia aumentó a medida que se incrementaba la dosis: 6,68% con la primera dosis, 10,93% con la segunda y 13,77% con la tercera. Durante este estudio, la resistividad del suelo experimentó cambios conforme se incorporaban distintas proporciones de ceniza: 10.80% con 4% de ceniza, 12.50% con 8% de ceniza, 17.70% con 12% de ceniza y 18.10% con 16% de ceniza. Tras analizar la situación, llegaron a la conclusión de que al añadir ceniza proveniente de cáscaras de arroz y de espadaña al terreno, se lograba una mejora en sus características.
- En el estudio llevado a cabo por Morales (2015), se examinaron las propiedades mecánicas del suelo al añadir cenizas de carbón en concentraciones del 7%, 14% y 21%. Se emplearon diferentes cantidades de ceniza de espadaña, variando entre el 4% y el 16%, dependiendo del nivel de humedad, los límites de consistencia, las pruebas de compactación y el CBR. Tras llevar a cabo la investigación, se encontró que, al combinar ceniza orgánica con suelos de arcilla y arena, se lograba potenciar las propiedades del suelo.

## VI. CONCLUSIONES

- 6.1. Se decidió que, con el fin de examinar las cualidades de la base de la carretera, se estudió la muestra más relevante para mezclar con distintas cantidades de ceniza de totora y determinar qué atributos se mejoran y cuáles no. Por lo tanto, se incorporaron porcentajes de 04%, 08%, 12% y 16% de ceniza orgánica.
- 6.2. Al añadir el 4%, se logró un nivel de humedad del 10.90%, un límite de liquidez del 32%, un límite de plasticidad del 18% y un índice de plasticidad del 14%. La máxima densidad seca alcanzó los 1.693 gr/cm<sup>3</sup>, con un contenido de humedad ideal del 15.29%. El CBR fue del 10.80% al 100% y del 8.10% al 95%. Al añadir el 8%, se logró un nivel de humedad del 15.80%, un límite de liquidez del 33%, un límite de plasticidad del 20% y un índice de plasticidad del 13%. Además, se alcanzó una densidad máxima en seco de 1.706 gr/cm<sup>3</sup> y un contenido de humedad óptimo del 13.78%. El CBR fue del 12.50% al 100% y del 10.50% al 95%. Al añadir el 12%, se logró un nivel de humedad del 14.30%, un límite de fluidez del 35%, un límite de plasticidad del 23% y un índice de plasticidad del 12%. La densidad máxima en seco fue de 1.713 gr/cm<sup>3</sup>, con un nivel de humedad ideal del 16.77%. El CBR alcanzó el 17.70% al 100% y el 12.50% al 95%. Al añadir el 16%, se logró un nivel de humedad del 17.90%, un límite de liquidez del 33%, un límite de plasticidad del 24% y un índice de plasticidad de 9%. La máxima densidad seca alcanzó los 1.719 gr/cm<sup>3</sup> con un contenido de humedad óptimo de 16.55%. El CBR fue del 18.10% al 100% y del 14.60% al 95%.
- 6.3. Se determina que la dosificación óptima consiste en agregar un 16% de ceniza de totora, ya que potencia tanto las características físicas como mecánicas, además de incrementar la capacidad de soporte del suelo a nivel de subrasante.
- 6.4. Se llegó a la conclusión de que emplear ceniza de totora como agente estabilizador resulta

más económico que utilizar materiales como el cemento, especialmente considerando la abundancia de totora en las cercanías del lago Titicaca. Al emplear cemento Portland tipo I, el costo individual por cada metro cúbico es de S/. 36.33, mientras que el precio por cada metro cúbico de ceniza de totora es de S/. 20.55. De este modo, el uso de ceniza de totora para la estabilización resulta ser una opción más rentable, siendo así una alternativa sumamente económica.

## VII. RECOMENDACIONES

- 7.1 Se plantea la posibilidad de extender el estudio sobre el uso de ceniza de totora para mejorar la base de la carretera Ccota-Quipata a diferentes ubicaciones, con el fin de determinar su viabilidad como una opción para fortalecer terrenos.
- 7.2 Se recomienda que las muestras de cenizas orgánicas estén libres de cualquier sustancia o elemento ajeno que pueda interferir en el proceso de análisis.
- 7.3 Se recomienda utilizar los componentes naturales presentes en las zonas donde se produce la consolidación del suelo para estudiar su desempeño, con el fin de utilizarlos como agentes que estabilizan y, de esta manera, disminuir los gastos relacionados con la estabilización.
- 7.4 Se sugiere que las organizaciones en su totalidad tomen en cuenta las investigaciones como herramientas en los proyectos de ingeniería, con el objetivo de beneficiar a la sociedad y, en consecuencia, elevar su nivel de bienestar.
- 7.5 En lo que respecta al empleo de la ceniza de totora para la estabilización de terrenos, se aconseja su utilización con mesura, ya que un uso excesivo podría causar daños al entorno natural, afectando negativamente al ecosistema.

## VIII. REFERENCIAS

- Andaluz, R. y Portilla F. (2022). *Estudio del efecto de la ceniza de cascara de arroz en las propiedades fisico-mecánicas en suelos finos de subrasante*. [Tesis de pregrado, Universidad Técnica de Ambato]. Repositorio Institucional UTA. <https://repositorio.uta.edu.ec/items/98e5a256-0af7-465d-a4c2-b6d271c4eaa2>
- Borrego, S. (2018). *Investigación estadística, Población y Muestra*. [https://archivos.csif.es/archivos/andalucia/ensenanza/revistas/csicsif/revista/pdf/Numero\\_12/SILVIA\\_BORREGO\\_1.pdf](https://archivos.csif.es/archivos/andalucia/ensenanza/revistas/csicsif/revista/pdf/Numero_12/SILVIA_BORREGO_1.pdf)
- Camelo, A. y Gonzales, H. (2021). *Propiedades resilientes de subrasantes granulares estabilizadas con ceniza volante para diseño de pavimentos flexibles*. [Tesis de pregrado, Universidad Católica de Colombia]. Repositorio Institucional UCATÓLICA. <https://repository.ucatolica.edu.co/entities/publication/2f1ee1e5-bb47-4907-a12f-fd64f4ede18a>
- Capuñay, C. y Pastor, C. (2020). *Estabilización de suelos con cenizas de bagazo de caña de azúcar para uso como subrasante mejorada en los pavimentos de Chimbote*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Santa]. Repositorio Institucional UNS. <https://repositorio.uns.edu.pe/handle/20.500.14278/3754>
- Duque, G. y Escobar, C. (2002). *Texto para la asignatura de Mecánica de Suelos I, del Programa de Ingeniería Civil*.
- Espinace, R. y Sanhueza (2004). *Texto guía para la cátedra de mecánica de suelos*.
- Hernandez, J. (2008). *Características físicas y propiedades mecánicas de los suelos y sus métodos de medición*. [Tesis de pregrado, Universidad de San Carlos de Guatemala]. Repositorio Institucional USAC.

- [https://efaidnbmnnnibpcajpcgglefindmkaj/http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08\\_2861\\_C.pdf](https://efaidnbmnnnibpcajpcgglefindmkaj/http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_2861_C.pdf)
- Gavancho, F. y Quinte, M. (2021). *Estabilización de subrasante con cenizas de eucalipto, paraje turístico Piedra Parada, Concepción, Junín 2021*. [Tesis de pregrado, Universidad Continental]. Repositorio Institucional UC. <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/11362>
- Galvez, P. y Santoyo, J. (2019). *Estabilización de suelos cohesivos a nivel de subrasante con ceniza de cáscara de Arroz, Carretera Yanuyacu bajo –señor cautivo*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Jaen]. Repositorio Institucional UNJ. <https://repositorio.unj.edu.pe/handle/UNJ/232?locale=es>
- Gutiérrez, E. y Vladimirovna, O. (2016). *Estadística Inferencial 1: para Ingeniería y Ciencias*. Grupo editorial Patria.
- Guerrero, G. y Guerrero, M. (2014). *Metodología de la investigación*. Grupo editorial Patria.
- Ministerio de Transporte y Comunicaciones. (2018). *Glosario de Términos de uso frecuente en proyectos de infraestructura vial*.
- Laguna, O. y Chacón, J. (2020). *Análisis comparativo del comportamiento a la resistencia de un suelo fino con adición de ceniza de cascarilla de arroz y ceniza de cascarilla de café*. [Tesis de pregrado, Universidad Piloto de Colombia]. Repositorio Institucional UPC. <https://repository.unipiloto.edu.co/handle/20.500.12277/9352>
- Ramos, B. y Quintero, I. (2017). *Análisis de la modificación de un suelo altamente plástico con cascarilla de arroz y ceniza volante para subrasante de un pavimento*. [Tesis de pregrado, Universidad de La Salle]. Repositorio Institucional ULASALLE. <https://ciencia.lasalle.edu.co/items/7a6c40fe-e1bb-4d87-ad31-5a8fe6c1e3d1>
- Rey, E. (2017). *Cenizas de fondo de carbón: problemática, caracterización y uso como árido en morteros y hormigones*. [Tesis de pregrado, Universidad de Coruña]. Repositorio Institucional UDC. <https://ruc.udc.es/dspace/handle/2183/19579>

Rodríguez, W. (2020). *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica Suelos y Cimentaciones*. Unidad Profesional Interdisciplinaria de Ingeniería.

Terrones, A. T. (2018). *Estabilización de suelos arcillosos adicionando cenizas de bagazo de caña para el mejoramiento de subrasante. En El Sector Barraza, Trujillo – 2018*. [Tesis de pregrado, Universidad Privada del Norte]. Repositorio Institucional UPN. <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/14971>

Valderrama, S. (2013). *Pasos para elaborar proyectos de investigación científica: cuantitativa, cualitativa y mixta*. San Marcos.

Zapata, R. (2018). *Tipos de suelos: Caracterización de suelos arcillosos y limosos*.

## **IX. ANEXOS**

## ANEXO A: MATRIZ DE CONSISTENCIA

| VARIABLE   |  | PROBLEMA GENERAL   | PROBLEMAS ESPECIFICOS  | OBJETIVO GENERAL  | OBJETIVO ESPECIFICO   | HIPOTESIS GENERAL   | HIPOTESIS ESPECIFICAS  |
|--|--|--|--|---|---|---|--|
| INDEPENDIENTE  | Ceniza de totora   | ¿La incorporación de cenizas volátiles de totora utilizadas para mejorar los suelos de la subrasante en la trocha carrozable Ccota – Quipata, Puno tendrán resultados efectivos incrementado la resistencia? | ¿De qué forma influye la incorporación de cenizas volátiles de totora o de icchu, en las propiedades físicas de la subrasante de la trocha carrozable Ccota – Quipata, Puno?   | Analizar la incorporación de cenizas Volátiles de totora o de Icchu en la estabilización de suelos de fundación conformados como subrasante para la trocha carrozable Ccota – Quipata, Puno 2023. | Analizar la incorporación de cenizas de totora en las propiedades físicas de la subrasante de la trocha carrozable Ccota – Quipata. Puno 2023.  | La incorporación de ceniza volátil de totora estabiliza suelos de fundación alto andinos para conformar subrasante en la trocha carrozable Ccota – Quipata, Puno. | La incorporación de ceniza de totora mejora las propiedades físicas del terreno de fundación y de la subrasante mejorada de la trocha carrozable Ccota – Quipata. Puno.                              |
|  |  |  | ¿La incorporación de ceniza volátil de totora o de icchu, podrá mejorar las propiedades mecánicas de la subrasante de la trocha carrozable Ccota – Quipata, Puno?  |   | Analizar la incorporación de ceniza de totora en las propiedades mecánicas de la subrasante de la trocha carrozable Ccota – Quipata. Puno 2023. |   | La incorporación de ceniza de totora incrementa las propiedades mecánicas del terreno de fundación incrementado el valor soporte CBR de la subrasante de la trocha carrozable Ccota – Quipata. Puno. |
| ¿Se podrá determinar el porcentaje apropiado de ceniza volátil de totora o de icchu, para adicionar al suelo de fundación de la trocha carrozable Ccota-Quipata, Puno?   | Dosificar la adición de ceniza de totora o de plantas de alta altura, fibrosas como es el caso del ICCHU para lograr el valor óptimo que sirva de partida para realizar mejoramientos de suelos. |  | La dosificación adecuada de adición de ceniza volátil de totora o de plantas de alta de zonas altoandinas (Icchu) incrementa la serviciabilidad de la trocha carrozable.   |   |   |   |  |
| ¿Cómo repercute en el costo de conformación del terreno de fundación, la aplicación de cenizas volátiles de totora o de icchu en la estabilización de suelos de fundación para conformación de subrasante de la trocha carrozable Ccota – Quipata, Puno? | Analizar el costo de la aplicación de cenizas de totora en la estabilización de suelos de la subrasante de la trocha carrozable Ccota – Quipata. Puno 2023.                                      |  | El costo de la aplicación de la ceniza volátil de totora para estabilización de suelos del terreno de fundación, subrasante para la trocha carrozable Ccota – Quipata es mínimo comparado con el incremento de la serviciabilidad y vida útil. |   |   |   |  |
| DEPENDIENTE  | Estabilización de la subrasante  |  |  |   |   |   |  |