



FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

MEJORAMIENTO DE SUBRASANTE DE BAJA CAPACIDAD SOPORTE PARA
INCREMENTAR EL VALOR DE CBR EN TROCHA CARROZABLE ADICIONANDO
CENIZA VOLATIL DE TOTORA, PUNO, 2023

Línea de investigación:

Seguridad vial e infraestructura de transporte

Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Civil

Autor:

Curo Leon, Jose Luis

Asesor:

Aybar Arriola, Gustavo Adolfo

ORCID: 0000-0001-8625-3989

Jurado:

Arevalo Vidal, Samir Augusto

Ayquipa Quispe, Evelyn Estefany

Cancho Zuñiga, Gerardo Enrique

Lima - Perú

2024



“MEJORAMIENTO DE SUBRASANTE DE BAJA CAPACIDAD SOPORTE PARA INCREMENTAR EL VALOR DE CBR EN TROCHA CARROZABLE ADICIONANDO CENIZA VOLÁTIL DE TOTORA, PUNO, 2023”

INFORME DE ORIGINALIDAD

27%

INDICE DE SIMILITUD

27%

FUENTES DE INTERNET

2%

PUBLICACIONES

17%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	22%
2	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante	1%
3	docs.lib.purdue.edu Fuente de Internet	1%
4	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	<1%
5	repositorio.utea.edu.pe Fuente de Internet	<1%
6	Teerat Tesanasin, Cherdsak Suksiripattanapong, Bui Van Duc, Wisitsak Tabyang et al. "Engineering properties of marginal lateritic soil stabilized with one-part high calcium fly ash geopolymers as pavement	<1%



FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

**MEJORAMIENTO DE SUBRASANTE DE BAJA CAPACIDAD SOPORTE PARA
INCREMENTAR EL VALOR DE CBR EN TROCHA CARROZABLE ADICIONANDO
CENIZA VOLATIL DE TOTORA, PUNO, 2023**

Linea de Investigacion:

Seguridad Vial e Infraestructura de Transporte

Modalidad de Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil

Autor:

Curo Leon, Jose Luis

Asesor:

Aybar Arriola, Gustavo Adolfo

(ORCID: 0000-0001-8625-3989)

Jurado:

Arevalo Vidal, Samir Augusto

Ayquipa Quispe, Evelyn Estefany

Cancho Zuñiga, Gerardo Enrique

Lima – Perú
2024

Dedicatoria

A mi familia por apoyarme; mi madre que siempre estuvo presente en mi estudio profesional, A mi padre que del cielo me guía y un agradecimiento muy especial a mi amada compañera e hijas que son mi motor y motivo de mi vida.

Agradecimiento

A mis docentes de la facultad de Ingeniería Civil de la UNFV que impulsaron mi desarrollo profesional en todo momento y me acercaron a esta meta tan importante de mi vida Ingeniero Civil.

Tabla de contenido

RESUMEN	8
ABSTRACT.....	9
I. INTRODUCCIÓN.....	10
1.1 Descripción y formulación del problema.....	11
1.1.1 Problema general.....	11
1.1.2 Problema específico	11
1.2 Antecedentes.....	12
1.2.1 En el ámbito internacional	12
1.2.2 En el ámbito nacional.....	13
1.3. Objetivos.....	14
1.3.1 Objetivo general.....	14
1.1.2 Objetivos específicos.....	14
1.4 Justificación e importancia	14
1.5 Hipótesis	15
1.5.1 Hipótesis general:.....	15
1.5.2 Hipótesis específicas	15
II. MARCO TEÓRICO.....	16
2.1 Bases teóricas.....	16
III. MÉTODO.....	18

3.1 Tipo de investigación.....	18
3.2 Ámbito temporal y espacial	18
3.4 Población y muestra.....	19
3.5 Instrumentos	19
3.6 Procedimientos	19
3.7. Análisis de datos	20
3.8 Consideración ética.....	20
IV. RESULTADOS.....	21
V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	51
VI. CONCLUSIONES	56
VII. RECOMENDACIONES.....	58
VIII. REFERENCIAS.....	59

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Ubicación geográfica.....	25
Figura 2: Curva granulométrica de la progresiva del km 00+450	28
Figura 3: Curva granulométrica de la progresiva del km 01+500	29
Figura 4: Curva granulométrica de la progresiva del km 02+450	30
Figura 5: Contenido de humedad natural.....	31
Figura 6: Límites de consistencia en estado natural	32
Figura 7: Proctor modificado de la calicata 01	33
Figura 8: Proctor modificado de la calicata 02	33
Figura 9: Proctor modificado de la calicata 03	34
Figura 10: Proctor modificado en estado natural.....	34
Figura 11: Valor relativo de soporte (CBR) de la calicata 01.....	35
Figura 12 Valor relativo de soporte (CBR) de la calicata 02.....	36
Figura 13: Valor relativo de soporte (CBR) de la calicata 03.....	36
Figura 14: Valor relativo de soporte (CBR) en estado natural	37
Figura 15: Curva granulométrica con la incorporación del 4.0%.....	38
Figura 16: Curva granulométrica con la incorporación del 8.0%.....	39
Figura 17: Curva granulométrica con la incorporación del 12%.....	40
Figura 18: Curva granulométrica con la incorporación del 16%.....	41
Figura 19: Contenido de humedad con las dosificaciones.....	42
Figura 20: Límites de consistencia en estado natural	44
Figura 21: Proctor modificado del SN + 4% de ceniza de totora	45
Figura 22: Proctor modificado del SN +8% de ceniza de totora	46
Figura 23: Proctor modificado del SN + 12% de ceniza de totora	46
Figura 24: Proctor modificado del SN + 16% de ceniza de totora	47
Figura 25: Proctor modificado con las dosificaciones.....	47
Figura 26: CBR del SN + 4% ceniza de totora	48
Figura 27: CBR del SN +8% ceniza de totora	49
Figura 28: CBR del SN + 12% ceniza de totora	49
Figura 29: CBR del SN + 16% ceniza de totora	50
Figura 30: Valor relativo de soporte (CBR) en estado natural	50

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Granulometría de la progresiva del km 00+450	27
Tabla 2: Granulometría de la progresiva del km 01+500	28
Tabla 3: Granulometría de la progresiva del km 02+450	29
Tabla 4: Contenido de humedad natural	30
Tabla 5: Límites de consistencia en estado natural.....	31
Tabla 6: Proctor modificado en estado natural	32
Tabla 7: Valor relativo de soporte (CBR) en estado natural.....	35
Tabla 8: Granulometría del S.N. + 4% de ceniza de totora	38
Tabla 9: Granulometría del S.N. + 8% de ceniza de totora.	39
Tabla 10: Granulometría del S.N. + 12% de ceniza de totora	40
Tabla 11: Granulometría del S.N. + 16% de ceniza de totora	41
Tabla 12: Contenido de humedad natural	42
Tabla 13: Límites de consistencia con las dosificaciones.....	43
Tabla 14: Proctor modificado con las dosificaciones	45
Tabla 15: Valor relativo de soporte (CBR) con las dosificaciones.....	48
Tabla 16: Producción de Totora en el lago Titicaca	51
Tabla 17: Costos de producción de Ceniza de Totora	51

RESUMEN

Objetivo: La tesis busca mejorar la subrasante de baja capacidad de soporte en una trocha carrozable en Puno, mediante la incorporación de ceniza de totora, con el fin de incrementar el valor de soporte CBR del suelo. **Método:** Esta investigación fue de tipo aplicada, de enfoque cuantitativo, empleó ensayos de laboratorio como el Proctor modificado y el CBR para evaluar el impacto de dosificaciones de ceniza de totora en porcentajes de 4%, 8%, 12% y 16% sobre las propiedades físico-mecánicas del suelo. **Resultados:** Los resultados muestran que la adición de ceniza de totora mejora significativamente los límites de consistencia y la capacidad de carga del suelo, alcanzando un CBR de hasta 18.1% con una dosificación del 16%. Asimismo, el estudio demuestra que este método contribuye a la sostenibilidad y a la economía local, al reducir los costos de construcción y mantenimiento de vías, lo cual es particularmente relevante en zonas rurales de difícil acceso. **Conclusiones:** Las conclusiones resaltan la viabilidad de la ceniza de totora como estabilizador del suelo en el contexto de la infraestructura vial en Perú, y sugieren su potencial para optimizar la durabilidad y resistencia de caminos rurales en otras regiones con condiciones similares.

Palabras clave: Subrasante, incrementar, CBR.

ABSTRACT

Objective: The thesis seeks to improve the subgrade with low support capacity in a road track in Puno by incorporating reed ash, in order to increase the CBR support value of the soil. **Method:** This research was of an applied type, with a quantitative approach, it used laboratory tests such as the modified Proctor and the CBR to evaluate the impact of dosages of cattail ash in percentages of 4%, 8%, 12% and 16% on the physical-mechanical properties of the soil. **Results:** The results show that the addition of cattail ash significantly improves the consistency limits and load capacity of the soil, reaching a CBR of up to 18.1% with a dosage of 16%. Likewise, the study demonstrates that this method contributes to sustainability and the local economy, by reducing the costs of construction and maintenance of roads, which is particularly relevant in rural areas with difficult access. **Conclusions:** The conclusions highlight the viability of cattail ash as a soil stabilizer in the context of road infrastructure in Peru, and suggest its potential to optimize the durability and resistance of rural roads in other regions with similar conditions.

Keywords: Subgrade, increase, CBR.

I. INTRODUCCIÓN

Los suelos sobre los que se construirá generalmente nunca presentan condiciones aptas para el tránsito vehicular, y esta cimentación existe desde la antigüedad cuando las vías construidas de descubrir en mal estado debido a la carga y factores climáticos. Se hizo inevitable encontrar una solución a este grave problema e intentar completar el diseño de la carretera. En América Latina y más en Perú, hay un dolor de cabeza razonable con las carreteras, o por sus costos, el trabajo del firme se vuelve alto, y una demarcación que tenga un defecto en este sentido debe ser declarada en el lado bueno, empalizada de carreteras o lo que es crítico para su crecimiento. Así, la opción que se está extendiendo en el uso de diversas tecnologías y materiales para proporcionar un paso seguro que pueda garantizar una buena circulación de personas e hipotecas. En Perú, el MTC prevé la estabilización del suelo por parte de un representante externo una vez finalizado el mejoramiento de las propiedades mecánicas y físicas de la vía, de acuerdo con las normas vigentes, pero el agudo hachís de estos medios obliga a buscar alternativas. Reemplace los estabilizadores recomendados y podrá realizar su trabajo de pavimentación a un precio asequible. En el tramo Puno, como en toda la demarcación, avanzan las obras viales, su mantenimiento y en otros casos su prosperidad, y donde influyen factores del clima de la zona, niveles y terrenos que nunca han tenido óptimas propiedades físicas y mecánicas, lo que supone un dolor de cabeza oculto que provoca una búsqueda apresurada de alternativas a los estabilizadores de orugas que puedan dotar a las orugas de mayor capacidad; y en una proyección aleatoria sobre la calzada.

En esta investigación se busca la solución a este problema. Estabilizamos suelos utilizando ceniza de totora. La totora es una planta acuática que se encuentra en el lago Titicaca, forma cañaverales y se utiliza como materia prima renovable como fertilizante, alimento para animales y artesanías. La construcción de balsas y alimentos, su uso moderado y el respeto al medio

ambiente contribuirán a la implementación de este proyecto. También sabemos sobre qué tipo de suelo se realizará el trabajo y si se estabilizará añadiendo ceniza de carrizo, con el objetivo de optimizar el uso de la vía. Finalmente, el proyecto pretende contribuir a la comunidad, la economía y sobre todo el ecosistema y se enmarca en el desarrollo sostenible.

1.1 Descripción y formulación del problema

Los principales problemas que enfrentó el proyecto durante la construcción incluyeron varios inconvenientes. Uno de ellos fue la falta de suelo suficiente para soportar las carreteras que se construyen sobre él. Si los contratiempos no se solucionan a tiempo, el trabajo se deteriorará con el paso de los años. Las carreteras son fundamentales en el desarrollo de los estados porque es por donde se mueve la economía mundial. Por tanto, los proyectos viales mal ejecutados o mal preparados son el principal factor que imposibilita el progreso de la economía y social del estado. En Perú, el 98% de la red vial en barrios y zonas rurales no está pavimentada, lo que obstaculiza el crecimiento del turismo y el comercio, que es esencial para la mejora socioeconómica del país.

1.1.1 Problema general

¿De que forma la incorporación de cenizas de totora influye en el mejoramiento de suelo de subrasante incrementando el valor de CBR en la trocha carrozable en Puno?

1.1.2 Problema específico

¿Cómo repercute la incorporación de cenizas de totora en las propiedades físicas de la subrasante de trochas carrozable en Puno?

¿Cuál es la influencia de la incorporación de ceniza de totora en las propiedades mecánicas de la subrasante de la trocha carrozable para aumentar el valor soporte en Puno?

¿Cómo determinar el beneficio costo aplicando las cenizas de totora en la estabilización de suelos de la subrasante de la trocha carrozable para incremento del valor de CBR en Puno?

1.2 Antecedentes

1.2.1 En el ámbito internacional

Según Camelo y Gonzales (2021), en su tesis “Las propiedades resilientes del material base granular estabilizado con cenizas volantes permiten un diseño flexible de la superficie de la carretera”. Realizaron un estudio destinado a evaluar las propiedades elásticas de sustratos estabilizados con cenizas volantes para pavimentos flexibles convencionales. El tipo de método, nivel de explicación, diseño experimental y enfoque cuantitativo utilizado llevaron a la conclusión de que las cenizas volantes mejoran las propiedades físico-mecánicas de los pavimentos flexibles.

Nagasreenivasu (2020) en su artículo “Estudios experimentales y modelización de estabilización de suelos con alto contenido de sulfatos”. Realizo un estudio experimental para evaluar eficazmente la estabilización de la cal mediante ablandamiento previo a la compactación al estabilizar seis terrenos distintos con alto contenido de sulfato. Desarrollo dos métodos de predicción de olas. Uno se basa en el contenido de sulfato consumido y el otro en la porosidad compactada del suelo tratado. Ambos métodos se basan en principios estequiométricos, que implican la relación masa-volumen de reaccionar químicamente. Los resultados revelaron que las predicciones del método que se basa en el contenido de sulfato no coinciden con los datos medidos, en tanto que el método basado en la porosidad proporciona una mejor predicción de la tensión del eje. La mejor predicción utilizando este método pareció ser la que tuvo en cuenta el crecimiento de cristales de etringita dentro de las cavidades del suelo tratado. Se discute una posible implementación de este método para la evaluación de tratamientos químicos de terrenos con alto contenido de sulfato de estabilizar efectivamente.

Según Kaneza (2020) en su artículo “Módulo resiliente de suelos expansivos en el norte de Texas tratados con estabilizador de suelos iónico líquido”. Realizaron un estudio del módulo de

elasticidad (MR) y confirmaron que el MR del sustrato expansible es importante debido al alto potencial de expansión y contracción del sustrato expansible. En este estudio se evaluó en laboratorio la RM del suelo expandido antes y después del tratamiento con LISS. El LISS se compone de ácido sulfúrico, ácido fosfórico, tensioactivo y agua. LISS se diluyó con agua para tratar el suelo expandido y el suelo se curó durante 7 y 28 días. Los resultados de la prueba de RM del suelo expandido tratado con LISS se verificaron comparándolos con los resultados del modelo M-EPDG.

1.2.2 En el ámbito nacional

Según Espino (2021) en su tesis “Adición de ceniza de tronco de soporte para estabilizar los terrenos arcillosos y su esfuerzo a subrasante”. Realizó un estudio acerca del ingreso de la ceniza de tronco para apoyar terrenos arcillosos, cuya guía fue la especificación de la batalla del utillaje orgánica para apoyar el firme arcilloso. El razonamiento raído fue de menda aplicado, cota explicada, croquis experimentativo y encuadre cuantitativo. Como resultado la ceniza influyó realmente en apoyar el firme, con ello, concluye que la ceniza orgánica ganancia grandemente las particularidades del firme.

Según Terrones (2018) en su tesis “Estabilización de terrenos arcillosos mediante la adición de ceniza de bagazo de caña para mejorar el subsuelo en la zona de Barraza de Trujillo. Realizó un estudio para estabilizar suelos arcillo-limosos agregando ceniza de bagazo de caña en dosis de 5, 10 y 15%. Los métodos utilizados fueron el tipo aplicado, nivel de explicación, diseño experimental y enfoque cuantitativo. Se corrieron treinta y seis muestras y los resultados obtuvieron una resistencia de 150.60 KPa y una resistencia de 23.67%, lo que indica que el 15% de la ceniza de bagazo de caña cumplió con los requisitos mínimos del MTC. Se concluye que la

ceniza de bagazo de caña mejora no solo el proceso de construcción de carreteras sino también las propiedades superficiales y los costos son menores debido al desperdicio de material orgánico.

1.3. Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Mejorar subrasante de baja capacidad soporte con la finalidad de incrementar el valor de CBR incorporando cenizas volátiles de totora en trochas carrozables en Puno.

1.1.2 Objetivos específicos

Analizar la incorporación de cenizas de totora en las propiedades físicas de la sub rasante de la trocha carrozable en Puno.

Analizar la incorporación de ceniza de totora en las propiedades mecánicas de la sub rasante de la trocha carrozable en Puno.

- Determinar el beneficio costo que podría proporcionar la aplicación de cenizas volátiles de totora en la estabilización de suelos de la subrasante de la trocha carrozable en Puno.

1.4 Justificación e importancia

Este estudio se justifica porque la existencia de una carretera, en este caso la ruta automovilística de Kota a Kipata, es de gran importancia para estimular la economía local y con ello promover el desarrollo de actividades de productividad. Este estudio se justifica técnicamente en el desarrollo de la tesis. Respecto a la aplicación de ceniza de carrizo, se busca mejorar las propiedades físico-mecánicas del terreno de acuerdo al Reglamento de Mejoramiento del Subsuelo (MTC) vigente, por lo que se realizarán trabajos de campo y laboratorio. El objetivo de esta investigación es dotar a la sociedad de vías en buen estado con el fin de favorecer el buen tráfico de las personas que utilizan las vías para desplazamientos, visitas turísticas, etc., en actividades sociales que impliquen el transporte de mercancías y productos locales. Teóricamente se justifica

que para mejorar las propiedades físico-mecánicas se requieren los conocimientos necesarios sobre el uso adecuado de los estabilizadores de superficie. El objetivo es reducir el asentamiento, la contracción y la hinchazón del suelo mediante la incorporación de ceniza de espadaña, aumentar la resiliencia del suelo y proporcionar una alternativa de ahorro de costos. Esta investigación debe seguir el proceso de investigación sistemáticos, respetar las normas necesarias, utilizar métodos científicos y ser de naturaleza cuasiexperimental. Porque se están proponiendo nuevas alternativas que nos permitan establecer procesos que cumplan con la normativa vigente en el país. Por lo tanto, contamos con resultados confiables para desarrollar investigaciones similares en la vía de la provincia de Puno.

1.5 Hipótesis

1.5.1 Hipótesis general:

Con la incorporación de ceniza de totora se podrá establecer el mejoramiento de subrasantes de suelos de la baja capacidad soporte en trochas carrozables en Puno.

1.5.2 Hipótesis específicas

La incorporación de ceniza de totora mejora las propiedades físicas de la sub rasante de la trocha carrozable en Puno.

La incorporación de ceniza volátil de totora mejorar las propiedades geotécnicas de trochas carrozables ya que produce incremento del valor soporte CBR en Puno.

El beneficio costo que el mejoramiento de subrasantes de trochas carrozables luego de la aplicación de ceniza volátil de totora influye en forma positivo ya que disminuye el movimiento de tierras en su conformación.

II. MARCO TEÓRICO

2.1 Bases teóricas

Suelo

Según Peck et al. (2002) se considera que los suelos son agregados naturales de partículas minerales, con o sin constituyentes orgánicos, que pueden independizarse por medios mecánicos comunes. Algunos suelos muy duros exhiben una fuerza comparable a la de las rocas meteorizadas.

Propiedades físicas del suelo

Según Rucks et al. (2004) las propiedades físicas del terreno son de densidad, consistencia, textura, temperatura, porosidad, estabilidad y color. Están asociados con la erosión, la infiltración y la actividad biológica.

Límites de Atterberg

Según Hernández (2008) el límite de consistencia es el contenido de agua del terreno según el estado del suelo: líquido, plástico, semisólido, sólido. Cada condición tiene un comportamiento y consistencia diferente. Se utiliza para distinguir entre arcilla y limo.

Análisis granulométrico

Según Rodríguez (2020) este proceso de determinar la proporción de partículas minerales en cada categoría se llama análisis del tamaño de partículas o análisis mecánico del suelo. En las pruebas de suelo, la proporción de grava y partículas más grandes se determina moliendo primero el suelo para hacerlo fino y luego pasándolo por un tamiz de 2 mm.

Ensayo de compactación

Según MTC E 115 (2000) esta prueba es un método para determinar experimentalmente el contenido de agua óptimo y evaluar la densidad. Consiste en compactar el terreno con una determinada cantidad de agua en un molde cilíndrico de un tamaño determinado, que se compacta

con varios golpes de martillo. Con esto se traza la gráfica de densidad seca frente al contenido de humedad y se establece la curva de compactación.

Ensayo de CBR

Según Hernández (2008) se trata de una prueba de resistencia que compara la capacidad de carga de un elemento con piedra triturada de alta calidad. Evaluar la durabilidad de elementos adhesivos con un tamaño máximo inferior a 19 mm (0.75 in).

Estabilización de suelos

Según MTC (2013) es un método químico, físico, mecánico, biológico o combinado de mejora del suelo para lograr objetivos de ingeniería. Los mejores ayudan a aumentar la resistencia, la fuerza y el rendimiento para mejorar el camino. Algunas tecnologías renovables son: enzimas, tensioactivos, polímeros sintéticos, biopolímeros, productos copolímeros, polímeros acrílicos de estireno reticulados, etc. Algunos crean bloques y superficies hidrofóbicos para evitar daños en la carretera por intrusión de agua o congelación severa al evitar la penetración de agua en la capa tratada.

Tоторa

Según PELT ADESU (2001) las totoras son plantas perennes que crecen erguidas a partir de rizomas rastreros. Las hojas alargadas tienen los bordes lisos y son algo esponjosas. Las pequeñas flores unisexuales se encuentran en densas espigas cilíndricas, con las flores masculinas encima de las femeninas.

Producción de cenizas

Según Bouzon et al. (2017) las cenizas volátiles y humedales, incluido yeso, debido a la desulfuración húmeda del carbón. La ceniza se produce según varios parámetros, como el tipo de carbón, el método de combustión y el proceso de vertido en el horno. Se recomienda conocer las propiedades mecánicas, químicas y físicas de la ceniza.

III. MÉTODO

3.1 Tipo de investigación

Según indica Baena (2017) la investigación aplicada es un método no sistemático para encontrar soluciones a problemas o preguntas específicas. Estos problemas pueden ocurrir a nivel individual, grupal o comunitario.

El estudio se está utilizando el tipo aplicada, ya que se llevará a cabo el mejoramiento de la subrasante de baja capacidad de soporte para incrementar el valor de CBR en trocha carrozable adicionando la ceniza volátil de totora, pruebas y resultados para probar las hipótesis utilizando estudios de autores nacionales y también de internacionales, ya que tiene como objetivo es mejorar subrasante de baja capacidad soporte con la finalidad de incrementar el valor de CBR incorporando cenizas volátiles de totora en trochas carrozables en Puno.

3.2 Ámbito temporal y espacial

La investigación se basará en el mejoramiento de la subrasante de baja capacidad de soporte para incrementar el valor de CBR en trocha carrozable adicionando la ceniza volátil de totora que se ubica en el centro poblado Ccota en la ciudad de Puno.

3.3 Variables

3.3.1 *Variable independiente*

Mejoramiento de la subrasante.

3.3.2 *Variable dependiente*

Ceniza volatil de totora

3.4 Población y muestra

3.4.1 Población

La población son todos los asentamientos que conforman el distrito de Comas. Según Hernández et al. (2014) la población delimitada, donde se extraerán valores, es una agrupación de casos totales que obedecen la norma, debido a ello se recomienda establecer adrede cualidades de la población. La población es toda la vía carrozable de Ccota que está conformada por 2,700 Km.

3.4.2 Muestra

La **muestra** son los asentamientos que conforman la avenida Los Incas en el distrito de Comas. Según Arias (2012) una muestra es un subconjunto extraído usando un método particular y usa probabilidades para representar el resultado de una población llamada población. Para las pruebas, se tomará muestras de las calicatas en el eje de la carretera.

3.5 Instrumentos

Los instrumentos empleados para el desarrollo de esta investigación fueron esenciales como los ensayos de laboratorio, se emplearán el Proctor modificado, martillo, ensayo de CBR, un juego de tamices, copa de Casagrande, balanza electrónica, entre otros. Según Useche et al. (2019) indican que los instrumentos son extraídos a través de la “recopilación de datos, por lo que radica en obtener y disponer información correspondiente a las variables, hechos, contextos y categorías implicadas en el proyecto con una precisión y comprobado.

3.6 Procedimientos

En primer lugar, se iniciará con el reconocimiento de toda la vía transitable Ccota que abarca 2.700 kilómetros. A continuación, se realizará la elección de dónde cavar el hoyo a mano y la ubicación elegida será el punto más importante, la muestra obtenida cumplirá con los estándares establecidos para este procedimiento. Una vez recolectada, la muestra será transportada

a un laboratorio que cumpla con los requisitos de calidad del MTC y se realizarán todas las pruebas requeridas, siguiendo estrictamente los pasos establecidos por la normativa aplicable para el análisis, el análisis físico, parte importante. es la introducción de ceniza de Totorá en proporciones de 4%, 8%, 12% y 16% para determinar los resultados de resistencia del terreno de la carretera motorizada antes mencionada. También se recopilará información sobre la producción anual de Totorá, la cual se utilizará para calcular un análisis de costos.

3.7. Análisis de datos

Según Valderrama (2019) el análisis de datos es el procedimiento que consiste en examinar, limpiar y transformar los datos con el fin de resaltar información, proponer conclusiones. El método de análisis es de carácter metodológico, ya que utilizaremos los ensayos se envían los materiales al laboratorio para la evaluación de la prueba, para la determinación de parámetros del suelo.

3.8 Consideración ética

La investigación se realiza de forma responsable y transparente, teniendo en cuenta su importancia y esforzándose por alcanzar los objetivos para los que se planteó el trabajo de investigación, garantizando la veracidad del trabajo de investigación.

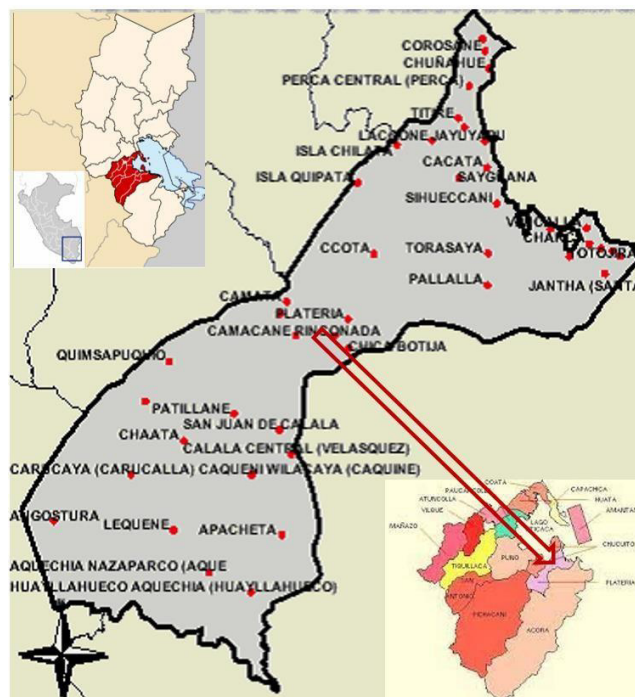
IV. RESULTADOS

Suelo natural

El suelo natural materia de estudio se obtuvo en una zona dentro del distrito de platería se ubica en la provincia de Puno, departamento de Puno, a una altitud de 3830 m.s.n.m. con una superficie de 249.0 Km², con coordenadas 15° 56' 55'' de latitud Sur y 69°49'59'' de longitud Oeste. La zona de estudio es la trochacarrozable que une los centros poblados de Ccota y Quipata, entre las progresivas Km 0+000 hasta Km 2 +750.00.

Figura 1

Ubicación geográfica



Estudios de campo

Para realizar esta investigación se hicieron trabajos previos que son necesarios para llevar a cabo los objetivos trazados, por un lado, se hizo el reconocimiento a nivel de subrasante del tramo de trocha carrozable que une los centros poblados de Ccota y Quipata que tiene una distancia de 2+750 Km. Seguidamente se procedió a excavar tres calicatas a 1.50 metros de

profundidad para la obtención de tres muestras de suelo, ubicadas en las progresivas C1: 0+450, C2: 1+500 y C3: 2+500, teniendo en cuenta a la Norma Técnica E.050 que nos indica que el número de calicatas será de acuerdo al tipo de vía, para nuestra investigación el tipo de vía es local y se tomó 1 muestra de suelo cada 3600 m², siguiendo los procedimientos establecidos en la norma ASTM D420-69 para llevar a cabo el muestreo y exploración de suelos. Por otro lado, se hizo la recolección de la totora de las riberas del lago Titicaca, para su secado al aire libre y después fue trasladado al horno donde fueron incinerados a 400°C, teniéndose como producto final la ceniza de totora para luego ser trasladado al laboratorio.

Estudios de laboratorio

Una vez trasladados las muestras de suelos de las tres calicatas y de la ceniza de totora al laboratorio para los ensayos respectivos tomando en cuenta los procedimientos establecidos en el Manual de ensayos de materiales 2016, normas ASTM y que a continuación se describe: Se realizó el análisis granulométrico por tamizado para las muestras de suelo de las 3 calicatas, según la norma MTC E 107. Además del contenido de humedad del suelo de acuerdo a la norma MTC E 108.

Se procedió a hallar el límite plástico y límite líquido siguiendo lo establecido en la norma MTC E 111 y la norma MTC E 110 respectivamente, para las 3 muestras de suelo obtenidas de las tres calicatas.

Se hicieron los ensayos para la clasificación de suelos con SUCS con la norma ASTM D2487-17 y AASHTO con la norma ASTM D3282-17, para las 3 muestras de suelo obtenidas de las tres calicatas respectivamente. Se realizó el ensayo de Proctor modificado bajo la norma MTC E 115, determinándose la curva de compactación con el contenido de humedad y la densidad seca de cada muestra. Se hizo el ensayo de CBR bajo la norma MTC E 132, medido

con una balanza calibrada y el porcentaje óptimo de humedad obtenidos de los ensayos de Proctormodificado.

Propiedades físicas en estado natural

En cuanto a las propiedades físicas se toma en cuenta los siguientes ensayos de laboratorio de la calicata 01, 02 y 03 de la progresiva del km 00+450, km 01+500 y km 02+500, respectivamente.

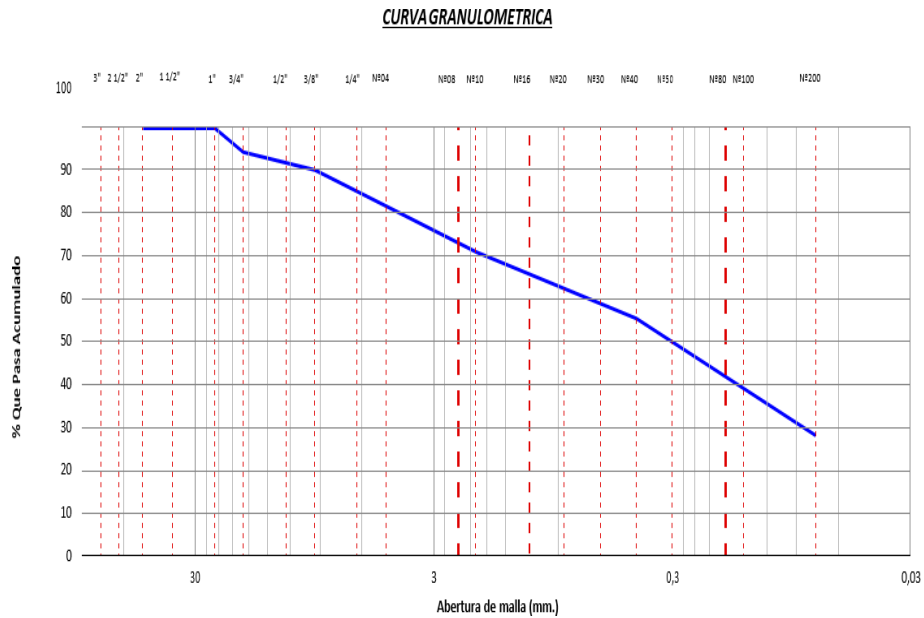
Tabla 1

Granulometría de la progresiva del km 00+450

TAMICES		PESO RETENIDO	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE 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 2

Curva granulométrica de la progresiva del km 00+450



En la figura se muestra la granulometría de la progresiva del km 00+450 o calicata 01, el cual contiene 18.3% de grava, 53.4% de arena y 28.3% de pasante por la malla 200. Con ello, la clasificación del suelo según SUCS fue SC y según AASHTOA-2-6(0), es decir, el suelo se cataloga como arena arcillosa con grava.

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

TAMICES		PESO RETENIDO	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE 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				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

En la tabla se muestra la granulometría de la progresiva del km 01+500 o calicata 02, el cual contiene 16.0% de grava, 42.9% de arena y 41.1% de pasante por la malla 200. Con ello, la clasificación del suelo según SUCS fue SC y según AASHTOA-6(2), es decir, el suelo se cataloga como arena arcillosa con grava.

Figura 3

Curva granulométrica de la progresiva del km 01+500

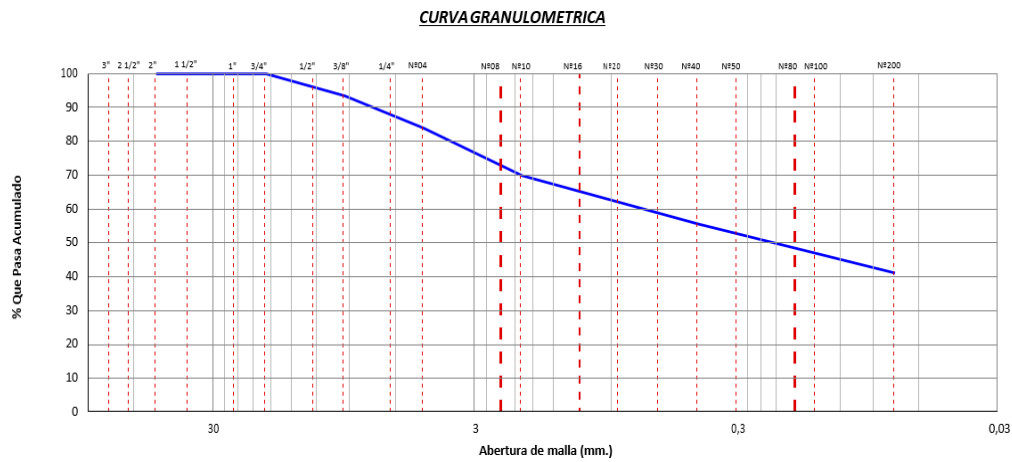
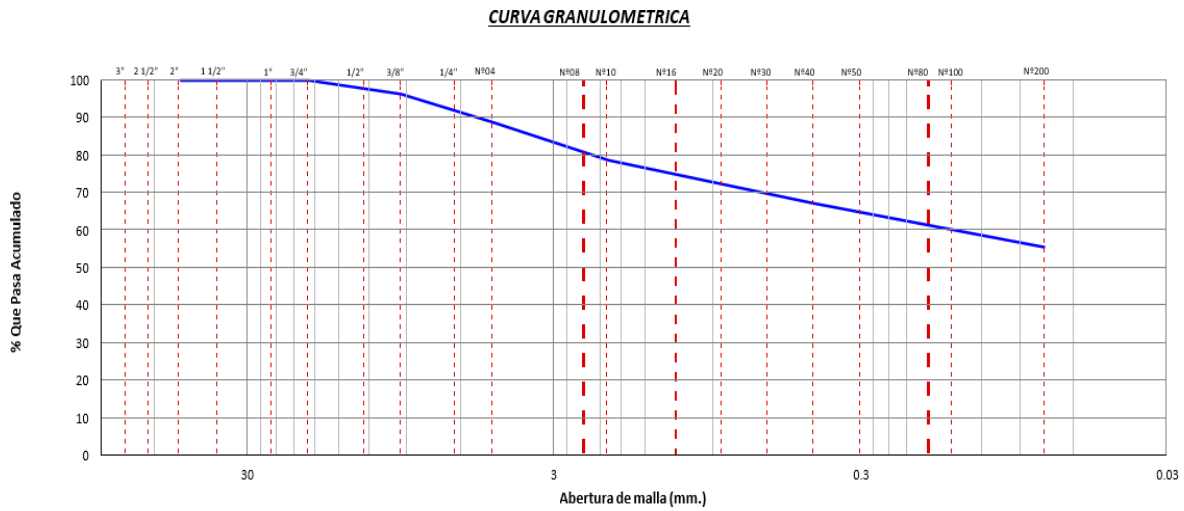


Figura 4

Curva granulométrica de la progresiva del km 02+450

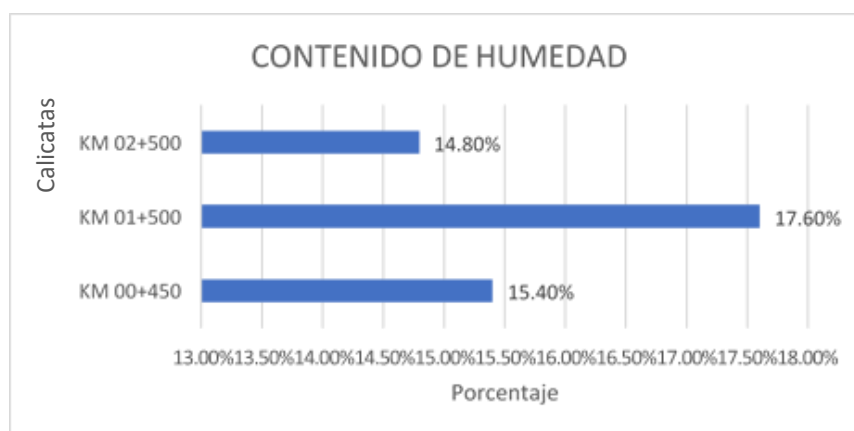


Contenido de humedad en estado natural

Tabla 4

Contenido de humedad natural

Contenido de humedad natural		
Muestras	Profundidad (m)	Contenido de Humedad (%)
Calicata Nº01	1.50	15.40
Calicata Nº02	1.50	17.60
Calicata Nº03	1.50	14.80

Figura 5*Contenido de humedad natural*

En la siguiente tabla y figura se visualiza los resultados del ensayo de contenido de humedad natural de la calicata N°01 con 15.40%, calicata N°02 con 17.60% y la calicata N°03 con 14.80%. La calicata 02 de la progresiva del km 01+500 contiene mayor porcentaje húmedo.

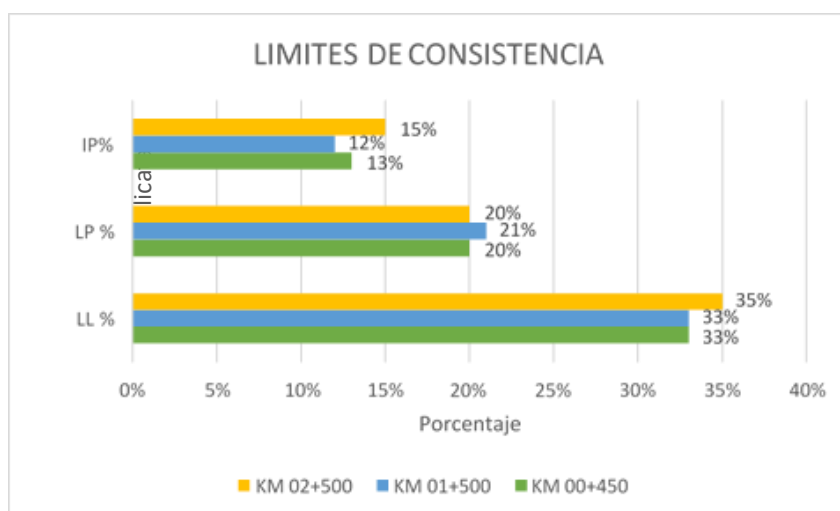
Propiedades mecánicas

En cuanto a las propiedades mecánicas se toma en cuenta los siguientes ensayos de laboratorio de la calicata 01, 02 y 03 de la progresiva del km 00+450, km 01+500 y km 02+500, respectivamente.

Límites de consistencia en estado natural

Tabla 5*Límites de consistencia en estado natural*

Límites de consistencia			
Muestras	Límite Líquido	Límite Plástico	Índice de Plasticidad
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 6*Límites de consistencia en estado natural*

En la tabla y la figura, se tiene los resultados de la calicata N°01 con límite líquido (LL) de 33.00%, límite plástico (LP) de 20.00% e índice de plasticidad (IP) de 13.00%, para la calicata N°02, el L.L. 33.00%, L.P. 21.00% e I.P. 12.00% y para la calicata N°03 L.L. 35.00%, L.P. 20.00% e I.P. 15.00%. Se presenta el límite líquido menor a 50% esto indica clasificación arcilla arenosa de baja plasticidad, además, porque se presenta un IP menor 20%.

Compactación – Proctor Modificado

Tabla 6*Proctor modificado en estado natural*

PROCTOR STANDARD		
Muestras	Máxima densidad seca (gr/cm ³)	Contenido de humedad óptima (%)
Calicata N°01	1.703	7.53
Calicata N°02	1.682	10.45
Calicata N°03	1.672	17.33

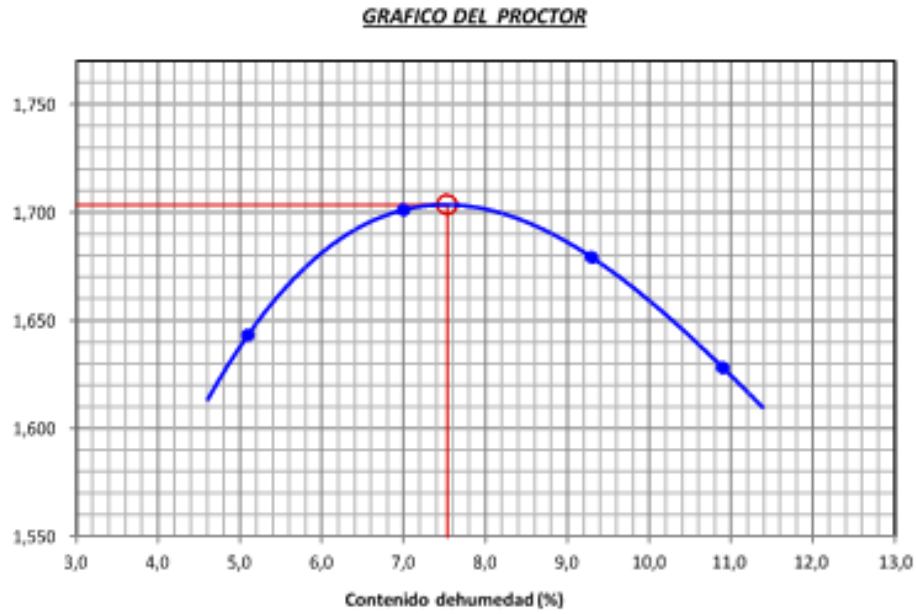
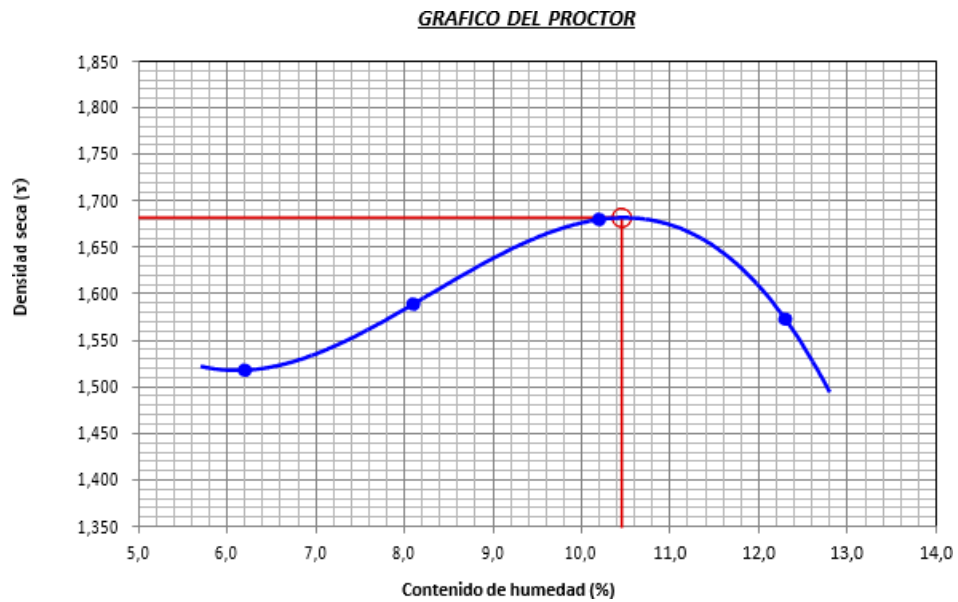
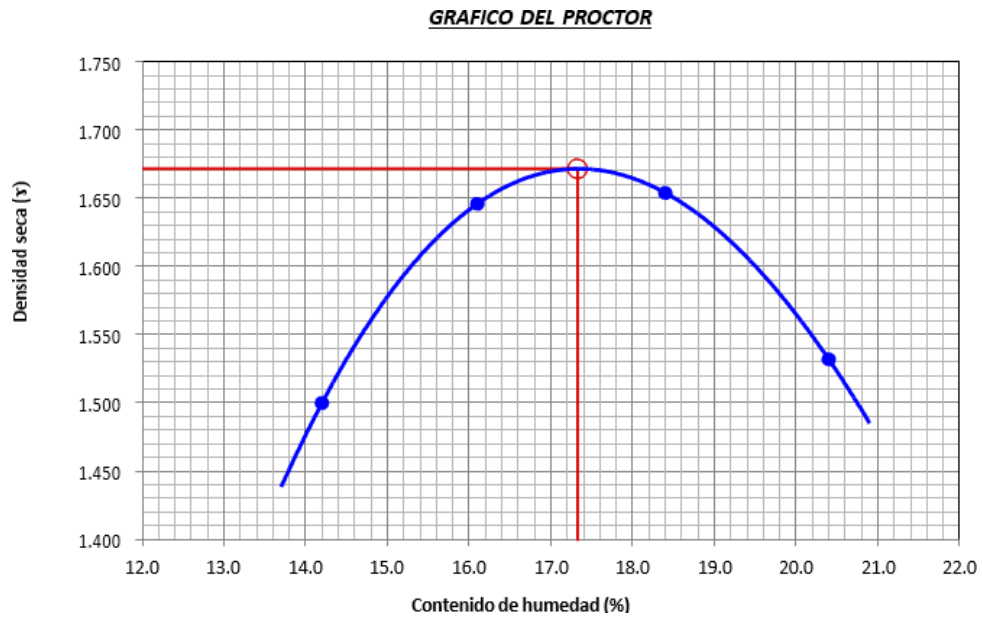
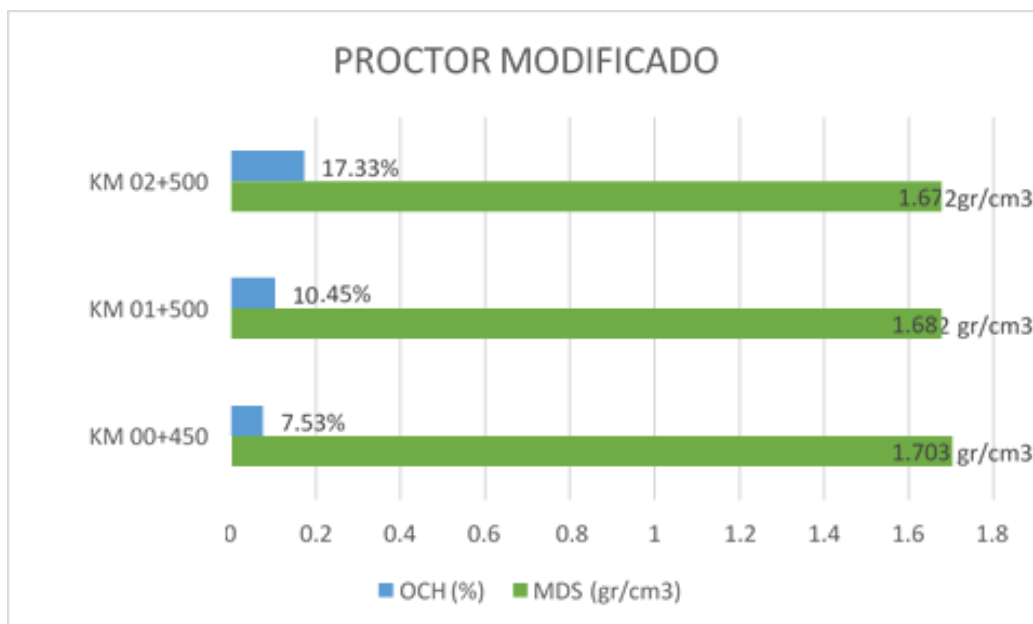
Figura 7*Proctor modificado de la calicata 01***Figura 8***Proctor modificado de la calicata 02*

Figura 9*Proctor modificado de la calicata 03***Figura 10***Proctor modificado en estado natural*

De la tabla y figura se observa el resultado para la calicata N°01 1.703gr/cm³ de máxima densidad seca y 7.53% de contenido de humedad óptima, calicata N°02 fue 1.682gr/cm³ de máxima densidad seca y 10.45% de contenido de humedad óptima y calicata N°03 fue 1.672gr/cm³ de máxima densidad seca y 17.33% de contenido de humedad óptima. La mayor compactación se obtiene en la calicata N°01 y la menor en la calicata N°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 11

Valor relativo de soporte (CBR) de la calicata 01

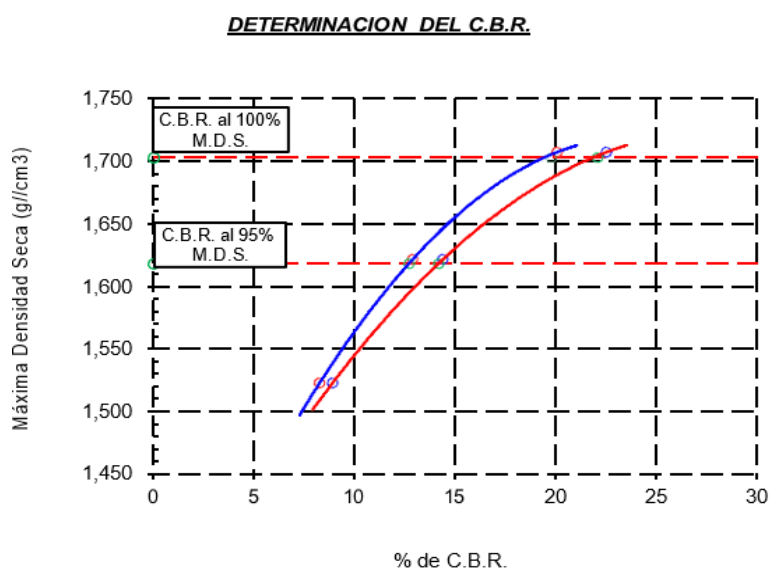
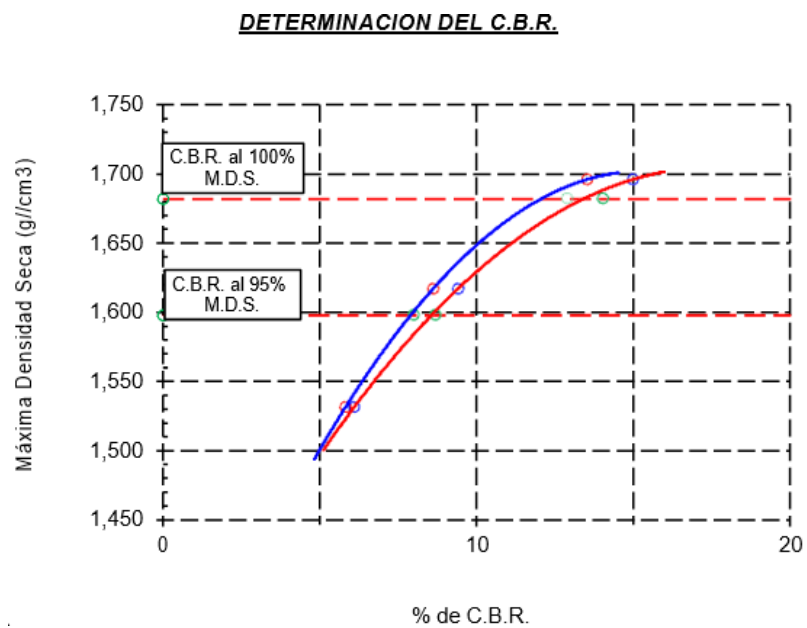


Figura 12

Valor relativo de soporte (CBR) de la calicata 02

**Figura 13**

Valor relativo de soporte (CBR) de la calicata 03

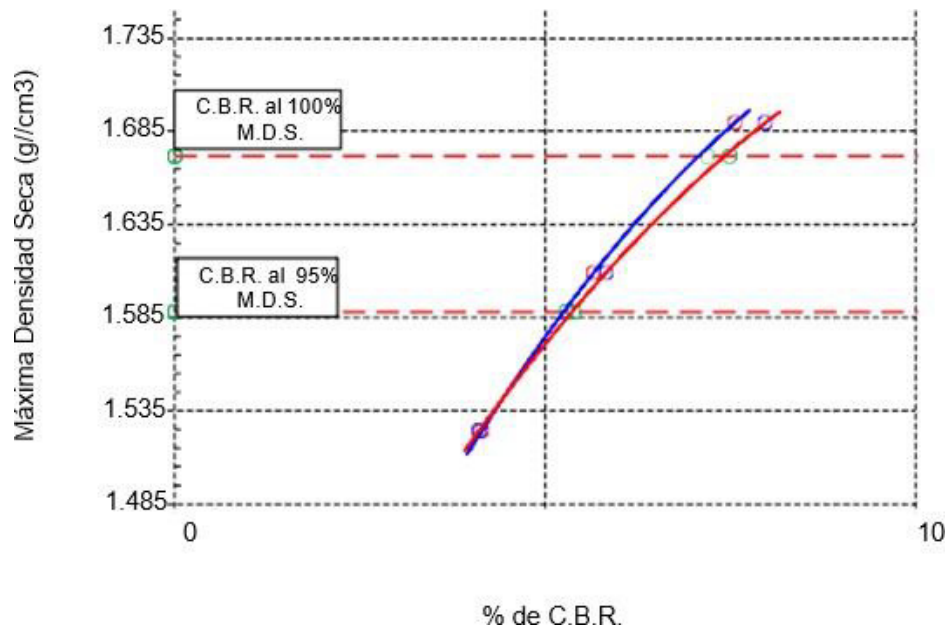
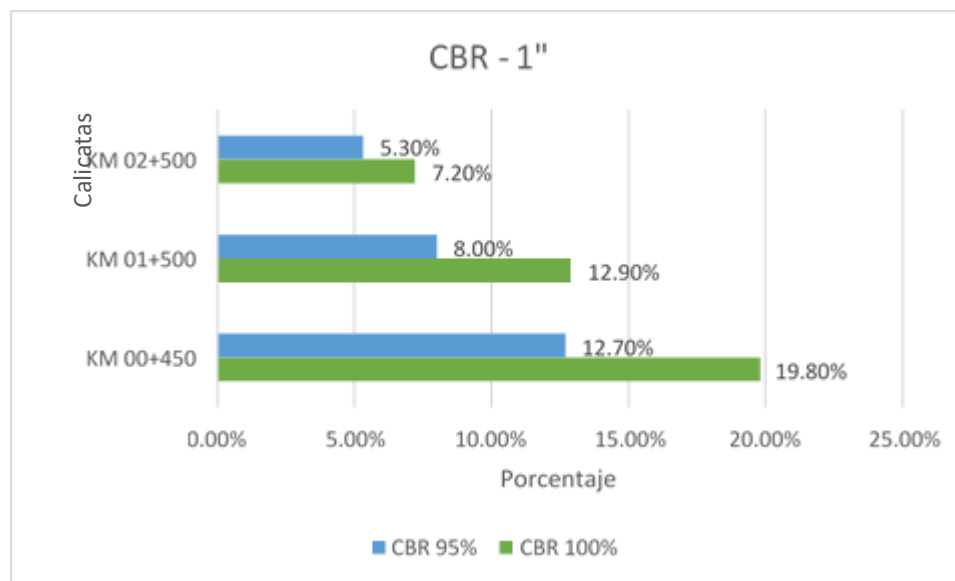


Figura 14

Valor relativo de soporte (CBR) en estado natural



En la siguiente tabla y la figura se presentan los resultados del ensayo de CBR al 100% y al 95% de la Máxima Densidad Seca, siendo de la calicata N°01 fue 19.80% y 12.70%, respectivamente, de la calicata N°02 fue 12.90% y 8.00%, respectivamente, y de la calicata N°03 fue 7.20% y 5.30%, respectivamente. La capacidad portante del suelo mayor fue de la calicata 01, sin embargo, para la investigación se toma como muestra patrón la calicata N°03 para las combinaciones con ceniza de totora por tener propiedades bajas.

Propiedades físicas con las dosificaciones

En cuanto a las propiedades físicas se toma en cuenta los siguientes ensayos de laboratorio del suelo natural crítico (calicata 03) con la incorporación de diferentes dosificaciones de ceniza de totora.

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

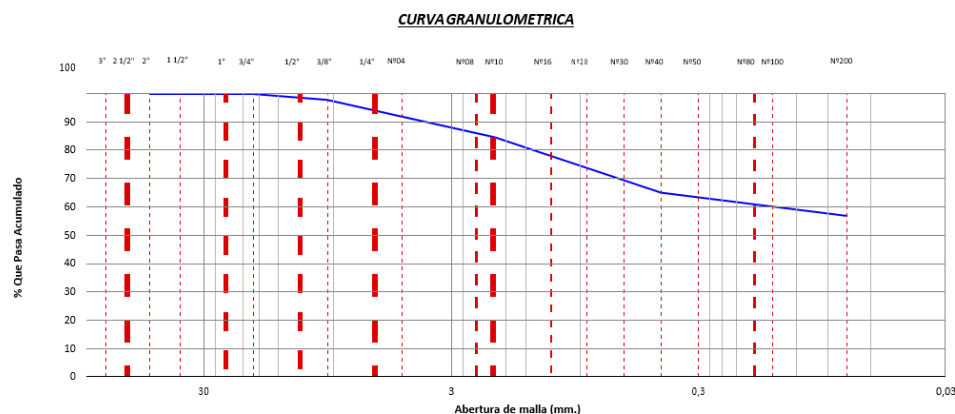
Tabla 8

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

TAMICES		PESO RETENIDO	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE 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				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				
N°04	4,750	713,2	5,9	8,0	92,0
N°08	2,360				
N°10	2,000	54,0	7,3	15,3	84,7
N°16	1,190				
N°20	0,850	67,0	9,1	24,4	75,6
N°30	0,600				
N°40	0,425	78,0	10,6	34,9	65,1
N°50	0,300				
N°80	0,177				
N°100	0,150				
N°200	0,075	61,0	8,3	43,2	56,8
< N°200	FONDO	420,0	56,8	100,0	0,0

Figura 15

Curva granulométrica con la incorporación del 4.0%



En la tabla se muestra la granulometría del suelo natural con la incorporación del 4% de ceniza de totora, el cual contiene 8.0% de grava, 35.2% de arena y 56.8% de pasante por la malla 200. Con ello, la clasificación del suelo según SUCS fue CLy según AASHTO A-6(6)), es decir, el suelo se cataloga como arcillosa arenosa de baja plasticidad.

Granulometría del suelo natural (SN) con la incorporación de 8% de ceniza de totora

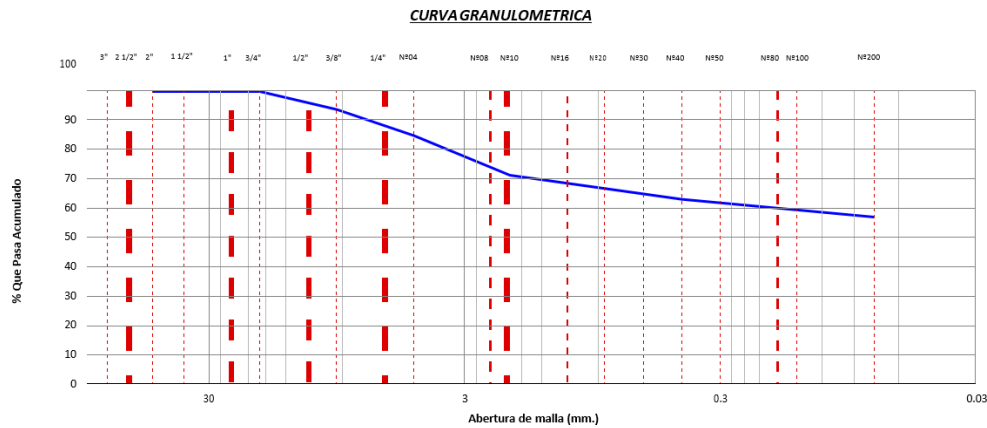
Tabla 9

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

TAMICES	PESO RETENIDO	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE 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	780,5	6,2	93,8
1/4"	6,300			
N°04	4,750	1115,3	8,8	85,0
N°08	2,360			
N°10	2,000	76,0	13,5	71,5
N°16	1,190			
N°20	0,850			
N°30	0,600			
N°40	0,425	45,6	8,1	63,4
N°50	0,300			
N°80	0,177			
N°100	0,150			
N°200	0,075	34,2	6,1	42,7
< N°200	FONDO	322,2	57,3	100,0

Figura 16

Curva granulométrica con la incorporación del 8.0%



En la tabla se muestra la granulometría del suelo natural con la incorporación del 8% de ceniza de totora, el cual contiene 15.0% de grava, 27.7% de arena y 57.3% de pasante por la malla 200. Con ello, la clasificación del suelo según SUCS fue y según AASHTO A-6(6), es decir, el suelo se cataloga como arcillosa arenosa de baja plasticidad.

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

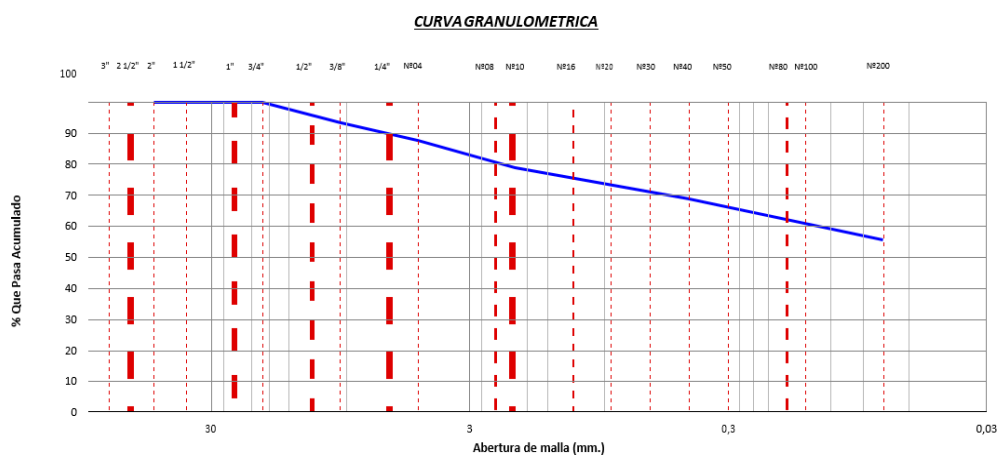
Tabla 10

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

TAMICES		PESO RETENIDO	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE 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 17

Curva granulométrica con la incorporación del 12%



En la tabla se muestra la granulometría del suelo natural con la incorporación del 12% de ceniza de totora, el cual contiene 12.3% de grava, 32.0% de arena y 55.7% de pasante por la malla 200. Con ello, la clasificación del suelo según SUCS fue CL y según AASHTO A-6(5), es decir, el suelo se cataloga como arcillosa arenosa de baja plasticidad.

Granulometría del suelo natural (SN) con la incorporación de 16% de ceniza de totora

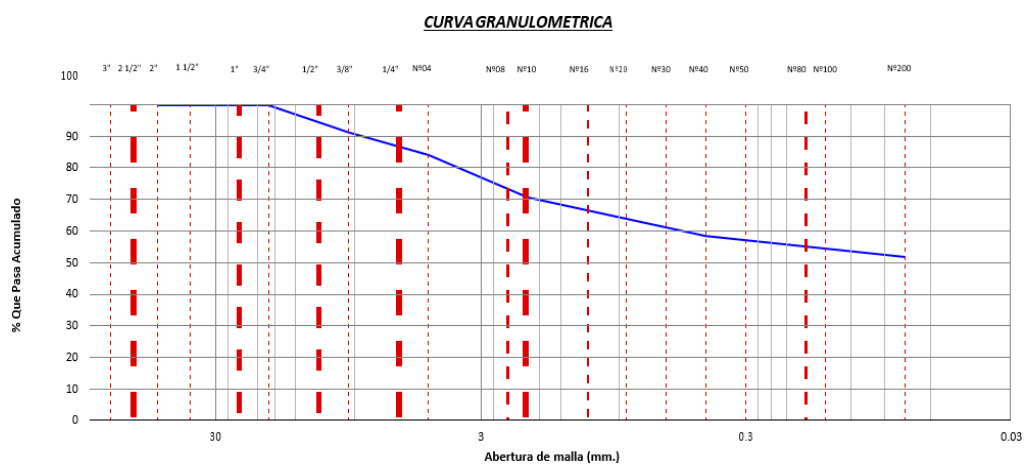
Tabla 11

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

TAMICES		PESO RETENIDO	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE 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 18

Curva granulométrica con la incorporación del 16%



En la tabla se muestra la granulometría del suelo natural con la incorporación del 16% de ceniza de totora, el cual contiene 15.6% de grava, 32.3% de arena y 52.1% de pasante por la malla 200. Con ello, la clasificación del suelo según SUCS fue CL y según AASHTO A-4(4), es decir, el suelo se cataloga como limo arenoso de baja plasticidad con grava.

Contenido de humedad con las dosificaciones

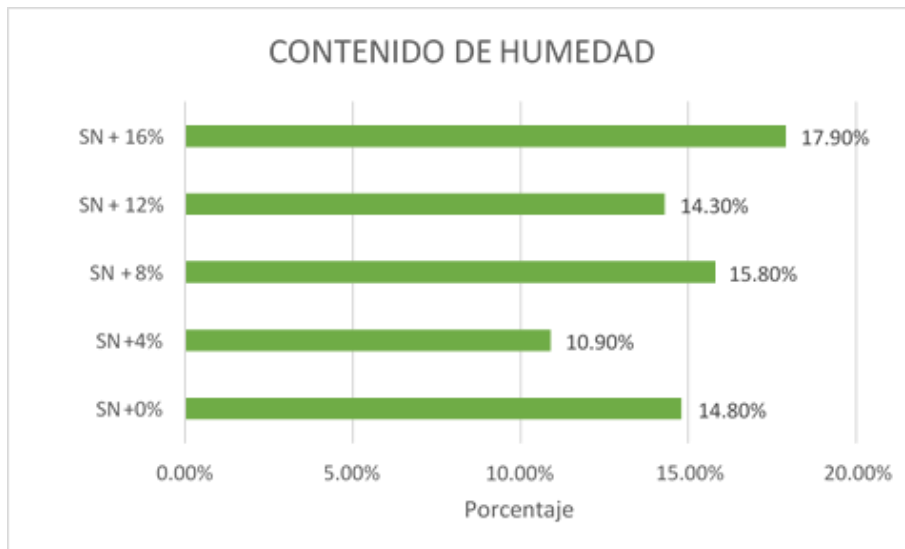
Tabla 12

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 19

Contenido de humedad con las dosificaciones



En la siguiente tabla y figura se visualiza los resultados del ensayo de contenido de humedad de la calicata N°03 (muestra más crítica) con las dosificaciones correspondientes, siendo con la incorporación del 4% un contenido de humedad fue 10.90%, con la incorporación del 8% un contenido de humedad fue 15.80%, con la incorporación del 12% un contenido de humedad fue 14.30%, con la incorporación del 16% un contenido de humedad fue 17.90%. La dosificación que contiene mayor contenido de humedad fue con la incorporación del 16% de ceniza de totora.

Propiedades mecánicas

En cuanto a las propiedades mecánicas se toma en cuenta los siguientes ensayos de laboratorio del suelo natural crítico (calicata 03) con la incorporación de diferentes dosificaciones de ceniza de totora (4%, 8%, 12% y 16%).

Límite de consistencia con las dosificaciones

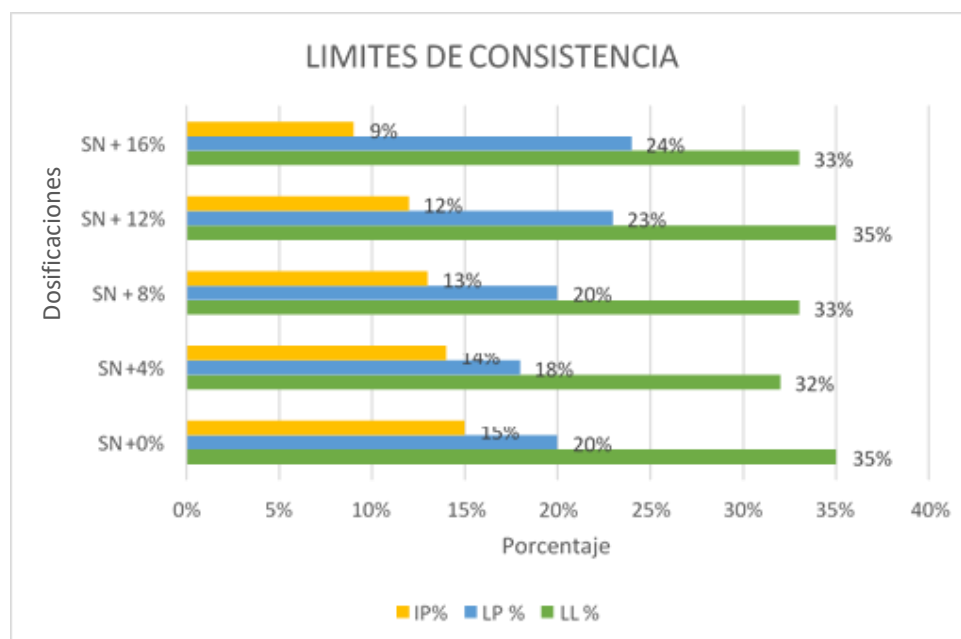
Tabla 13

Límites de consistencia con las dosificaciones

LÍMITES DE CONSISTENCIA			
Muestras	Limite Liquido	Limite Plástico	Índice de Plasticidad
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 20

Límites de consistencia en estado natural



En la tabla y la figura, se aprecia los resultados del ensayo de límites de consistencia de la calicata N°03 (muestra más crítica) con las dosificaciones correspondientes, siendo con la incorporación del 4% de ceniza de totora se obtuvieron límite líquido de 32%, límite plástico

de 18% e índice de plasticidad de 14%, con la incorporación del 8% de ceniza de totora se obtuvo un límite líquido de 33%, límite plástico de 20% e índice de plasticidad de 13%, con la incorporación del 12% de ceniza de totora se obtuvo un límite líquido de 35%, límite plástico de 23% e índice de plasticidad de 12% y con la incorporación del 16% de ceniza de totora se obtuvo un límite líquido de 33%, límite plástico de 24% e índice de plasticidad de 9%. La dosificación con menor índice de plasticidad fue con la incorporación del 16% de ceniza de totora.

Compactación – Proctor Modificado

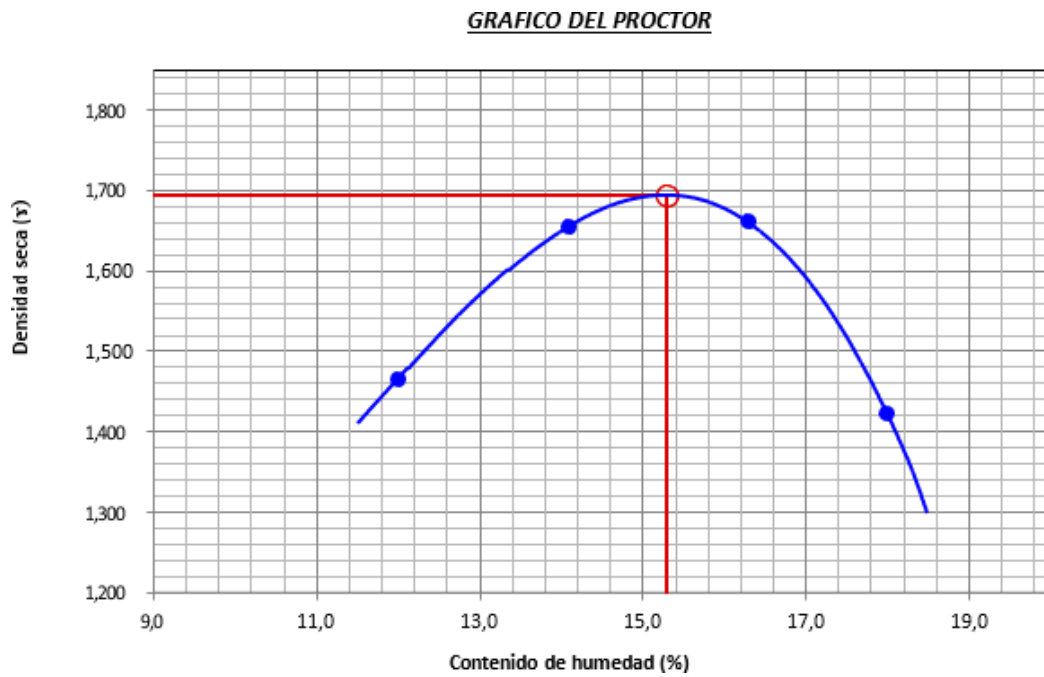
Tabla 14

Proctor modificado con las dosificaciones

PROCTOR MODIFICADO		
Muestras	Máxima Densidad Seca (gr/cm³)	Contenido de Humedad óptima (%)
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 21

Proctor modificado del SN + 4% de ceniza de totora

**Figura 22**

Proctor modificado del SN + 8% de ceniza de totora

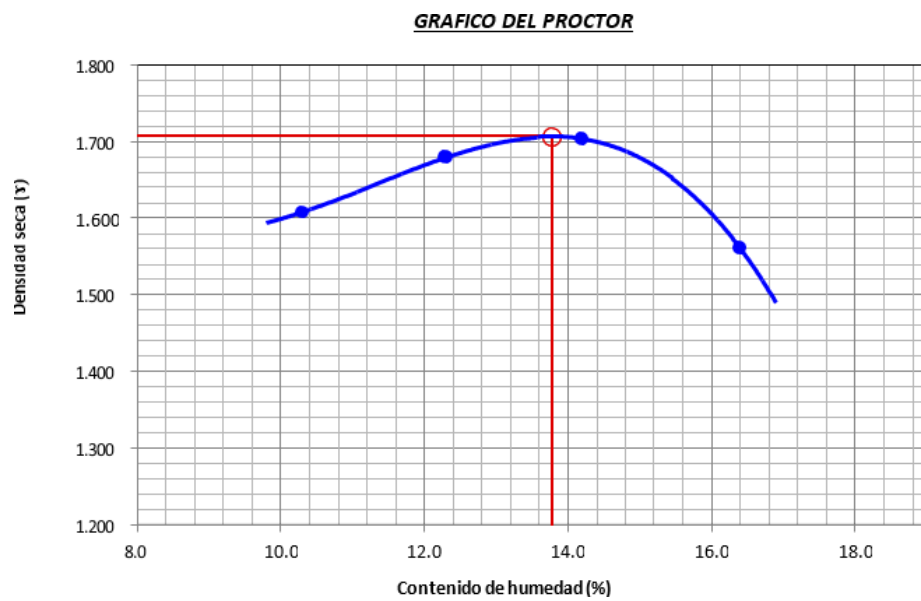


Figura 23

Proctor modificado del SN + 12% de ceniza de totora

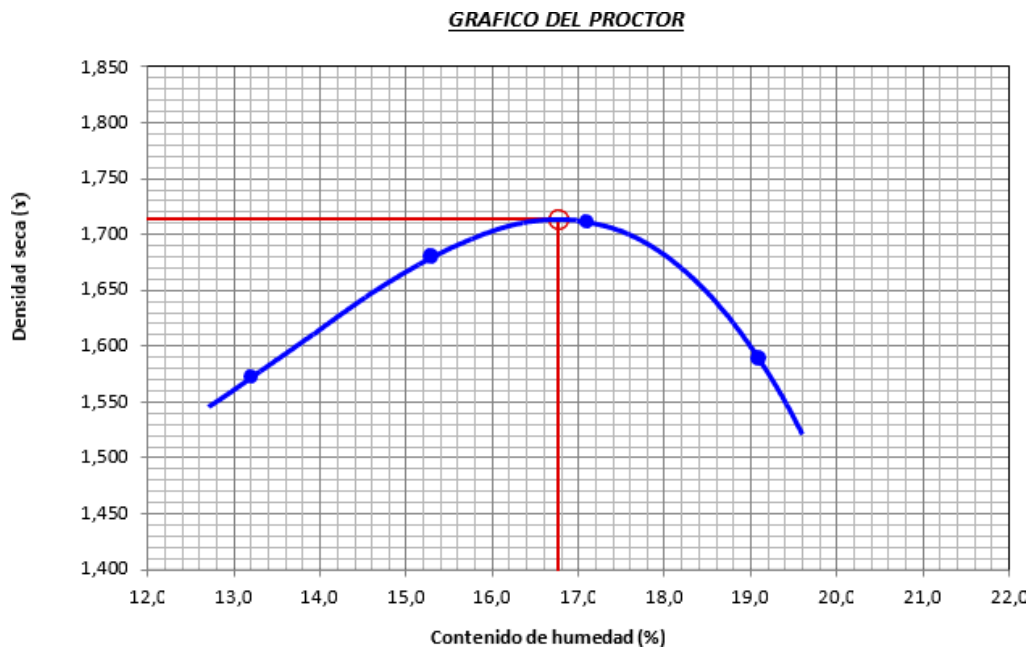


Figura 24

Proctor modificado del SN + 16% de ceniza de totora

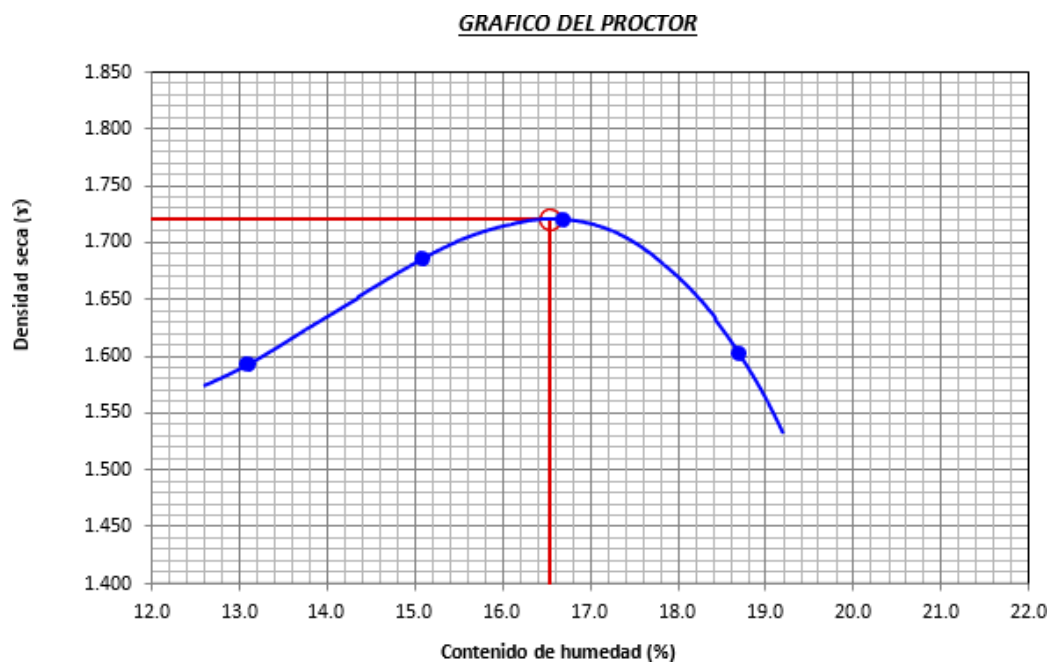
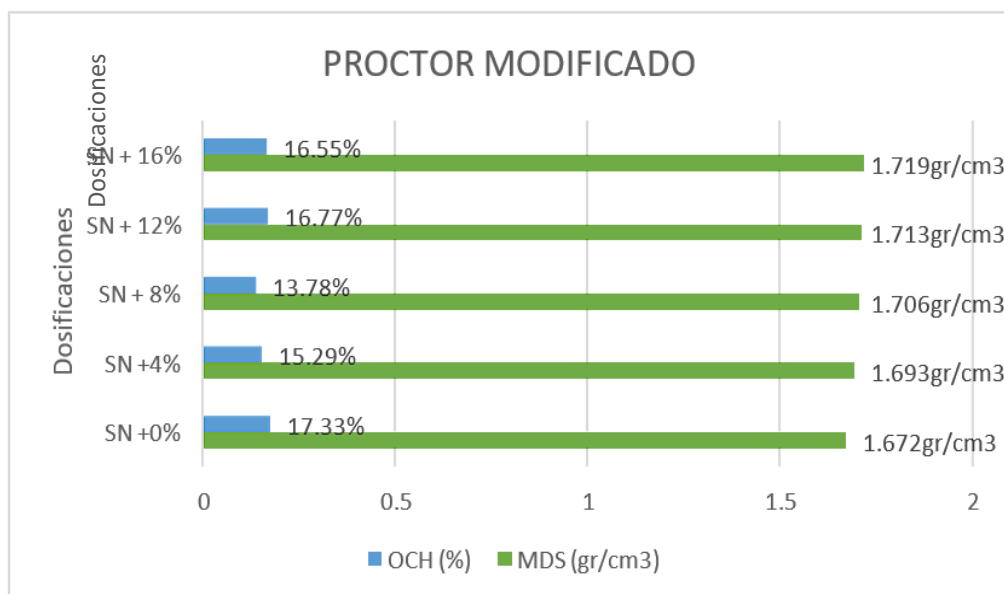


Figura 25

Proctor modificado con las dosificaciones



De la tabla y figura se observa el resultado del ensayo del proctor modificado de la calicata crítica (03) con las diferentes dosificaciones, con la incorporación del 4% de ceniza de totora se obtuvo una máxima densidad seca de 1.693 gr/cm³ y contenido de humedad óptimo de 15.29%, con la incorporación del 8% de ceniza de totora se obtuvo una máxima densidad seca de 1.706 gr/cm³ y contenido de humedad óptimo de 13.78%, con la incorporación del 12% de ceniza de totora se obtuvo una máxima densidad seca de 1.713 gr/cm³ y contenido de humedad óptimo de 16.77% y con la incorporación del 16% de ceniza de totora se obtuvo una máxima densidad seca de 1.719 gr/cm³ y contenido de humedad óptimo de 16.55%. De ello, se aprecia que incorporando 16% de ceniza de totora genera una mayor compactación a diferentes de las otras dosificaciones.

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 100%	C.B.R. 01" al 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 26

CBR del SN + 4% ceniza de totora

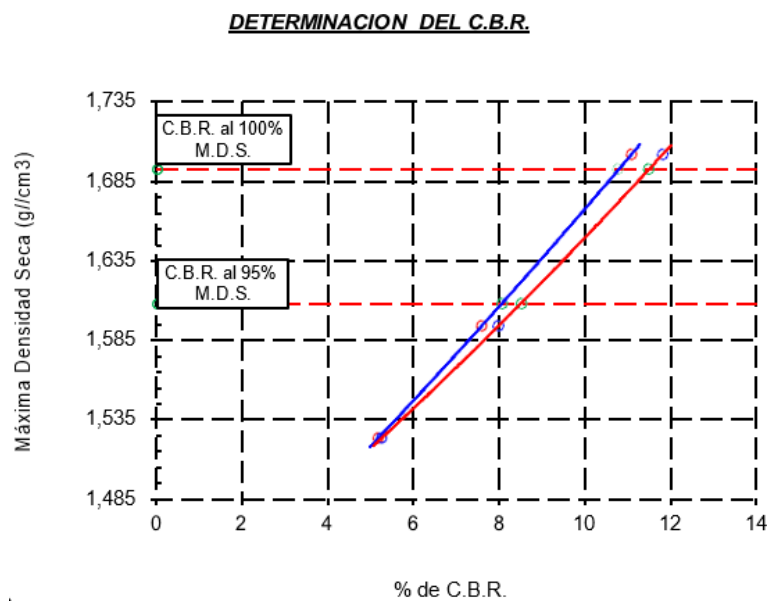


Figura 27

CBR del SN + 8% ceniza de totora

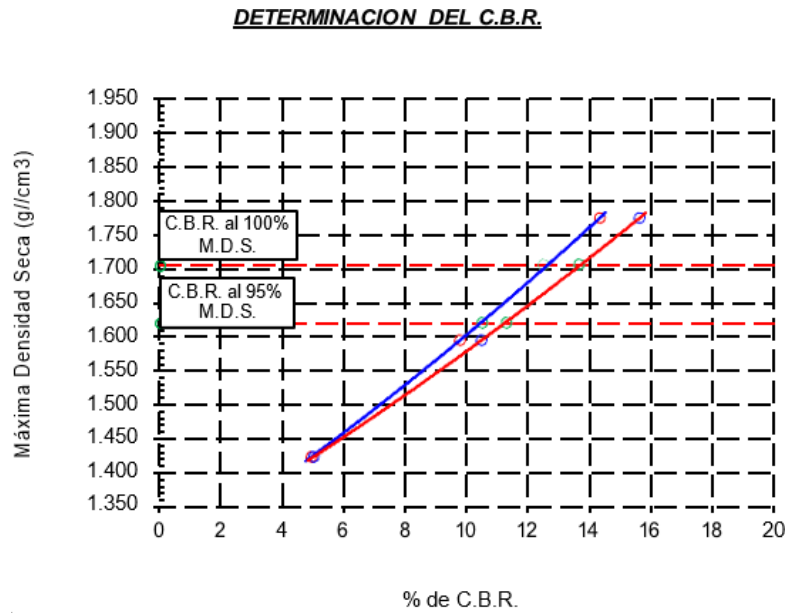


Figura 28

CBR del SN + 12% ceniza de totora

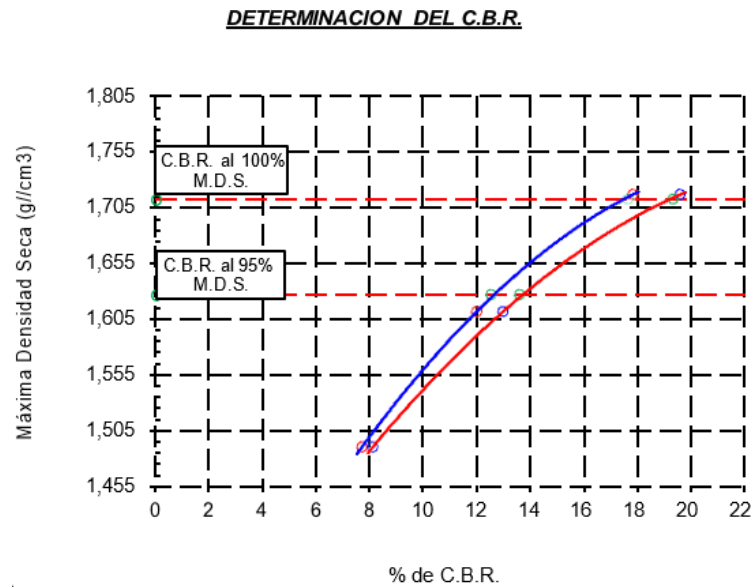
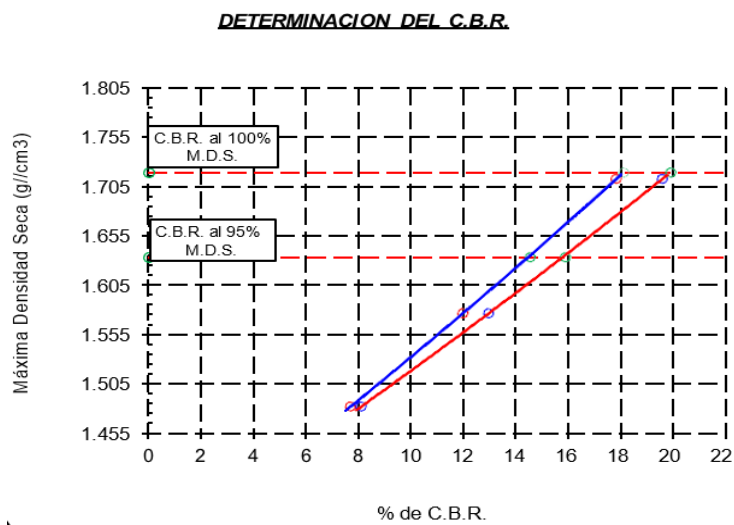
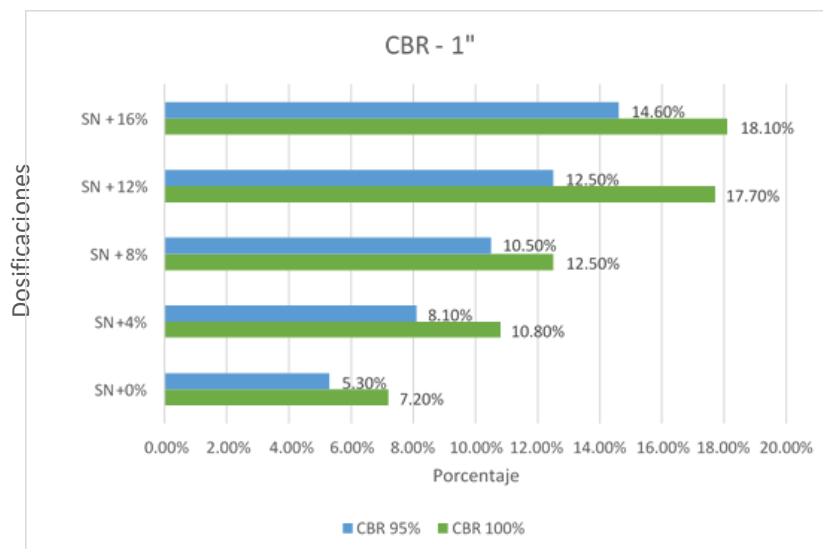


Figura 29*CBR del SN + 16% ceniza de totora***Figura 30***Valor relativo de soporte (CBR) en estado natural*

En la siguiente tabla y la figura se presentan los resultados del ensayo de CBR al 100% y al 95% de la Máxima Densidad Seca de la calicata crítica (03) con las respectivas dosificaciones.

Determinación de costos de producción de Totora

El Pichu es una medida utilizada por los pobladores, equivale al volumen de totora que se puede abrazar con los dos brazos y su peso esta entre 8Kg y 12 Kg, para la investigación se considerara 11Kg. La producción de totora en una hectárea es de 100 tn equivalente a 9091 pichus, el costo de un picho es de 2.00 soles al mercado actual, entonces el costo por tonelada de totora es de 176 soles. En el Perú se encuentra el 61.6% de totorales del Lago Titicaca y en Bolivia el 38.4% de la superficie de totorales del Lago Titicaca. Los estudios hechos por el PELT, ALT y el Proyecto de Biodiversidad de Perú Bolivia, sobre la totora es:

Tabla 16

Producción de Totora en el lago Titicaca

AÑO	BOLIVIA hectáreas	PERU hectáreas	Total
	Sin datos	52884	
1986	16940	52070	69010
1992	15338	44090	59428
2000 (2)	11989	26640	38629

Análisis de costos unitarios

Se elaboró un cuadro de costos de producción de ceniza de totora, tomando en cuenta la producción anual de totora que se da en el lago Titicaca.

Tabla 17*Costos de producción de ceniza de Totora*

Descripción de recurso	Precio S/. x Ton	Precio S/. x Kg
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
TOTAL	496	0.496

V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

- Según las derivaciones de la incorporación de ceniza de totora se podrá establecer el mejoramiento de subrasantes de suelos de la baja capacidad de soporte en trochas y esto se puede ver en los siguientes resultados. en la siguiente investigación se incorpora la ceniza de totora en diferentes porcentajes los cuales son 4%, 8%, 12% y 16%. Los cuales tuvieron un gran impacto en el comportamiento físico y mecánico en el suelo, esto puede ser apreciado en los límites de consistencia el cual se incorporó la ceniza de totora al 4% y se obtuvo un límite líquido de 32%, límite plástico de 18% e índice de plasticidad de 14%, con la incorporación del 8% de ceniza de totora se obtuvo un límite líquido de 33%, límite plástico de 20% e índice de plasticidad de 13%, con la incorporación del 12% de ceniza de totora se obtuvo un límite líquido de 35%, límite plástico de 23% e índice de plasticidad de 12% y con la incorporación del 16% de ceniza de totora se obtuvo un límite líquido de 33%, límite plástico de 24% e índice de plasticidad de 9%. De igual manera con los resultados del ensayo de contenido de humedad las dosificaciones correspondientes, siendo con la incorporación del 4% un contenido de humedad fue 10.90%, con la incorporación del 8% un contenido de humedad fue 15.80%, con la incorporación del 12% un contenido de humedad fue 14.30%, con la incorporación del 16% un contenido de humedad fue 17.90%. La dosificación que contiene mayor contenido de humedad fue con la incorporación del 16% de ceniza de totora y por último el ensayo de CBR al 100% y al 95% de la Máxima Densidad Seca de la calicata crítica (03) con las respectivas dosificaciones. El suelo natural con la incorporación del 4% de ceniza de totora se obtuvo un CBR al 100% con 10.80% y al 95% al 8.10%, con la incorporación del 8% de ceniza de totora se obtuvo un CBR al 100% con 12.50% y al 95% al 10.50%, con la incorporación

del 12% de ceniza de totora se obtuvo un CBR al 100% con 17.70% y al 95% al 12.50% y con la incorporación del 16% de ceniza de totora se obtuvo un CBR al 100% con 18.10% y al 95% al 14.60%. Con ello, se muestra que la capacidad de soporte del suelo con la adición del 16% se obtiene un mayor grado. Con lo anteriormente mencionado esto se puede constatar con Camelo y Gonzales (2021), en su tesis “Las propiedades resilientes del material base granular estabilizado con cenizas volantes permiten un diseño flexible de la superficie de la carretera”. Realizaron un estudio destinado a evaluar las propiedades elásticas de sustratos estabilizados con cenizas volantes para pavimentos flexibles convencionales. El tipo de método, nivel de explicación, diseño experimental y enfoque cuantitativo utilizado llevaron a la conclusión de que las cenizas volantes mejoran las propiedades físico-mecánicas de los pavimentos flexibles. Con lo anteriormente dicho se puede decir la hipótesis generada es correcta.

- Según la incorporación de ceniza de totora en la sub rasante esta mejora las propiedades físicas. Esto se puede apreciar en los siguientes resultados. el ensayo de contenido de humedad con las dosificaciones correspondientes, siendo con la incorporación del 4% un contenido de humedad fue 10.90%, con la incorporación del 8% un contenido de humedad fue 15.80%, con la incorporación del 12% un contenido de humedad fue 14.30%, con la incorporación del 16% un contenido de humedad fue 17.90%. La dosificación que contiene mayor contenido de humedad fue con la incorporación del 16% de ceniza de totora. De igual manera con la granulometría del suelo natural con la incorporación del 4% de ceniza de totora, el cual contiene 8.0% de grava, 35.2% de arena y 56.8% de pasante por la malla 200. Con ello, la clasificación del suelo según SUCS fue CL y según AASHTO A-6(6), es decir, el suelo se cataloga como arcillosa arenosa de baja plasticidad, la incorporación

del 8% de ceniza de totora, el cual contiene 15.0% de grava, 27.7% de arena y 57.3% de pasante por la malla 200. Con ello, la clasificación del suelo según SUCS fue y según AASHTO A-6(6)), es decir, el suelo se cataloga como arcillosa arenosa de baja plasticidad, con la incorporación del 12% de ceniza de totora, el cual contiene 12.3% de grava, 32.0% de arena y 55.7% de pasante por la malla 200. Con ello, la clasificación del suelo según SUCS fue CL y según AASHTO A-6(5), es decir, el suelo se cataloga como arcillosa arenosa de baja plasticidad, finalmente con la incorporación del 16% de ceniza de totora, el cual contiene 15.6% de grava, 32.3% de arena y 52.1% de pasante por la malla 200. Con ello, la clasificación del suelo según SUCS fue CL y según AASHTO A-4(4), es decir, el suelo se cataloga como limo arenoso de baja plasticidad con grava. Esto se puede constatar con Según Terrones (2018) en su tesis “Estabilización de terrenos arcillosos mediante la adición de ceniza de bagazo de caña para mejorar el subsuelo en la zona de Barraza de Trujillo. Realizó un estudio para estabilizar suelos arcillo-limosos agregando ceniza de bagazo de caña en dosis de 5, 10 y 15%. Los métodos utilizados fueron el tipo aplicado, nivel de explicación, diseño experimental y enfoque cuantitativo. Se corrieron treinta y seis muestras y los resultados obtuvieron una resistencia de 150.60 KPa y una resistencia de 23.67%, lo que indica que el 15% de la ceniza de bagazo de caña cumplió con los requisitos mínimos del MTC. Con todo lo anteriormente dicho se puede decir que la primera hipótesis es correcta.

- Según los resultados de incorporación de ceniza volátil de totora mejora las propiedades geotécnicas de trochas carrozables ya que produce un incremento del valor del CBR. Esto se puede constatar con los siguientes resultados el ensayo de CBR al 100% y al 95% de la Máxima Densidad con las respectivas dosificaciones. El suelo natural con la incorporación

del 4% de ceniza de totora se obtuvo un CBR al 100% con 10.80% y al 95% al 8.10%, con la incorporación del 8% de ceniza de totora se obtuvo un CBR al 100% con 12.50% y al 95% al 10.50%, con la incorporación del 12% de ceniza de totora se obtuvo un CBR al 100% con 17.70% y al 95% al 12.50% y con la incorporación del 16% de ceniza de totora se obtuvo un CBR al 100% con 18.10% y al 95% al 14.60%. Con ello, se muestra que la capacidad de soporte del suelo con la adición del 16% se obtiene un mayor grado. Esto se puede constatar con Espino (2021) en su tesis “Adición de ceniza de tronco de soporte para estabilizar los terrenos arcillosos y su esfuerzo a subrasante”. realizó un estudio acerca del ingreso de la ceniza de tronco para apoyar terrenos arcillosos, cuya guía fue la especificación de la batalla del utillaje orgánica para apoyar el firme arcilloso. El razonamiento raído fue de menda aplicado, cota explicada, croquis experimentativo y encuadre cuantitativo. Como resultado la ceniza influyó realmente en apoyar el firme, con ello, concluye que la ceniza orgánica ganancia grandemente las particularidades del firme. Con todo lo anteriormente dicho se puede decir que la segunda hipótesis es correcta.

- Según con los datos de la implementación de la ceniza de totora en el suelo se puede decir que las características físicas y mecánicas de este aumentan de manera considerables según el porcentaje que se adicones en el suelo. Con lo anteriormente mencionado se puede decir que la aplicación de ceniza volátil de totora como agente estabilizante puede mejorar las características mecánicas de la subrasante. Esto puede resultar en una reducción del movimiento de tierras necesario para conformar la trocha carrozable, ya que la subrasante estabilizada puede requerir menos excavación o relleno para alcanzar la nivelación y compactación adecuadas. Al disminuir el movimiento de tierras requerido, se pueden lograr ahorros significativos en costos asociados con la remoción, transporte y disposición

de material excavado, así como en la adquisición de material de relleno. Esto se traduce en una mejora del costo-beneficio del proyecto, ya que se minimizan los gastos relacionados con la construcción de la trocha carrozable. Esto se puede constatar con Nagasreenivasu (2020) en su artículo “Estudios experimentales y modelización de estabilización de suelos con alto contenido de sulfatos”. Realizo un estudio experimental para evaluar eficazmente la estabilización de la cal mediante ablandamiento previo a la compactación al estabilizar seis terrenos distintos con alto contenido de sulfato. Desarrollo dos métodos de predicción de olas. Uno se basa en el contenido de sulfato consumido y el otro en la porosidad compactada del suelo tratado. Ambos métodos se basan en principios estequiométricos, que implican la relación masa-volumen de reaccionar químicamente. Los resultados revelaron que las predicciones del método que se basa en el contenido de sulfato no coinciden con los datos medidos, en tanto que el método basado en la porosidad proporciona una mejor predicción de la tensión del eje. La mejor predicción utilizando este método pareció ser la que tuvo en cuenta el crecimiento de cristales de etringita dentro de las cavidades del suelo tratado. Se discute una posible implementación de este método para la evaluación de tratamientos químicos de terrenos con alto contenido de sulfato de estabilizar efectivamente. Con todo lo anteriormente mencionada podemos decir que la tercera hipótesis espectral es correcta.

VI. CONCLUSIONES

- 6.1 Se estableció el mejoramiento de la subrasante con la incorporación de ceniza de totora en los suelos de baja capacidad de soporte en trochas coarrozables en puno. Y se llegó a la conclusión los límites de consistencia, junto con los resultados del ensayo de contenido de humedad y el ensayo de CBR, muestran los efectos de la incorporación de ceniza de totora en diferentes dosificaciones. Con un 4% de ceniza de totora, se obtuvieron un límite líquido de 32%, un límite plástico de 18% y un índice de plasticidad de 14%. Aumentando la dosificación al 8%, los valores fueron de 33%, 20% y 13%, respectivamente. Con un 12% de ceniza de totora, los valores alcanzaron 35%, 23% y 12%, mientras que con un 16% fueron de 33%, 24% y 9%, respectivamente. Además, el contenido de humedad varió, siendo más alto con el 16% de ceniza de totora. En cuanto al ensayo de CBR, se observó que la capacidad de soporte del suelo aumentó con la adición de ceniza de totora, siendo más notable con un 16% de dosificación.
- 6.2 Se incorporó ceniza de totora para la mejor de propiedades físicas de la sub rasante en la trocha corrozable en Puno. El ensayo de contenido de humedad con las dosificaciones correspondientes reveló los siguientes resultados: con la incorporación del 4% de ceniza de totora, el contenido de humedad fue del 10.90%; con el 8%, fue del 15.80%; con el 12%, fue del 14.30%; y con el 16%, fue del 17.90%. La dosificación que mostró el mayor contenido de humedad fue con el 16% de ceniza de totora. En cuanto a la granulometría del suelo natural con la incorporación de ceniza de totora en diferentes porcentajes, se observó lo siguiente: con el 4%, el suelo contenía 8.0% de grava, 35.2% de arena y 56.8% de pasante por la malla 200, clasificándose como arcillosa arenosa de baja plasticidad según SUCS y AASHTO A-6(6); con el 8%, contenía 15.0% de grava, 27.7% de arena y 57.3% de pasante por la malla 200, clasificándose de manera similar; con el 12%, tenía 12.3% de grava, 32.0% de arena y 55.7%

de pasante por la malla 200, también clasificándose como arcillosa arenosa de baja plasticidad pero según AASHTO A-6(5); y finalmente, con el 16%, contenía 15.6% de grava, 32.3% de arena y 52.1% de pasante por la malla 200, clasificándose como limo arenoso de baja plasticidad con grava según SUCS y AASHTO A-4(4).

6.3 Se incorporo la ceniza volátil de totora para mejorar las propiedades geotecnicas de trochas carrozables es cual mejoro el valor soporte del CBR en puno. Y se concluyo que los resultados del ensayo de CBR al 100% y al 95% de la Máxima Densidad con las respectivas dosificaciones muestran que el suelo natural con la incorporación del 4% de ceniza de totora obtuvo un CBR al 100% de 10.80% y al 95% de 8.10%. Con el 8% de ceniza de totora, el CBR al 100% fue de 12.50% y al 95% de 10.50%. Con el 12% de ceniza de totora, el CBR al 100% fue de 17.70% y al 95% de 12.50%. Finalmente, con el 16% de ceniza de totora, el CBR al 100% fue de 18.10% y al 95% de 14.60%. Estos resultados indican que la capacidad de soporte del suelo aumenta con la adición del 16%.

6.4 Se beneficio el costro del mejoramiento de subrasante de trochas carrozables luego de la aplicación de ceniza volátil de totora, el cual ha influido de manera positiva ya que disminuye el movimiento de tierras en su conformación. Con lo anteriormente se puede concluir que la aplicación de ceniza volátil de totora como agente estabilizante puede mejorar las características mecánicas de la subrasante. Esto puede resultar en una reducción del movimiento de tierras necesario para conformar la trocha carrozable, ya que la subrasante estabilizada puede requerir menos excavación o relleno para alcanzar la nivelación y compactación adecuadas. Al disminuir el movimiento de tierras requerido, se pueden lograr ahorros significativos en costos asociados con la remoción, transporte y disposición de material excavado, así como en la adquisición de material de relleno.

VII. RECOMENDACIONES

- 7.1 Para aquellos estudiantes o profesionales interesados en continuar explorando y examinando en mayor profundidad el impacto en la mejora de una subrasante con baja capacidad de soporte, se recomienda llevar a cabo una evaluación más detallada. Esto se debe a que, al tratarse de un suelo arcilloso de alta plasticidad, es crucial realizar pruebas de expansión libre y presión de expansión para evaluar su tendencia a expandirse. A pesar de lograr una mejora significativa en su capacidad de soporte, existe la posibilidad de que aún pueda ocasionar problemas en la estructura del pavimento construido sobre él.
- 7.2 A los ingenieros que se encuentran involucrados en la planificación o consultoría de proyectos de carreteras, se les insta a ser extremadamente cautelosos en la evaluación y diseño de proyectos de obras civiles que involucren subrasantes de este tipo. A los ingenieros civiles que ocuparán cargos de residente y supervisor de obras, se les recomienda que antes de iniciar cualquier proyecto, dediquen suficiente tiempo a revisar exhaustivamente el expediente técnico. Esto les permitirá emitir informes de compatibilidad de manera más efectiva, evitando problemas durante la ejecución y asegurando que no se realicen trabajos inadecuados en subrasantes de este tipo.
- 7.3 Se le recomienda a los estudiantes o profesionales de la facultad que desean continuar con esta investigación, que, para lograr una estabilización efectiva del suelo arcilloso analizado en esta investigación, se debe evaluar cómo influye la aplicación de un tratamiento previo con una pequeña dosis de cemento portland tipo I u otro aditivo estabilizador en combinación con la ceniza de gallinaza, esto con la finalidad de reducir previamente su índice de plasticidad.

VIII. REFERENCIAS

- Baena, G. (2017). *Metodología de la investigación*. Patria.
- Bouzón, A. R., José, E., Ordóñez, D. P., y Luis, J. (2017). *Cenizas de fondo de carbón: problemática, caracterización y uso como árido en morteros y hormigones*.
- Espino, Y. (2021). *Adición de ceniza de madera de fondo en la estabilización de suelos arcillosos y su aplicación a subrasante*. Universidad Peruana Los Andes.
<http://repositorio.upla.edu.pe/handle/UPLA/1625>
- Hernandez, J. C. (2008). Características físicas y propiedades mecánicas de los suelos y sus métodos de medición. *Paper Knowledge. Toward a Media History of Documents* (Vol. 7, Issue 2).
- Leoni, A. J. (2020). *Propiedades Físicas de los Suelos*. <https://cutt.ly/jAZ4MQU>
- Kaneza, N., He, S., Xinbao Yu, P., Anand, J. y Puppala, P. (2020). *Resilient Modulus of Expansive Soils in North Texas Treated with Liquid Ionic Soil Stabilizer (LISS)*. ASCE LIBRARY.
- Ministerio de Transporte y Comunicaciones. (2013). *Manual de carreteras: especificaciones técnicas generales para construcción EG-2013*.
- Min, Z. (2020). Simultaneous control of soil erosion and arsenic leaching at disturbed land using polyacrylamide modified magnetite nanoparticles. *ScienceDirect*.
- Nagasreenivasu, A. (2020). *Experimental Studies and Modeling of High- Sulfate Soil Stabilization*. ASCE LIBRARY.
<https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/%28ASCE%29GT.1943-5606.0002240>
- Peck, R., Hanson, W., Thornburn, T. (2002) *Ingeniería de cimentaciones*, Limusa.

PELT - ADESU (2001). *Técnicas de reinplante de totora. Programa de capacitación sobre el manejo de totora. Indonesia.*

Rodriguez, W. (2020). *Propiedades índice de los suelos.*

Rucks, L., Garcia, F., Kaplan, A., Ponce, J., y Hill, M. (2004). *Propiedades físicas del suelo. In Transactions of the Faraday Society (Vol. 64).* <https://doi.org/10.1039/TF9686403358>

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. <https://bit.ly/3dOvaXC>

IX. ANEXOS

ANEXO A. MATRIZ DE CONSISTENCIA

VARIABLE		PROBLEMA GENERAL	PROBLEMAS ESPECIFICOS	OBJETIVO GENERAL	OBJETIVO ESPECIFICO	HIPOTESIS GENERAL	HIPOTESIS ESPECIFICAS
INDEPENDIENTE	Mejoramiento de la subrasante.	¿De que forma la incorporación de cenizas de totora influye en el mejoramiento de suelo de subrasante incrementando el valor de CBR en la trocha carrozable en Puno?	¿Cómo repercute la incorporación de cenizas de totora en las propiedades físicas de la subrasante de trochas carrozable en Puno?	Mejorar subrasante de baja capacidad soporte con la finalidad de incrementar el valor de CBR incorporando cenizas volátiles de totora en trochas carrozables en Puno.	Analizar la incorporación de cenizas de totora en las propiedades físicas de la subrasante de la trocha carrozable en Puno.	Con la incorporación de ceniza de totora se podrá establecer el mejoramiento de subrasantes de suelos de la baja capacidad soporte en trochas carrozables en Puno.	La incorporación de ceniza de totora mejora las propiedades físicas de la sub rasante de la trocha carrozable en Puno.
			¿Cuál es la influencia de la incorporación de ceniza de totora en las propiedades mecánicas de la subrasante de la trocha carrozable para aumentar el valor soporte en Puno?		Analizar la incorporación de ceniza de totora en las propiedades mecánicas de la subrasante de la trocha carrozable en Puno.		La incorporación de ceniza volátil de totora mejorar las propiedades geotécnicas de trochas carrozables ya que produce incremento del valor soporte CBR en Puno.
DEPENDIENTE	Ceniza Volátil de totora		¿Cómo determinar el beneficio costo aplicando las cenizas de totora en la estabilización de suelos de la subrasante de la trocha carrozable para incremento del valor de CBR en Puno?		Determinar el beneficio costo que podría proporcionar la aplicación de cenizas volátiles de totora en la estabilización de suelos de la subrasante de la trocha carrozable en Puno.		El beneficio costo que el mejoramiento de subrasantes de trochas carrozables luego de la aplicación de ceniza volátil de totora influye en forma positivo ya que disminuye el movimiento de tierras en su conformación.