



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

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

Mejoramiento de propiedades mecánicas de suelos arcillosos  
mediante la incorporación de cenizas de carbón para vías  
carrozables, Puerto Maldonado, 2022

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

**AUTOR:**

Huamaní de la Cruz, Jean Carlos (ORCID: 0000-0001-9519-7771)

**ASESOR:**

Ms. Ing. Civil Barrantes Mann, Luis Alfonso Juan (ORCID: 0000-0002-2026-0411)

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

Diseño de Infraestructura Vial.

LIMA – PERÚ

2022

## **Dedicatoria**

Dedicado completamente a mi familia, porque ellos son la principal motivación para seguir adelante; mi madre es el ejemplo de lucha y perseverancia para conseguir mis objetivos; y mis hermanos, las voces de aliento que necesito para creer en mí.

## **Agradecimiento**

Primero agradecer a Dios sobre todas las cosas, porque con él todo es posible. Por ser la luz que ha iluminado mi sendero y por mantenerme en todo momento por el camino correcto. Agradezco también a mi familia, a mi madre, a mi padre y a mis hermanos por el apoyo incondicional que me han brindado y a mi sobrino por ver en mí un ejemplo a seguir.

## Índice de Contenidos

Resumen .....	v
Abstract.....	vi
Dedicatoria.....	vii
Agradecimiento .....	viii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. MARCO TEÓRICO .....	6
III. METODOLOGÍA.....	23
3.1 Tipo y diseño de investigación .....	23
3.2 Variables y Operacionalización .....	23
3.3 Población y muestra.....	25
3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	26
3.5 Procedimientos .....	29
3.6 Método de análisis de datos.....	30
3.7 Aspectos éticos .....	31
IV. RESULTADOS .....	32
V. DISCUSIÓN.....	41
VI. CONCLUSIONES .....	45
VII. RECOMENDACIONES.....	47
REFERENCIAS .....	48
ANEXOS.....	50

## Índice de Tablas

Tabla N° 1. Símbolos SUCS.....	14
Tabla N° 2. Letras SUCS.....	14
Tabla N° 3. Sistema Unificado de Clasificación de Suelos. ....	15
Tabla N° 4. Sistema de Clasificación AASHTO. ....	16
Tabla N° 5. Determinación de la muestra para el análisis.....	17
Tabla N° 6. Tamices de malla cuadrada.....	18
Tabla N° 7. Determinación de la muestra para el análisis.....	18
Tabla N° 8. Clasificación de suelos según el tamaño de las partículas. ....	19
Tabla N° 9. Clasificación de suelos según IP .....	19
Tabla N° 10. Clasificación de suelos según índice de grupo .....	20
Tabla N° 11. Categorías de subrasante .....	21
Tabla N° 12. Numero de calicatas para exploración de suelos.....	22
Tabla N° 13. Identificación del objeto de estudio y variables. ....	24
Tabla N° 14. Resultados de Proctor Modificado en C-01 y C-02. ....	33
Tabla N° 15. Resultados de Límites de consistencia en C-01 y C-02. ....	34
Tabla N° 16. Resultados de CBR al 95 % en C-01 y C-02. ....	34
Tabla N° 17. Clasificación de Subrasante según MTC. ....	35
Tabla N° 18. Resultados del Ensayo de Proctor Modificado. ....	36
Tabla N° 19. Resultados del Ensayo Límites de consistencia. ....	37
Tabla N° 20. Ensayo CBR.....	37
Tabla N° 21. Resumen CBR al 95%.....	38
Tabla N° 22. Resumen.....	38
Tabla N° 23. Análisis de varianza .....	38

## Índice de Gráficos y Figuras

Figura N° 1. Ubicación del departamento de Madre de Dios. ....	6
Figura N° 2. Ubicación de la provincia Tambopata .....	6
Figura N° 3. Ubicación del distrito las Piedras .....	7
Figura N° 4. Jr. Javier Heraud (Punto N°01).....	7
Figura N° 5. Jr. Javier Heraud (Punto N°02).....	8
Figura N° 6. Excavación para sótano. ....	10
Figura N° 7. Propiedades de los geotextiles. ....	11
Figura N° 8. Compactación por vibración. ....	12
Figura N° 9. Tipos de Suelos. ....	13
Figura N° 10. Suelo Orgánico.....	13
Figura N° 11. Cenizas de carbón. ....	16
Figura N° 12. Cuarteo de la muestra .....	17
Figura N° 13. Ubicación del área de estudio (Población).....	26
Figura N° 14. Ubicación del área de estudio (Muestra). ....	26
Figura N° 15. Diagrama de flujo técnicas de investigación. ....	27
Figura N° 16. Diagrama de flujo técnicas de investigación. ....	28
Figura N° 17. Procedimientos en campo. ....	29
Figura N° 18. Procedimientos en laboratorio. ....	30
Figura N° 19. Procedimientos en gabinete. ....	31
Figura N° 20. Curva granulométrica de suelo natural. ....	32
Figura N° 21. Resultados de Proctor Modificado – Curva de compactación. ....	33
Figura N° 22. Contenido de humedad natural de Calicata 01 y Calicata 02.....	34
Figura N° 23. CBR al 95% de la Densidad Máxima Seca en C-01 y C-02. ....	35
Figura N° 24. Curva de compactación.....	36
Figura N° 25. CBR. ....	37
Figura N° 26. Valor Crítico de “F” .....	39
Figura N° 27. Ubicación de “F” Crítica.....	39

## **Resumen**

El presente trabajo de investigación se llevó a cabo en la ciudad de Puerto Maldonado, departamento de Madre de dios, región selva del Perú. Los estudios de mecánica de suelos se realizaron en colaboración con GEOIN Geotecnia e Ingenieros E.I.R.L., realizándose los ensayos de Granulometría por tamices, contenido de humedad, Proctor Modificado, Límites de Consistencia y Ensayo de CBR. Para el desarrollo de la tesis se usó el diseño experimental, para recolectar los datos se utilizó la técnica de la observación y como instrumentos de recolección de datos se utilizaron guías de observación, flexómetro, cámara fotográfica, etc.

El objetivo principal de la tesis es mejorar las propiedades mecánicas de los suelos arcillosos mediante la incorporación de cenizas de carbón, para ello se analizó al suelo natural y al suelo combinado con cenizas de carbón en diferentes porcentajes.

Se concluye obteniendo resultados positivos de las combinaciones de suelo inalterado con cenizas de carbón, es decir, la incorporación de cenizas de carbón mejora significativamente la capacidad de soporte de los suelos arcillosos.

**Palabras clave:** Estabilización, incorporación de cenizas de carbón, mejora las propiedades mecánicas.

## **Abstract**

This research work was carried out in the city of Puerto Maldonado, department of Madre de Dios, jungle region of Peru. The soil mechanics studies were carried out in collaboration with GEOIN Geotecnia and Ingenieros E.I.R.L., carrying out the tests of Granulometry by sieves, moisture content, Modified Proctor, Consistency Limits and CBR Test. For the development of the thesis, the experimental design was used, to collect the data the observation technique was used and as data collection instruments observation guides, flexometer, photographic camera, etc. were used.

The main objective of the thesis is to improve the mechanical properties of clay soils by incorporating coal ash, for which the natural soil and the soil combined with coal ash in different percentages were analyzed.

It is concluded that positive results are obtained from the combination of unaltered soil with coal ash, that is, the incorporation of coal ash significantly improves the support capacity of clay soils.

**Keywords:** Stabilization, incorporation of coal ashes, improves mechanical properties.



## I. INTRODUCCIÓN

Existen diversos tipos de suelos, entre ellos tenemos algunos suelos arcillosos que no cumplen con la capacidad de soporte y calidad requerida para ser empleados en proyectos viales, para ello, deben ser mejorados con productos adicionados o debiéndose generar un pavimento de mayor espesor para estos suelos blandos, generando así mayores costos de inversión y a la vez generando un pavimento con menor vida útil, ya que al no estabilizar el suelo podrían haber problemas de hundimientos o asentamientos.

Bueno & Torre (2018), “la infraestructura vial es muy importante para el desarrollo de un país, por ello, la importancia de los proyectos viales de acuerdo a las necesidades de la geografía y las exigencias de la población”.

La región donde se lleva a cabo el presente trabajo de investigación pertenece a la zona selva, por ello, es difícil encontrar canteras con material granular, razón por la cual, se opta por el mejoramiento de los suelos arcillosos; en este trabajo de investigación, se propone la utilización de suelo arcilloso adicionado con ceniza de carbón en diferentes porcentajes. En la zona, existe gran parte de la población que aún usa el carbón como una fuente de energía para sus actividades domésticas; además, también existen empresas que transforman materia prima, que también utilizan el carbón como fuente de energía para sus hornos industriales; entonces, la ceniza de carbón es un residuo desechado por la población. “Las cenizas están compuestas principalmente por cal, aluminios, silicatos, y óxidos que contribuyen puzolánicamente con el suelo, mejorando así, su capacidad de soporte” Pérez (2012).

Actualmente, la no utilización de las cenizas indicadas, generan un problema ambiental que perjudica no solo al entorno sino también a las personas y a los cultivos que conviven en dicha zona geográfica; por tal razón, la utilización de estas cenizas permitirán retirarlas del entorno dándoles un fin práctico y útil, como lo es incorporándolo en suelos arcillosos para fines de su mejoramiento; y así mejorar el medio ambiente y cuidando la salud de la población y el crecimiento de los cultivos existentes.

## **1.1. Descripción de la Realidad Problemática:**

### **Descripción del problema:**

En el mundo existen diferentes tipos de suelos, algunos son suelos compuestos principalmente de arcilla con baja capacidad de soporte y mala calidad, para poder desarrollar proyectos de infraestructura vial sobre éstos se tienen que mejorar sus propiedades mecánicas.

Se considera a la ceniza de carbón a nivel mundial como un desecho que daña el medio ambiente y la salubridad en general ya que es desechado a zonas aledañas cercanas en cantidades considerables.

En el mundo entero, los suelos son de gran importancia para llevar a cabo muchos proyectos, ya que sobre éstos se van a ejecutar imponentes obras de Ingeniería. Altamirano & Diaz (2015) menciona que:

“La estabilización o mejoramiento de un suelo se refiere a contribuir positivamente en las características y propiedades de éstos, ya que existen diversos tipos de suelos, algunos aptos con buena calidad por naturaleza y otros que debido a su naturaleza geográfica presentan características y propiedades de mala calidad. Entonces, la estabilización o mejoramiento de los suelos es muy importante, ya que los suelos son muy importantes a la hora de ejecutar un proyecto de ingeniería, porque son los encargados de recibir las cargas”.

En América Latina, específicamente en el país de Colombia, se han llevado a cabo varios estudios en suelos arcillosos, adicionando productos que reaccionan puzolánicamente con el suelo, mejorando de esta manera sus propiedades físico mecánicas; tal como lo señala Zuluaga (2015):

“Se han desarrollado nuevas alternativas para estabilizar un suelo, realizándose estudios del suelo natural combinado con residuos desechados por las grandes industrias, con los cuales se han

obtenido resultados positivos que influyen en sus propiedades físicas, químicas y mecánicas”.

En el Perú, existen diferentes zonas que presentan suelos arcillosos ya que se han ido generando a partir de la meteorización a través del tiempo, esto ha generado que existan problemas de transitabilidad debido a la inestabilidad de este tipo de suelos, sobre todo en zona de selva, donde los suelos arcillosos reaccionan con los efectos pluviales constantes.

En relación a las propiedades mecánicas de los suelos Vilca Salazar (2020) afirma que:

“Un suelo se mejora adicionando productos o sustancias químicas o naturales que contribuyen positivamente a sus propiedades. Generalmente se estabiliza un suelo cuando la subrasante es inadecuada o mala, éstos se conocen como estabilizaciones suelo cal, suelo cemento, entre otros”.

A nivel local existen vías que presentan hundimientos e inundaciones de agua por lo que es casi imposible transitar sobre éstas.

“De igual manera, la comitiva del MTC, en compañía de las autoridades de la zona, llevaron a cabo observaciones técnicas en el camino vecinal La Joya-Chonta-Infierno y el tramo Isuyama-Bajo Tambopata-Loero. Ubicadas en el distrito Tambopata”. MTC (16 de agosto del 2021). MTC tiene como fin mejorar la carretera Flor de Acre-Pacahuara de Madre de Dios. Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2021) (párrafo 05).

Causa: Los suelos inestables se han ido generando a partir de la meteorización a través del tiempo. En zona selva a causa de las constantes lluvias estos suelos se saturan y tienen que ser mejorados para poderse ejecutar proyectos de ingeniería sobre éstos.

Consecuencia: Esto ha generado que existan problemas de transitabilidad debido a la inestabilidad de este tipo de suelos, sobre todo en zona de selva, donde los suelos arcillosos reaccionan con los efectos pluviales constantes; a la vez, los suelos inestables al ser empleados para proyectos de ingeniería demandan costos elevados para su mejoramiento.

## **1.2. Formulación del problema:**

### **1.2.1. Problema principal:**

- ✓ ¿En qué medida mejora las propiedades mecánicas de suelos arcillosos incorporando ceniza de carbón para su utilización en vías carrozables en la ciudad de Puerto Maldonado, 2022?

### **1.2.2. Problemas específicos:**

- ✓ ¿En qué medida incide la ceniza de carbón en el índice de plasticidad de suelos arcillosos en la ciudad de Puerto Maldonado, 2022?
- ✓ ¿En qué medida incide la ceniza de carbón en la humedad óptima de suelos arcillosos en la ciudad de Puerto Maldonado, 2022?
- ✓ ¿En qué medida incide la ceniza de carbón en la capacidad de soporte de los suelos arcillosos en la ciudad de Puerto Maldonado, 2022?
- ✓ ¿En qué medida incide la ceniza de carbón en la máxima densidad seca de los suelos arcillosos en la ciudad de Puerto Maldonado, 2022?

## **1.3. Objetivos:**

### **1.3.1. Objetivos Generales:**

- ✓ Determinar las propiedades mecánicas de suelos arcillosos mediante la incorporación de cenizas de carbón para su utilización en vías carrozables en la ciudad de Puerto Maldonado, 2022.

### **1.3.2. Objetivos Específicos:**

- ✓ Analizar el comportamiento mecánico de suelos arcillosos adicionando cenizas de carbón en la ciudad de Puerto Maldonado, 2022.
- ✓ Examinar el mejoramiento de las propiedades mecánicas de suelos arcillosos en la ciudad de Puerto Maldonado, 2022.
- ✓ Determinar la influencia de las cenizas de carbón en las propiedades mecánicas de los suelos arcillosos en la ciudad de Puerto Maldonado, 2022.

### **1.4. Hipótesis:**

#### **1.4.1. Hipótesis General:**

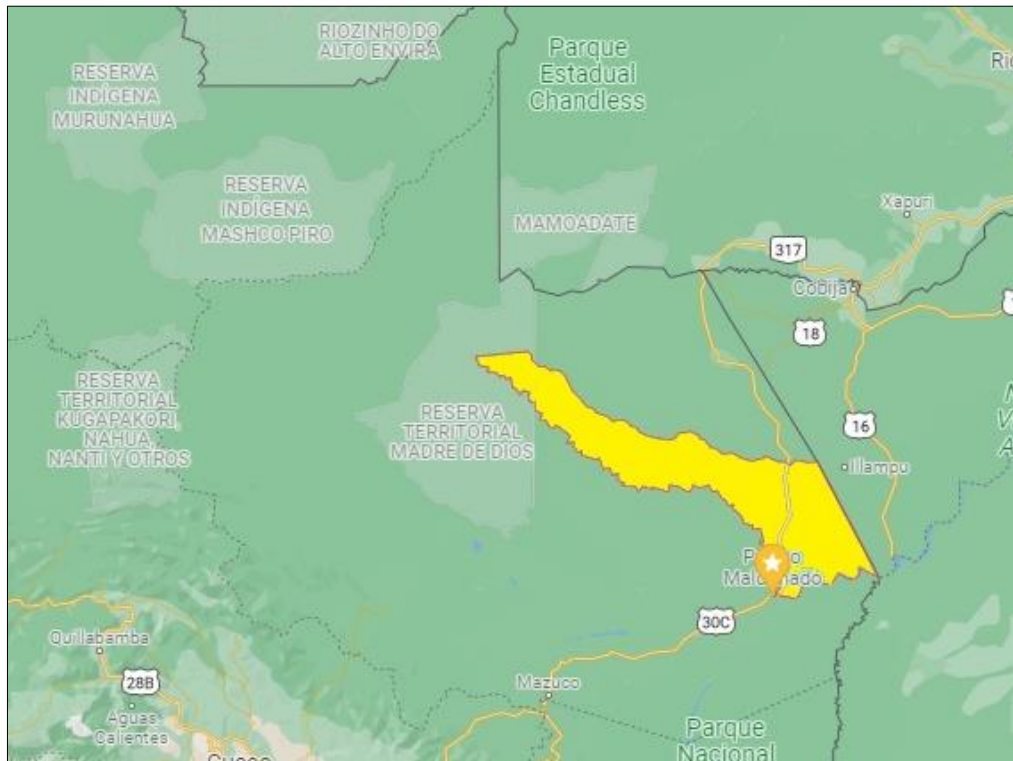
- ✓ Las propiedades mecánicas de suelos arcillosos mejoran con la incorporación de cenizas de carbón para su utilización en vías carrozables en la ciudad de Puerto Maldonado, 2022.

#### **1.4.2. Hipótesis Específicas:**

- ✓ La incorporación de cenizas de carbón disminuye la plasticidad de suelos arcillosos en la ciudad de Puerto Maldonado, 2022.
- ✓ La incorporación de cenizas de carbón influye en la humedad óptima en suelos arcillosos en la ciudad de Puerto Maldonado, 2022.
- ✓ La incorporación de ceniza de carbón aumenta la capacidad de soporte de los suelos arcillosos en la ciudad de Puerto Maldonado, 2022.
- ✓ La incorporación de ceniza de carbón influye en la máxima densidad seca de los suelos arcillosos en la ciudad de Puerto Maldonado, 2022.



Figura N° 3. Ubicación del distrito las Piedras



Fuente: Google Maps

En Puerto Maldonado se tienen problemas de comunicación terrestre, es decir, existen vías que conectan asentamientos humanos, caseríos, etc. que presentan problemas de hundimientos o deformaciones donde en temporadas de lluvia se convierten en vías inaccesibles debido a la acumulación de agua o desplazamiento del suelo inestable.

Figura N° 4. Jr. Javier Heraud – Sector El Triunfo, Puerto Maldonado (Punto N°01)



Fuente: Elaboración propia

Figura N° 5. Jr. Javier Heraud - Sector El Triunfo, Puerto Maldonado (Punto N°02)



Fuente: Elaboración propia

## **2.1 Antecedentes:**

### **2.1.1 Internacionales:**

En diferentes partes del mundo se han investigado diferentes productos que aportan mejorando las propiedades mecánicas de los suelos. En su investigación Nieto (2019) afirma que:

“Satisfactoriamente, se comprobó que, utilizando productos aditivos sólidos tradicionales, Cemento Portland y Cal Viva, se incrementó la resistencia y la capacidad de soporte de los suelos investigados. Igualmente, se evaluó implementando aditivos no tradicionales B y P, junto a Cal Viva y Cemento Portland, basándonos en que el aditivo B (residuo industrial) puede producir la reacción puzolánica, con apoyo de un activador (sólidos aditivos tradicionales)”.

Sobre la capacidad de soporte Barragán & Cuervo (2019) mencionan que: “Evidenciaron efectos positivos en la capacidad de soporte del suelo adicionando CCA al 1%, se logró incrementar su resistencia en 19% en relación al suelo natural”.

De los datos obtenidos Bauzá (2015) concluye que: “Los resultados de los análisis realizados en laboratorio han demostrado que la cal mejora la resistencia de 6 a 9 veces, incrementando la resistencia a la compresión respectivamente”.



Zuluaga (2015) menciona que “la ceniza de carbón es un residuo generado por el en grandes cantidades por la población, por tanto, se puede encontrar en grandes cantidades. La ceniza de carbón de acuerdo a los estudios realizados posee propiedades cementantes”.

Del aporte de la ceniza del carbón Parra (2018) indicó “fue claro apreciar el incremento en la resistencia de los objetos de estudio; esto comprueba que la ceniza de carbón contribuye positivamente en el mejoramiento de los suelos arcillosos”.

### **2.1.2 Nacionales**

A nivel nacional se cuenta con esta materia prima, usada por los pobladores aun como una fuente de energía, desechándose en gran cantidad a diario.

Según Vilca (2020) “se recomienda realizar estudios adicionales usando la ceniza en otras capas del pavimento, ya que la ceniza contiene componentes apropiados para estabilizar el terreno”.

En su investigación Pérez (2012) concluye en que “se tiene la aprobación tanto técnica como económica para llevar a cabo la construcción de pavimentos utilizando cenizas de carbón para mejorar estos suelos”.

De los estudios realizados Mamani & Yataco (2017) afirman que: “La incorporación de las cenizas de fondo reduce el índice de plasticidad y aumenta la densidad seca del suelo arcilloso, aportando positivamente a las propiedades mecánicas de los suelos”.

Según Aguilar & Bravo (2020) “La incorporación de ceniza de fondo influye satisfactoriamente al estabilizar suelos con alto contenido de arcilla en la sub-rasante”.

Cubas & Falen (2016) afirman que, “se recomienda estabilizar suelos SP-SC con cenizas de carbón, debido a que las cenizas de carbón mejoran estos suelos en vías afirmadas mediante activación alcalina”.

### **Los Suelos:**

Se forma a partir de la erosión de rocas y materia orgánica, de acuerdo al lugar los suelos pueden variar, un ejemplo muy claro es el tipo de suelo que se encuentra en el campo y el que se encuentra en la playa.

El suelo es muy importante en la construcción ya que será el soporte principal de la estructura de una edificación.

Figura N° 6. Excavación para sótano.



Fuente: Google Imágenes.

### **Propiedades Físicas de los suelos:**

Las propiedades físicas de los suelos son consistencia, textura, porosidad, estructura, drenaje y profundidad efectiva, con las que se pueden categorizar y analizar el rendimiento de éstos.

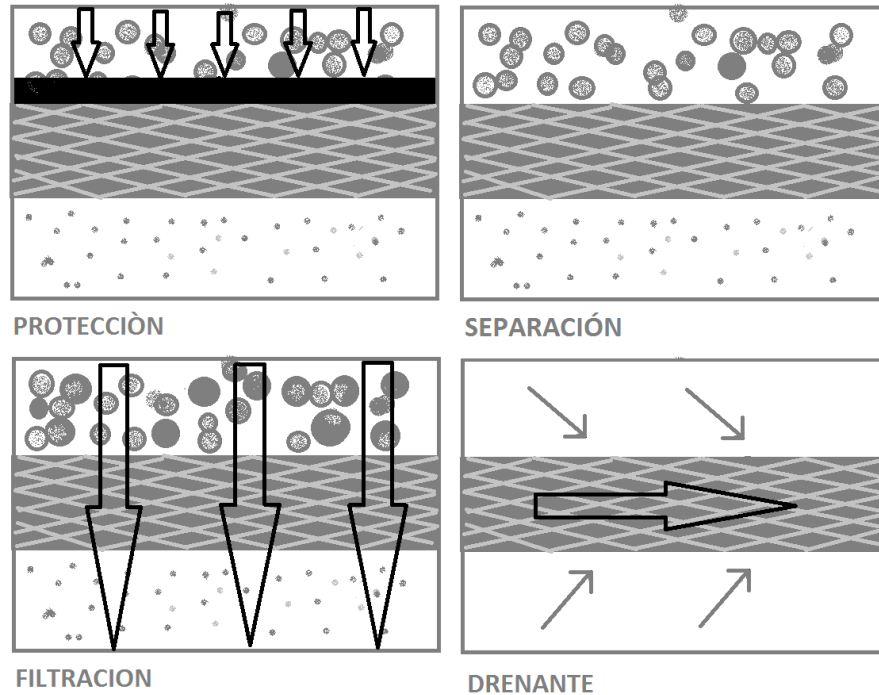
Se pueden mejorar de la siguiente manera:

- Mezclas de suelos: existen diferentes mezclas o combinaciones para mejorar un suelo, se pueden hacer combinaciones con materiales aglomerantes como cal, materiales bituminosos o cemento; o pueden

adicionarse con suelos arenosos en porcentajes variables evaluando su resistencia.

- Membranas geotextiles: son elementos flexibles, laminares y porosos, su estructura presenta enlaces mecánicos entre sus filamentos que le proporcionan propiedades hidráulicas y mecánicas; contribuyendo así a mejorar las propiedades del suelo.

Figura N° 7. Propiedades de los geotextiles.



Fuente: Google Imágenes.

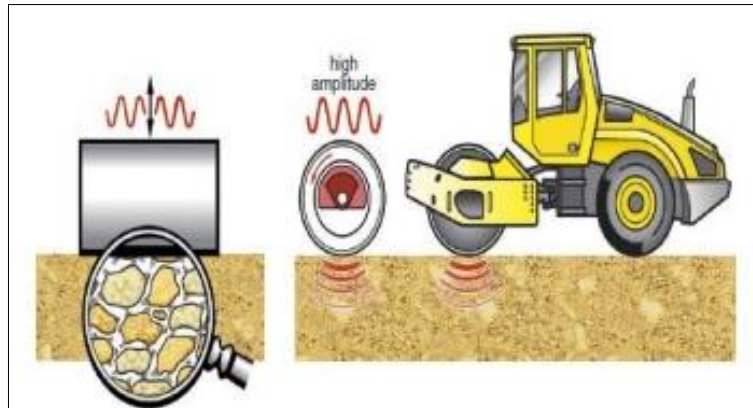
### Propiedades mecánicas de los suelos:

Los suelos de acuerdo a su composición presentan diferentes propiedades mecánicas, se analizan principalmente la capacidad de soporte y el grado de compactación; éstas permiten hacer el diseño de las cimentaciones. Se pueden mejorar estas propiedades de la siguiente manera:

- Compactación: se mejora la calidad del suelo mediante la compresión de partículas entre sí, aumentando su capacidad de soporte.
- Vibro flotación: se aplica en suelos con alta permeabilidad, por ejemplo, suelos arenosos, insertando un dispositivo que produce vibraciones y a la

vez aplica agua en sincronía con el vibrado, de esta manera se produce la licuación de la arena hasta alcanzar la compactación requerida.

Figura N° 8. Compactación por vibración.



Fuente: Google Imágenes.

### **Tipos de Suelos:**

Se clasifican principalmente de acuerdo a sus características físicas. De acuerdo a la funcionalidad tenemos:

- Suelos Arenosos: conformados principalmente por arena y pequeñas partículas de roca; estos suelos no son buenos reteniendo el agua y tienen muy baja cantidad de materia orgánica.
- Suelos Calizos: poseen elevados niveles de sales calcáreas, son fáciles de erosionar y se inundan con facilidad en temporadas lluviosas.
- Suelos Humíferos: debido a la cantidad de materia orgánica que poseen y la facilidad para absorber el agua son los más recomendados para el cultivo.
- Suelos Pedregosos: están compuestos básicamente por rocas en diversos tamaños, no absorben el agua.
- Suelos Mixtos: poseen características de los suelos arcillosos y arenosos.
- Suelos Arcillosos: son aquellos que están conformados por grandes cantidades de arcilla y a su vez contienen arena y barro en pequeñas cantidades. Se caracterizan por ser de un color rojizo, además por el alto contenido de arcilla retienen grandes cantidades de agua formando lagunas pequeñas.

Los suelos arcillosos son fáciles de manipular siempre y cuando estén húmedos, al secarse llegan a poseer gran consistencia, también son caracterizados por poseer un mal drenaje, siendo este el principal motivo para la acumulación de agua, además de hacerlos muy densos.

Figura N° 9. Tipos de Suelos.

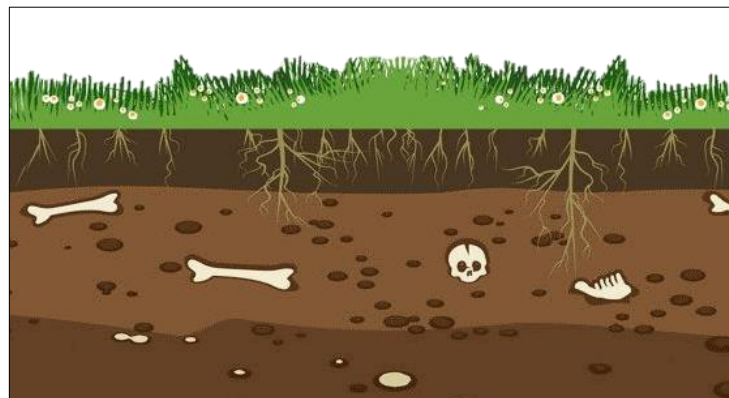


Fuente: Elaboración propia.

### **Suelos Orgánicos:**

Está conformado básicamente por gran cantidad de materia orgánica, es decir, elementos biológicos, restos en descomposición de vegetales y animales. No son recomendables para realizar proyectos de construcción sobre éstos.

Figura N° 10. Suelo Orgánico.



Fuente: Google Imágenes.

### **Clasificación de los Suelos:**

es importante conocer el suelo para realizar proyectos de construcción vial o edificaciones. Los suelos pueden clasificarse según su estructura, textura, composición química, absorción y grado de acidez. En ingeniería clasificamos a los suelos de la siguiente manera:

### **Clasificación SUCS:**

Utilizado en ingeniería geotécnica principalmente, describe la extensión y la contextura de las partículas del suelo, habiéndose realizado antes un análisis granulométrico con tamices ya que puede clasificar un suelo con tamaños menores a 3" pulgadas. Fue presentado por Arthur Casagrande.

Tabla N° 1. Símbolos SUCS

<b>SÍMBOLO</b>	<b>DEFINICIÓN</b>
G	grava
S	arena
M	limo
C	arcilla
O	orgánico

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 2. Letras SUCS

<b>LETRA</b>	<b>DEFINICIÓN</b>
P	pobremente graduado (tamaño de partícula uniforme)
W	bien graduado (tamaños de partícula diversos)
H	alta plasticidad
L	baja plasticidad

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 3. Sistema Unificado de Clasificación de Suelos.

DIVISIONES MAYORES		SÍMBOLO DEL GRUPO	NOMBRE DEL GRUPO
<b>Suelos granulares gruesos</b> el 50% o más se retuvo en el tamiz N°200 (0.075 mm)	<b>Grava</b> < 50% de la fracción gruesa que pasa el tamiz n.º 4 (4.75 mm)	grava limpia menos del 5% pasa el tamiz N°200	GW grava bien graduada, grava fina a gruesa
		grava con más de 12% de finos pasantes del tamiz N° 200	GP grava pobremente graduada
			GM grava limosa
			GC grava arcillosa
	<b>Arena</b> = 50% de fracción gruesa que pasa el tamiz N° 04	Arena limpia menos del 5% pasa el tamiz N°200	SW arena fina a gruesa.
		Arena con más de 12% de finos pasantes del tamiz N° 200	SP arena pobremente graduada
			SM arena limosa
			SC arena arcillosa
<b>Suelos de grano fino</b> más del 50% de la muestra pasa el tamiz No.200 (0.075 mm)	<b>Limos y arcillas</b> límite líquido < 50	inorgánico	ML limo
		orgánico	CL arcilla
	<b>Limos y arcillas</b> límite líquido = 50	inorgánico	OL limo orgánico, arcilla orgánica
		orgánico	MH limo de alta plasticidad, limo elástico
			CH arcilla de alta plasticidad
			OH arcilla orgánica, Limo orgánico
<b>Suelos altamente orgánicos</b>		Pt	turba

Fuente: Elaboración propia.

### Clasificación AASHTO:

Se basa en los mismos parámetros del sistema de SUCS, se usa más para proyectos de carretera y en ocasiones para caracterizar material de relleno.

Este sistema separa al suelo en 7 grupos, del A - 1 al A - 7, calificando a los del grupo A-1 como el mejor suelo para subrasante.

Tabla N° 4. Sistema de Clasificación AASHTO.

SISTEMA DE CLASIFICACION AASHTO											
Clasificación General	Suelos granulares (≈35% pasa 0,08 mm)						Suelos finos (>35% Bajo 0,08 mm)				
Grupo	A-1		A-3	A-2			A-4	A-5	A-6	A-7	
Sub-grupo	A-1a	A-1b		A-2-4	A-2-5	A-2-6*	A-2-7*			A-7-5** A-7-6**	
2mm	=50										
0,5mm	=30	=50	=51								
0,08 mm	=15	=25	=10	=35					=36		
WL				=40	=41	=40	=41	=40	=41	=40	=41
IP	=6		NP	=10	=10	=11	=11	=10	=10	=11	=11
Descripción	Gravas y Arenas		Arena fina	Gravas y arenas limosas y arcillosas			Suelos Limosos		Suelos Arcillosos		
	**A-7-5 : IP=(WL-30)					A-7-6 : IP> (WL-30)					

$$IG = (F - 35)(0,2 + 0,005 (WL - 40)) + 0,01 (F - 15)(IP - 10)$$

Para A-2-6 y A-2-7 : IG = 0,01 (F - 15)(IP - 10)  
 Si el suelo es NP ? IG =0: Si IG<0 ? IG=0

Fuente: Elaboración propia.

### Cenizas de carbón:

Actúan como conglomerante puzolánico al entrar en contacto con agua, las cenizas de carbón están compuestas por silíceos y aluminio que reaccionan en forma química con cal a una temperatura calmada. Las cenizas de carbón según la norma ASTM se dividen en cenizas de fondo, cenizas volantes y mixtas.

- Cenizas del fondo: se sitúan al fondo, tienen diámetros > 0.075 mm. (no pasan la malla N°200).
- Ceniza volante: son los residuos < de 0.075 mm. (malla N°200).

Figura N° 11. Cenizas de carbón.



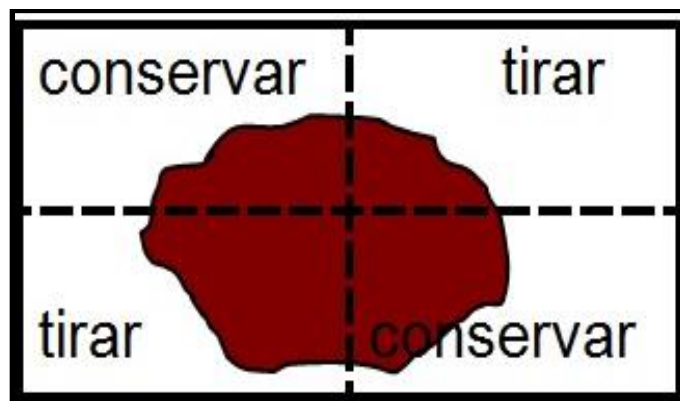
Fuente: Google Imágenes.



Para analizar las propiedades mecánicas del suelo se tienen que realizar los siguientes ensayos:

- a) **Cuarqueo de la muestra:** se realiza dividiendo el espécimen en cuatro partes iguales, separando diagonalmente dos cuartos opuestos.

Figura N° 12. Cuarqueo de la muestra



Fuente: Google Imágenes.

- b) **Contenido de Humedad:** se expresa en porcentaje, es la relación del porcentaje de agua en un determinado suelo.

Para analizar el contenido de humedad se tomará la muestra de la siguiente manera:

Tabla N° 5. Determinación de la muestra para el análisis.

MÁXIMO TAMAÑO DE PARTÍCULA (PASA EL 100%)	TAMAÑO DE MALLA ESTÁNDAR	MASA MÍNIMA RECOMENDADA DE ESPECIMEN DE ENSAYO HÚMEDO PARA CONTENIDOS DE HUMEDAD REPORTADOS A $\pm 0.1\%$	MASA MÍNIMA RECOMENDADA DE ESPECIMEN DE ENSAYO HÚMEDO PARA CONTENIDOS DE HUMEDAD REPORTADOS A $\pm 1\%$
2 mm o menos	2.00 mm (N° 10)	20 g	20 g
4.75 mm	4.760 mm (N° 4)	100 g	20 g
9.5 mm	9.525 mm (3/8")	500 g	50 g
19.0 mm	19.050 mm (3/4")	2.5 kg	250 g
37.5 mm	38.1 mm (1 1/2")	10 kg	1 kg
75.0 mm	76.200 mm (3")	50 kg	5 kg

Fuente: Elaboración propia.

- c) **Análisis Granulométrico:** se realiza para determinar la composición de los tamaños de una muestra. Para ello se utiliza dos balanzas con alta precisión, una con sensibilidad de 0.01g y otra con sensibilidad de 0.1g.

Tabla N° 6. Tamices de malla cuadrada.

TAMICES	ABERTURA (mm)
3"	75,000
2"	50,800
1 ½"	38,100
1"	25,400
¾"	19,000
⅜"	9,500
N° 4	4,760
N° 10	2,000
N° 20	0,840
N° 40	0,425
N° 60	0,260
N° 140	0,106
N° 200	0,075

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a la particularidad de los materiales finos que hay en la muestra, el ensayo se lleva a cabo con el total o una parte de ella, luego de separar los finos por lavado.

Se preparó la muestra como lo describe MTC E 106; se ha constituido en dos fracciones: una no pasa el tamiz N°4 (4,760 mm) y la que pasó dicho tamiz. Se ensayan por de forma independiente.

Como indica en MTC E 106, el peso del suelo seleccionado para ensayar será, para la cantidad de muestra que no pasa el tamiz de 4,760 mm (N° 4) el peso dependerá en su totalidad del tamaño máximo de las partículas:

Tabla N° 7. Determinación de la muestra para el análisis.

DIÁMETRO NOMINAL DE LAS PARTÍCULAS MÁS GRANDES mm.(Pulg.)	PESO MÍNIMO APROXIMADO DE LA PORCIÓN (g.)
9,5 (3/8")	500
19,6 (3/4")	1000
25,7 (1")	2000
37,5 (1 ½")	3000
50,0 (2")	4000
75,0 (3")	5000

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 8. Clasificación de suelos según su tamaño.

TIPO DE MATERIAL	TAMAÑO DE LAS PARTICULAS
Grava	75mm - 4.75 mm
Arena	Arena gruesa: 4.75 mm - 2.00 mm
	Arena media: 2.00 mm - 0.425 mm
	Arena fina: 0.425 mm - 0.075 mm
Material Fino	Limo 0.075 mm - 0.005 mm
	Arcilla Menor a 0.005 mm

Fuente: "Manual de carreteras, suelos, geología, geotecnia y pavimentos"

**d) Plasticidad:** La plasticidad del suelo depende mucho de sus elementos finos, y se determina a través de los Límites de Atterberg. Donde se aprecia que tan sensible es el comportamiento de un suelo a través de sus tres estados: líquido, plástico y sólido.

- Límite líquido (LL): cuando el suelo puede moldearse, es decir, cuando el suelo pasa de un estado semilíquido a un estado plástico.
- Límite plástico (LP): Hasta donde puede moldearse un suelo y pasar a romperse, el suelo pasa de un estado plástico a un estado semisólido.
- Límite de contracción (retracción): El suelo pierde humedad, el suelo pasa del estado semisólido a un estado sólido.

Además de éstos, una característica importante a obtener de los suelos es el Índice de Plasticidad (IP), que viene a ser la diferencia entre el Límite líquido y el Límite plástico. Se determina de la siguiente manera:

$$IP = LL - LP$$

Tabla N° 9. Clasificación de suelos según IP

Índice de plasticidad	Plasticidad	Característica
IP > 20	Alta	suelos muy arcillosos
IP ≤ 20	Media	suelos arcillosos
IP > 7		
IP < 7	Baja	suelos poco arcillosos
IP = 0	No plástico (NP)	suelos exentos de arcilla

Fuente: Manual de carreteras, suelos, geología y pavimentos.

“Se debe considerar que en un suelo un porcentaje elevado de arcilla es riesgoso, debido a su alta vulnerabilidad al agua”. Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2013).

Un IP alto indica que tenemos un suelo con alto contenido de arcilla; y un IP bajo indica que el suelo es poco arcilloso.

Índice de grupo: AASHTO, clasifica a los suelos, se basa en los límites de Atterberg. El índice de grupo de un suelo se determina de la siguiente manera:

$$IG = 0.2(a) + 0.005(ac) + 0.01(bd)$$

Dónde:

- a = F-35 (F = Fracción del porcentaje que pasa el tamiz N° 200 -74 micras).
  - b = F-15 (F = Fracción del porcentaje que pasa el tamiz N° 200 -74 micras).
  - c = LL – 40 (LL = límite líquido).
  - d = IP-10 (IP = índice plástico).
- (Manual de carreteras, suelos, geología, geotecnia y pavimentos, 2013, pg. 38).

Tabla N° 10. Clasificación de suelos según índice de grupo

Índice de grupo	Suelo de Subrasante
IG > 9	Muy pobre
IG está entre 4 a 9	Pobre
IG está entre 2 a 4	Regular
IG está entre 1 - 2	Bueno
IG está entre 0 - 1	Muy bueno

Fuente: “Manual de carreteras, suelos, geología y pavimentos.

**e) Ensayo CBR:** Una vez clasificado los suelos se determina el CBR. Éste viene a ser la capacidad de soporte del suelo, el cual está referido al 95% de la Densidad Máxima Seca y a una penetración de carga de 2.54 mm. Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2013).

Tabla N° 11. Categorías de subrasante

Categorías de Subrasante	CBR
S <sub>0</sub> : Subrasante inadecuada	CBR < 3%
S <sub>1</sub> : Subrasante pobre	De CBR ≥ 3% A CBR < 6%
S <sub>2</sub> : Subrasante regular	De CBR ≥ 6% A CBR < 10%
S <sub>3</sub> : Subrasante buena	De CBR ≥ 10% A CBR < 20%
S <sub>4</sub> : Subrasante muy buena	De CBR ≥ 20% A CBR < 30%
S <sub>5</sub> : Subrasante excelente	De CBR ≥ 30%

Fuente: "Manual de carreteras, suelos, geología y pavimentos.

Subrasante: En ésta se sitúa la estructura del pavimento y está compuesta por suelos con buenas características, de tal manera que pueda resistir las cargas para las que ha sido proyectada.

Sandoval & Rivera (2019), "un pavimento cuenta con diferentes capas, las cuales son determinadas en espesor y calidad de acuerdo a su estructura de soporte, denominada "subrasante".

Los suelos de la subrasante, a una profundidad mayor a 0.60 m, deben poseer un CBR ≥ 6%. En caso el suelo tenga un CBR < 6%, se tiene que estabilizar.

"La subrasante tiene como función recibir y soportar las cargas que transmitan las capas superiores del pavimento y transmitir las a las capas inferiores", afirman Hernández et al. (2016).

Para determinar las propiedades mecánicas del suelo en la subrasante se deben realizar calicatas a 1.5 m de profundidad como mínimo; a continuación, se detalla la cantidad de calicatas a realizar por km:

Tabla N° 12. Numero de calicatas para exploración de suelos.

Tipo de Carretera	Profundidad (m)	Número mínimo de Calicatas	Observación
Autopistas : carreteras de IMDA mayor de 6000 veh/día, de calzadas separadas, cada una con dos o más carriles	1.50m respecto al nivel de subrasante del proyecto	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Calzada 2 carriles por sentido: 4 calicatas xkm xs entido</li> <li>· Calzada 3 carriles por sentido: 4 calicatas xkm xs entido</li> <li>· Calzada 4 carriles por sentido: 6 calicatas xkm xs entido</li> </ul>	Las calicatas se ubicarán longitudinalmente y en forma alternada
Carreteras Duales o Multicarril: carreteras de IMDA entre 6000 y 4001 veh/día, de calzadas separadas, cada una con dos o más carriles	1.50m respecto al nivel de subrasante del proyecto	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Calzada 2 carriles por sentido: 4 calicatas xkm xs entido</li> <li>· Calzada 3 carriles por sentido: 4 calicatas xkm xs entido</li> <li>· Calzada 4 carriles por sentido: 6 calicatas xkm xs entido</li> </ul>	
Carreteras de Primera Clase: carreteras con un IMDA entre 4000-2001 veh/día, de una calzada de dos carriles .	1.50m respecto al nivel de subrasante del proyecto	· 4 calicatas xkm	Las calicatas se ubicarán longitudinalmente y en forma alternada
Carreteras de Segunda Clase: carreteras con un IMDA entre 2000-401 veh/día, de una calzada de dos carriles .	1.50m respecto al nivel de subrasante del proyecto	· 3 calicatas xkm	
Carreteras de Tercera Clase: carreteras con un IMDA entre 400-201 veh/día, de una calzada de dos carriles .	1.50m respecto al nivel de subrasante del proyecto	· 2 calicatas xkm	
Carreteras de Bajo Volumen de Tránsito: carreteras con un IMDA ≤ 200 veh/día, de una calzada.	1.50m respecto al nivel de subrasante del proyecto	· 1 calicata xkm	

Fuente: "Manual de carreteras, suelos, geología y pavimentos.

### **III. METODOLOGÍA**

#### **3.1 Tipo y diseño de investigación**

##### **3.1.1 Tipo de Investigación:**

El presente trabajo de investigación de acuerdo a la metodología empleada es de tipo aplicada ya que se pretende demostrar la hipótesis planteada, es decir, se trata de brindar soluciones a la sociedad de manera práctica, contribuyendo así a la estabilización de suelos con nuevos métodos tecnológicos y además económicos; Chilcón & León (2020) sostienen que, “una investigación aplicada se basa en el estudio de posibilidades y tiene como objetivo resolver un problema real determinado para contribuir a la sociedad”.

Se define también al presente trabajo de investigación con un enfoque cuantitativo debido a que se van a realizar diferentes ensayos para obtener resultados numéricos medibles con los cuales se va a demostrar la eficiencia de la ceniza de carbón como estabilizante de suelos arcillosos. Ugalde & Balbastre (2013) afirman que, “la investigación cuantitativa se utiliza para describir eventos de causa y efecto”.

##### **3.1.2 Diseño de investigación:**

Para la realización de esta tesis se desarrolló mediante un diseño de investigación experimental, en el cual se llevaron a cabo diferentes ensayos para analizar las propiedades mecánicas del suelo, combinando el suelo arcilloso con ceniza de carbón en diferentes porcentajes, para así obtener diferentes resultados y demostrar en qué manera incide la ceniza de carbón en un suelo arcilloso como estabilizante. Según Hernández et al. (2014) en el diseño de una investigación se sigue una estrategia o plan para obtener la información requerida en el proceso de investigación para responder el planteamiento o hipótesis”.

#### **3.2 Variables y Operacionalización**

En la presente investigación se identificó al objeto de estudio, a las variables dependiente e independiente también del tipo cuantitativo.

- **Variable Dependiente (V1):** es aquella cuyo valor depende de la variable independiente.
- **Variable Independiente (V2):** es aquella que se manipula, por lo tanto, su participación incide en la variable dependiente.

“Un experimento requiere la participación de dos variables para generar la causa efecto, es decir, realizar la acción y observar las consecuencias”, Hernández, Fernández & Baptista (2014).

Teniendo así en el desarrollo de esta investigación a las variables de la siguiente manera:

Tabla N° 13. Identificación del objeto de estudio y variables.

OBJETO DE ESTUDIO	VARIABLES	
	VARIABLE INDEPENDIENTE	VARIABLE DEPENDIENTE
Cenizas de carbón	Cenizas de carbón	Mejoramiento de las propiedades físico mecánicas de suelos arcillosos

Fuente: Elaboración propia.

### Operacionalización de variables:

- Definición Conceptual:

Cenizas de carbón (Variable Independiente): Son residuos que poseen cualidades conglomerantes y puzolánicas.

Mejoramiento de las propiedades mecánicas de suelos arcillosos (Variable Dependiente): Es el proceso en el cual un suelo es adicionado con alguna sustancia química o natural que contribuye a elevar sus cualidades.

- Definición Operacional:

Cenizas de carbón (Variable Independiente): Este proceso se desarrollará aplicando ceniza de carbón con el suelo arcilloso inalterado en diferentes cantidades o porcentajes, para conocer como varían las propiedades mecánicas del suelo.



Mejoramiento de las propiedades mecánicas de suelos arcillosos (Variable Dependiente): En este proceso se llevará a cabo la evaluación a través de ensayos en laboratorio para encontrar la solución al problema, además se desarrollará de acuerdo las dimensiones e indicadores establecidos.

- Indicadores:

Cenizas de carbón (Variable Independiente): Se aplicará diferentes porcentajes en relación al suelo: 10%,15% y 20%.

Mejoramiento de las propiedades mecánicas de suelos arcillosos (Variable Dependiente): Contenido de Humedad (%), Límites de Atterberg (%), Capacidad de soporte (%) y Máxima densidad seca (%).

- Dimensiones:

Cenizas de carbón (Variable Independiente): Porcentajes en relación al suelo. (%)

Mejoramiento de las propiedades mecánicas de suelos arcillosos (Variable Dependiente): Porcentajes (%).

- Instrumentos:

Cenizas de carbón (Variable Independiente): Guías de observación, flexómetro, cámara fotográfica, retroexcavadora, balanza electrónica, tamices granulométricos, recipientes, copa casagrande, molde CBR, prensa CBR, martillo Proctor, estufa digital, dial de expansión.

Mejoramiento de las propiedades mecánicas de suelos arcillosos (Variable Dependiente): Proctor modificado, ensayo de límites de Atterberg, CBR, Próctor modificado.

- Escala de medición:

Cenizas de carbón (Variable Independiente): Escala de razón.

Mejoramiento de las propiedades mecánicas de suelos arcillosos (Variable Dependiente): Escala de razón.

### **3.3 Población y muestra**

#### **3.1.1 Población:**

Corresponde a la trocha carrozable denominada como Jr. Javier Heraud, de la ciudad de Puerto Maldonado, del distrito Las Piedras, provincia de Tambopata, en la región de Madre de Dios; compuesta por 3.8 km.

Figura N° 13. Ubicación del área de estudio (Población)



Fuente: Google Earth

### 3.1.2 Muestra:

Serán los puntos vulnerables más críticos en la trocha carrozable.

Figura N° 14. Ubicación del área de estudio (Muestra).



Fuente: Google Earth

## 3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

### 3.4.1 Técnicas de investigación:

La técnica de investigación utilizada en el presente trabajo fue la observación, ya que de acuerdo a la estrategia planteada para el análisis se tuvieron que realizar diferentes ensayos en laboratorio con diferentes porcentajes de ceniza

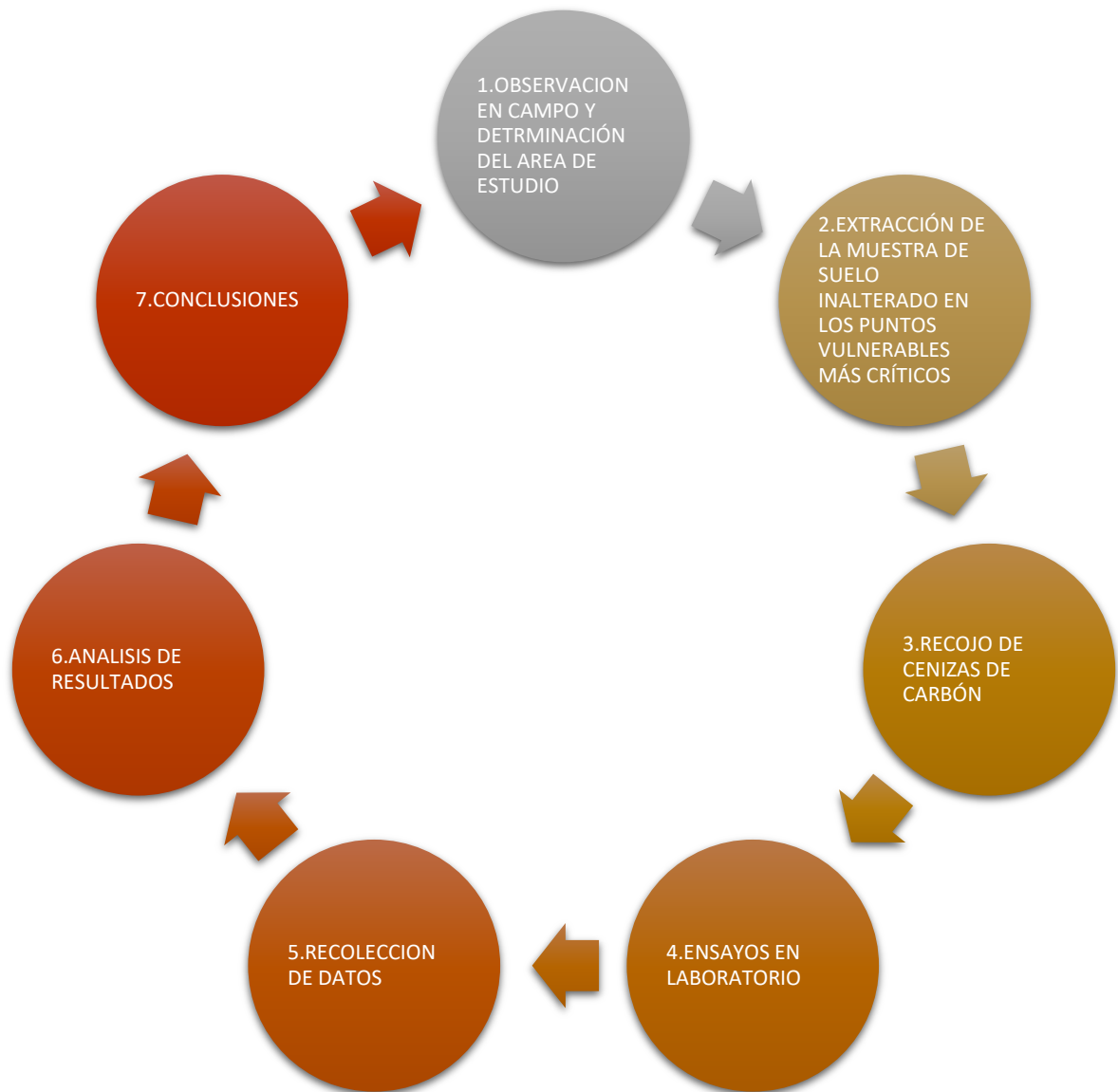
de carbón sobre el suelo inalterado. Hernández et al. (2014) afirman que, “Una buena investigación se obtiene no sólo teniendo el problema bien planteado sino también teniendo una buena técnica para recolectar datos.”

Figura N° 15. Diagrama de flujo técnicas de investigación.



Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 16. Diagrama de flujo técnicas de investigación.



Fuente: Elaboración propia.

### 3.4.2 Instrumentos de recolección de datos:

- Guías de observación de campo
- Flexómetro
- Cámara fotográfica
- Retroexcavadora
- Balanza electrónica
- Tamices granulométricos
- Recipientes

- Copa Casagrande (Límites de consistencia)
- Molde CBR
- Prensa CBR
- Martillo Próctor
- Estufa digital (Horno)
- Dial de expansión

### 3.5 Procedimientos

Los procedimientos para realizar este trabajo de investigación fueron los siguientes:

- **Campo:** se determinó el Jr. Javier Heraud como área de estudio, también se identificaron dos puntos vulnerables para la extracción de muestras, obteniéndose 100kg en cada punto a través de dos calicatas a 1.80m de profundidad.
  - ✓ Identificación del área de estudio.
  - ✓ Alquiler de maquinaria (retroexcavadora).
  - ✓ Extracción de la muestra en el punto N°01.
  - ✓ Extracción de la muestra en el punto N°02.
  - ✓ Recolección de cenizas de carbón.

Figura N° 17. Procedimientos en campo.



Fuente: Elaboración propia.

- **Laboratorio:** al llegar las dos muestras al laboratorio se analizaron ambas para determinar cuál era el punto más crítico con el fin de mejorarlo. Teniendo la muestra seleccionada se procedió de la siguiente manera:

Figura N° 18. Procedimientos en laboratorio.



Fuente: Elaboración propia.

### 3.6 Método de análisis de datos

Después de haber realizado los ensayos necesarios en el laboratorio, iniciamos el análisis de datos en oficina (gabinete) con ayuda de nuestra computadora:

- Ingresamos los datos a la hoja de cálculo Excel 2016.
- Procesamos los datos.
- Evaluamos y comparamos los resultados a través de gráficos, tablas y curvas.

Figura N° 19. Procedimientos en gabinete.



Fuente: Elaboración propia.

### 3.7 Aspectos éticos

El presente trabajo de investigación se ha desarrollado siguiendo la normativa vigente Manual de Ensayo para Materiales aprobado con R.D. N°18-2016-MTC-14. Cumpliendo estrictamente con el “Código de Ética en Investigación” de la Universidad Cesar Vallejo”, Resolución de Consejo Universitario N° 0340-2021/UCV. Además, declaro que la investigación realizada es de Autoría Propia por lo que me someto al análisis de antiplagio y grado de similitud con el Software TURNITIN, como lo determina la institución.





#### 4.1.2 Ensayo Proctor Modificado (ASTM D1557-12, NTP 339.142)

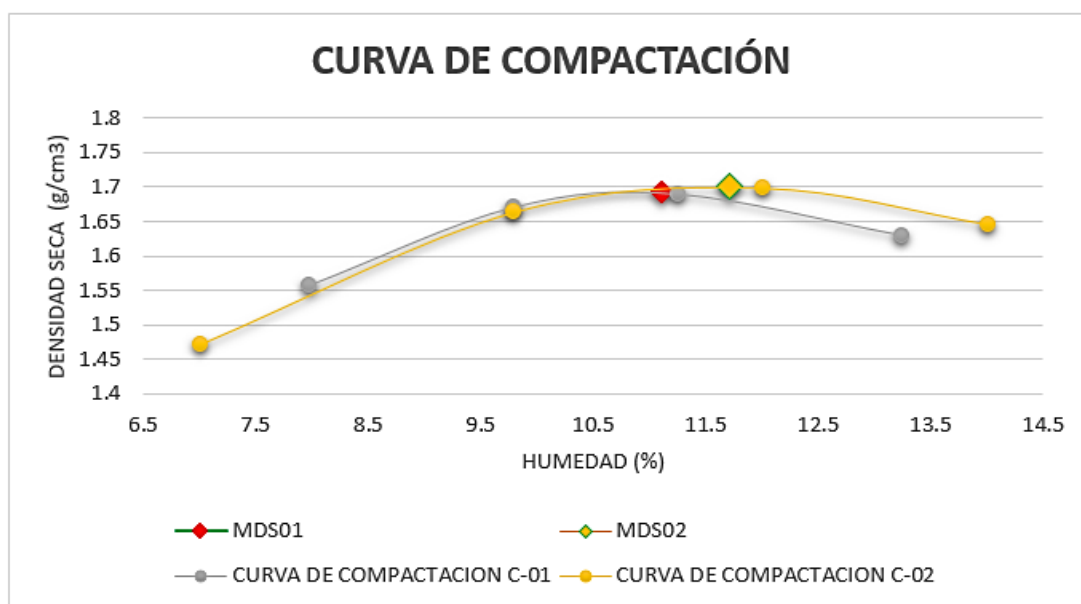
Se resumen en la tabla N°14 y se grafican en la figura 21. Estos corresponden a la CALICATA 01 y CALICATA 02.

Tabla N° 14. Resultados de Proctor Modificado obtenidos en C-01 y C-02.

MUESTRA	MÁXIMA DENSIDAD SECA (g/cm <sup>3</sup> )	HUMEDAD ÓPTIMA (%)
C-01	1.692	11.11
C-02	1.701	11.71

Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 21. Resultados de Proctor Modificado obtenidos en C-01 y C-02 – Curva de compactación.

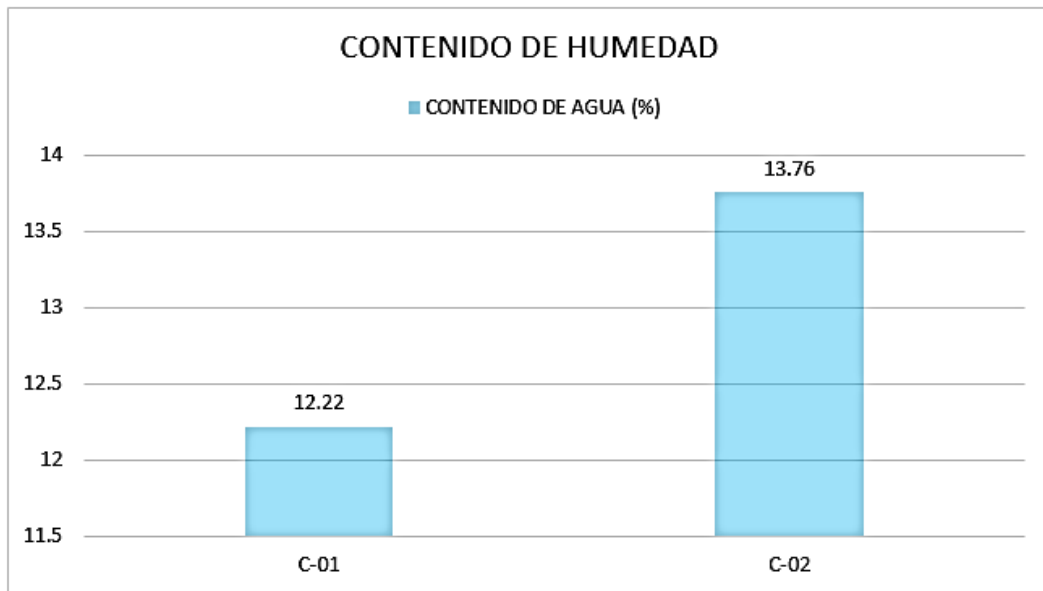


Fuente: Elaboración propia.

#### 4.1.3 Contenido de humedad (ASTM D2216-19, NTP 339.127)

Los contenidos de humedad natural en ambas muestras se observan en la figura N°22.

Figura N° 22. Contenido de humedad natural obtenidas de la Calicata 01 y Calicata 02.



Fuente: Elaboración propia.

#### 4.1.4 Límites de consistencia (ASTM D4318, NTP 339.129)

En la tabla N° 56 se aprecian los resultados obtenidos en laboratorio.

Tabla N° 15. Resultados de Límites de consistencia obtenidos en C-01 y C-02.

MUESTRA	LÍMITE PLÁSTICO (%)	LÍMITE LÍQUIDO (%)	ÍNDICE DE PLASTICIDAD (%)
C-01	22.4	34.3	11.9
C-02	20.7	32.2	11.6

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.1.5 Valor relativo de soporte CBR (ASTM D1883-16, NTP 339.145)

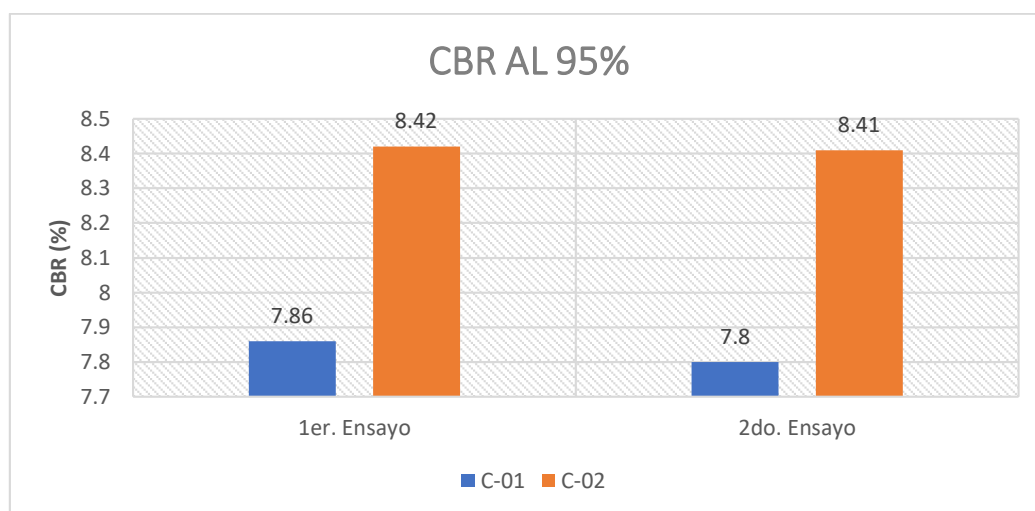
Se realizaron dos ensayos de CBR al 95%.

Tabla N° 16. Resultados de CBR al 95 % obtenidos en C-01 y C-02.

MUESTRA	CBR AL 95% 1er. Ensayo	CBR AL 95% 2do. Ensayo
C-01	7.86	7.80
C-02	8.42	8.41

Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 23. CBR al 95% de la Densidad Máxima Seca en C-01 y C-02.



Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a la tabla N°11 “Categorías de Subrasante”, podemos definir en base al CBR (%) a nuestras muestras de la siguiente manera:

Tabla N° 17. Clasificación de Subrasante según MTC.

MUESTRA	CATEGORÍA DE LA SUBRASANTE SEGUN MTC
C-01	SUBRASANTE REGULAR
C-02	SUBRASANTE REGULAR

Fuente: Elaboración propia.

Habiendo realizado los ensayos correspondientes, podemos afirmar que el C-01 fue determinado como el punto más crítico y al que se mejoró con la incorporación de ceniza de carbón en porcentajes de 10, 15 y 20% en relación al suelo.

## 4.2 Ensayos con adición de cenizas de carbón

### 4.2.1 Ensayo Proctor Modificado (ASTM D1557-12, NTP 339.142)

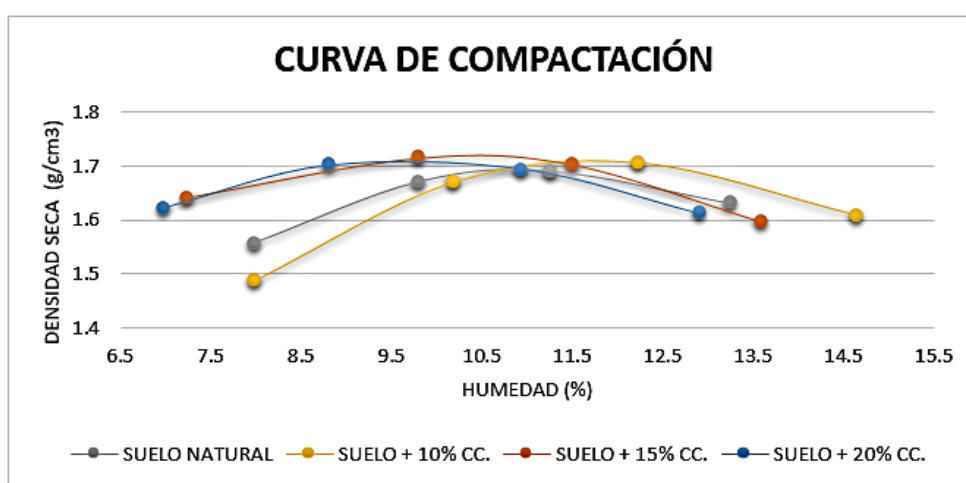
En la tabla N°18 se muestran los valores obtenidos en el ensayo de Proctor modificado, estos corresponden al suelo natural y al suelo combinado con la ceniza de carbón en 10%, 15% y 20%; y se grafican en la figura 24.

Tabla N° 18. Resultados del Ensayo de Proctor Modificado.

MUESTRA	MÁXIMA DENSIDAD SECA (g/cm <sup>3</sup> )	HUMEDAD ÓPTIMA (%)
Suelo Natural	1.692	11.11
Suelo Natural + 10% CC.	1.709	11.95
Suelo Natural + 15% CC.	1.719	10.07
Suelo Natural + 20% CC.	1.710	9.84

Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 24. Curva de compactación.



Fuente: Elaboración propia.

En la figura 24 se aprecia la curva de M.D.S. y el O.C.H. del suelo en estado natural y de las tres combinaciones de suelo y ceniza de carbón.

Se observa también que al incorporar gradualmente las cenizas de carbón al suelo natural se consigue incrementar la M.D.S. en relación al suelo natural. Además, se observa también que al incrementar la ceniza de carbón se disminuye la necesidad de agua para alcanzar la máxima densidad seca posible.

#### 4.2.2 Límites de consistencia (ASTM D4318, NTP 339.129)

En la tabla N°19 se aprecian los resultados obtenidos en laboratorio.

Tabla N° 19. Resultados del Ensayo Límites de consistencia.

MUESTRA	LÍMITE PLÁSTICO (%)	LÍMITE LÍQUIDO (%)	ÍNDICE DE PLASTICIDAD (%)
Suelo Natural	22.40	34.30	11.90
Suelo Natural + 10% CC.	19.40	27.20	7.90
Suelo Natural + 15% CC.	18.80	25.70	6.90
Suelo Natural + 20% CC.	18.90	25.00	6.20

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.2.3 Valor relativo de soporte CBR (ASTM D1883-16, NTP 339.145)

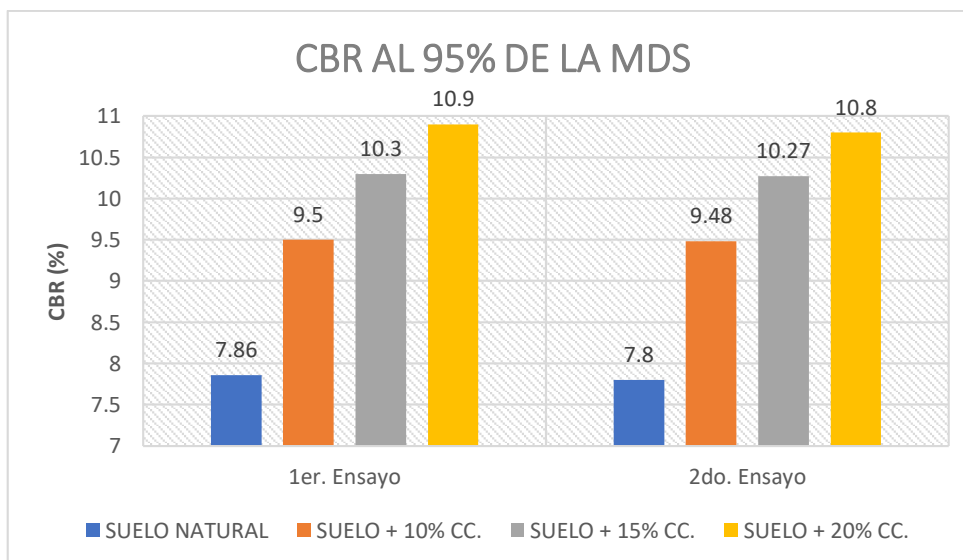
Los resultados de CBR se pueden observar en la tabla N°20 y se grafican en la figura N° 25, suelo en estado natural y el suelo combinado con cenizas de carbón.

Tabla N° 20. Ensayo CBR.

MUESTRA	CBR AL 95% 1er. Ensayo	CBR AL 95% 2do. Ensayo
Suelo Natural C-01	7.86	7.80
Suelo Natural + 10% CC.	9.50	9.48
Suelo Natural + 15% CC.	10.30	10.27
Suelo Natural + 20% CC.	10.90	10.80

Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 25. CBR.



Fuente: Elaboración propia.

### 4.3 Contratación de la hipótesis:

#### Análisis estadístico con el método ANOVA:

Se utilizó el método ANOVA, con un diseño al azar, donde se llevó a cabo un análisis de varianza con 5% de significancia.

Resultados CBR:

Tabla N° 21. Resumen CBR al 95%

<b>CBR AL 95%</b>				
	<b>SUELO NATURAL C-01</b>	<b>SUELO + 10% CC.</b>	<b>SUELO + 15% CC.</b>	<b>SUELO + 20% CC.</b>
1er. Ensayo	7.86	9.50	10.30	10.90
2do. Ensayo	7.80	9.48	10.27	10.80

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla N° 21 se detallan los resultados de los ensayos de CBR realizados del suelo en estado natural y el suelo combinado con la ceniza de carbón en 10%, 15% y 20%.

#### Análisis de varianza de un factor:

Tabla N° 22. Resumen

<b>Grupos</b>	<b>Cuenta</b>	<b>Suma</b>	<b>Promedio</b>	<b>Varianza</b>
Suelo Natural	2	15.65854617	7.829273084	0.001713827
Suelo + 10% CC.	2	18.98	9.49	0.0002
Suelo + 15% CC.	2	20.57	10.285	0.00045
Suelo + 20% CC.	2	21.70	10.85	0.005

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 23. Análisis de varianza

<b>Origen de las Variaciones</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Grados de libertad</b>	<b>Promedio de los cuadrados</b>	<b>F</b>	<b>Probabilidad</b>	<b>Valor crítico para F</b>
Entre grupos	10.35712483	3	3.452374945	1875.315631	9.46258E-07	6.591382116
Dentro de los grupos	0.007363827	4	0.001840957			
Total	10.36448866	7				

Fuente: Elaboración propia.

Ubicación del Punto Crítico: Numerador/ denominador.

✓  $GL = 4 - 1 = 3$

✓  $GL = 8 - 4 = 4$

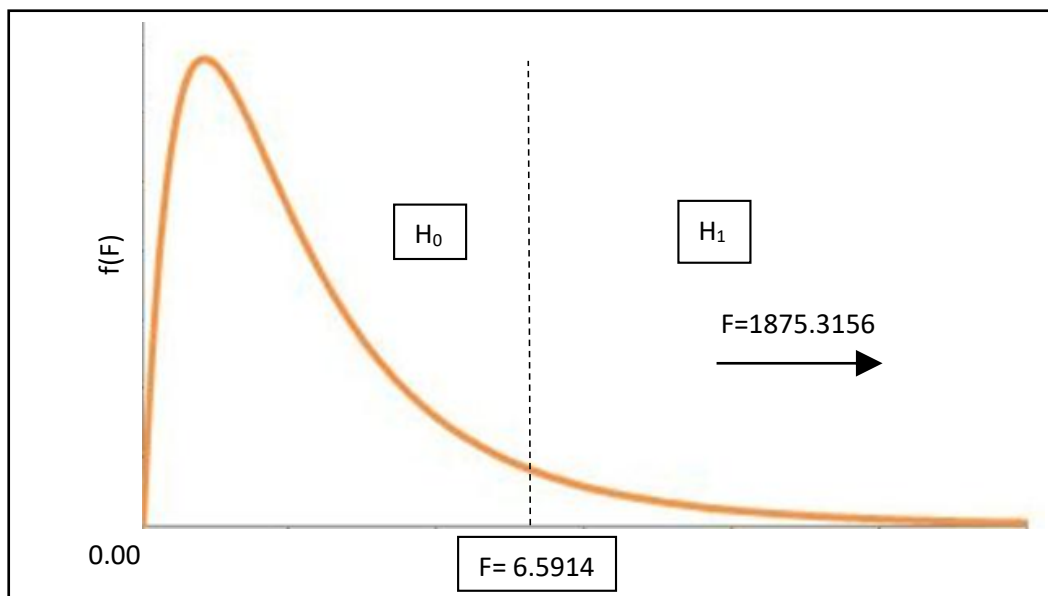
Figura N° 26. Valor Crítico de "F"

F - Distribution ( $\alpha = 0.05$  in the Right Tail)

df <sub>2</sub> \ df <sub>1</sub>		Numerator Degrees of Freedom						
		1	2	3	4	5	6	7
minor Degrees of Freedom	1	161.45	199.50	215.71	224.58	230.16	233.99	236.77
	2	18.513	19.000	19.164	19.247	19.296	19.330	19.353
	3	10.128	9.5521	9.2766	9.1172	9.0135	8.9406	8.8867
	4	7.7086	9.9443	6.5914	6.3882	6.2561	6.1631	6.0942
	5	6.6079	5.7861	5.4095	5.1922	5.0503	4.9503	4.8759
	6	5.9874	5.1433	4.7571	4.5337	4.3874	4.2839	4.2067
	7	5.5914	4.7374	4.3468	4.1203	3.9715	3.8660	3.7870
	8	5.3177	4.4590	4.0662	3.8379	3.6875	3.5806	3.5005
	9	5.1174	4.2565	3.8625	3.6331	3.4817	3.3738	3.2927
	10	4.9646	4.1028	3.7083	3.4780	3.3258	3.2172	3.1355
	11	4.8443	3.9823	3.5874	3.3567	3.2039	3.0946	3.0123
	12	4.7472	3.8853	3.4903	3.2592	3.1059	2.9961	2.9134
	13	4.6672	3.8056	3.4105	3.1791	3.0254	2.9153	2.8321
	14	4.6001	3.7389	3.3439	3.1122	2.9582	2.8477	2.7642
	15	4.5431	3.6823	3.2874	3.0556	2.9013	2.7905	2.7066
	16	4.4940	3.6337	3.2389	3.0069	2.8524	2.7413	2.6572
	17	4.4513	3.5915	3.1968	2.9647	2.8100	2.6987	2.6143

Fuente: Google Imágenes.

Figura N° 27. Ubicación de "F" Crítica



Fuente: Elaboración propia.

### Formulación de Hipótesis:

$H_0 = \mu_{GC} = \mu_{GE}$ : La incorporación de cenizas de carbón no contribuye en las propiedades mecánicas de un suelo arcilloso. (Hipótesis nula).

$H_1 = \mu_{GC} \neq \mu_{GE}$ : La incorporación de cenizas de carbón contribuye en las propiedades mecánicas de un suelo arcilloso. (Hipótesis alterna).

✓ Introducción al análisis de varianza y la distribución de "F"

$$F = \frac{S^2_B}{S^2_w} = \frac{\text{VARIANZA ENTRE GRUPOS}}{\text{VARIANZA DENTRO DE LOS GRUPOS}}$$
$$S^2_B = \frac{n_1(\bar{x}_1 - \bar{x})^2 + n_2(\bar{x}_2 - \bar{x})^2 + \dots + n_k(\bar{x}_k - \bar{x})^2}{k - 1}$$
$$S^2_w = \frac{(n_1 - 1)s_1^2 + (n_2 - 1)s_2^2 + \dots + (n_k - 1)s_k^2}{N - k}$$

EL valor de "F" = 1875.315631, se ubica hacia la derecha, es decir, no se encuentra dentro del área crítica, por tanto, es aceptable la hipótesis alterna ( $H_1$ ).

### Interpretación de los resultados estadísticos obtenidos:

De acuerdo al análisis estadístico realizado mediante el método estadístico ANOVA, se obtiene que: "F" = 1875.315631, valor que se encuentra ubicado a la derecha del punto crítico, por lo tanto, la hipótesis nula "la incorporación de cenizas de carbón no contribuye en las propiedades mecánicas de un suelo arcilloso" se encuentra en la zona de rechazo, entonces, rechazamos la hipótesis nula y aceptamos la hipótesis alterna "la incorporación de cenizas de carbón contribuye en las propiedades mecánicas de un suelo arcilloso".



## **V. DISCUSIÓN**

De acuerdo a los resultados obtenidos se formularon las discusiones teniendo en cuenta los objetivos y limitaciones del estudio.

### 5.1 Influencia de la ceniza de carbón en los Límites de Atterberg de los suelos arcillosos.

#### **Resultados:**

De los resultados obtenidos en el laboratorio, expresados en la Tabla N°19, podemos apreciar que el suelo en estado natural posee un I.P. de 11.90%, el suelo + 10% CC. obtiene un I.P. de 7.90%, el suelo + 15% CC. obtiene un I.P. de 6.90% y el suelo + 20% CC. obtiene un I.P. de 6.20%, entonces, podemos afirmar que incorporando mayor porcentaje de cenizas de carbón al suelo disminuye el Índice de plasticidad.

#### **Antecedente:**

Chilcón & León (2020), “de los resultados obtenidos en la tabla podemos afirmar que mientras mayor sea el porcentaje de ceniza de carbón, el índice de plasticidad va disminuyendo”.

Goñas (2019), “la adición de ceniza de carbon disminuye el Índice de plasticidad del suelo en estado natural”

#### **Hipótesis:**

La incorporación de cenizas de carbón disminuye la plasticidad de suelos arcillosos en la ciudad de Puerto Maldonado, 2022. De acuerdo a los resultados obtenidos a través del ensayo de Límites de consistencia podemos afirmar que la ceniza de carbón influye positivamente en el índice de plasticidad de los suelos arcillosos.

### 5.2 Influencia de la ceniza de carbón en el contenido de humedad de los suelos arcillosos.

**Resultados:**

De los resultados obtenidos en laboratorio, expresados en la Tabla N°18, podemos apreciar que la humedad óptima del suelo en estado natural es de 11.11%, el suelo + 10% CC. alcanza una humedad óptima de 11.95%, el suelo + 15% CC. alcanza una humedad óptima de 10.07% y el suelo + 20% CC. alcanza una humedad óptima de 9.84%, entonces, podemos afirmar que la incorporación de cenizas de carbón influye en la humedad óptima de los suelos arcillosos.

**Antecedente:**

Pérez (2012), “la adición de ceniza volante disminuye el contenido de humedad del suelo arcilloso”.

Ariza et al. (2016) “a mayor porcentaje de ceniza, la masas unitaria seca y el óptimo contenido de humedad disminuyen de manera proporcional”.

**Hipótesis:**

La incorporación de cenizas de carbón permite alcanzar la humedad óptima en suelos arcillosos en la ciudad de Puerto Maldonado, 2022. A través de los ensayos de Proctor modificado realizados a las muestras con diferentes porcentajes de cenizas de carbón podemos afirmar que las adiciones de cenizas de carbón permiten alcanzar significativamente la humedad óptima en suelos arcillosos.

### 5.3 Influencia de la ceniza de carbón en la capacidad de soporte de los suelos arcillosos.

**Resultados:**

De los resultados obtenidos en laboratorio, expresados en la Tabla N°20, podemos apreciar que el suelo en estado natural en el primer y segundo ensayo posee un CBR. de 7.86% y 7.80% respectivamente, el suelo + 10% CC. en el primer y segundo ensayo alcanza un CBR. de 9.50% y 9.48% respectivamente, el suelo + 15% CC. en el primer y segundo ensayo alcanza un CBR. de 10.30%

y 10.27% respectivamente; y el suelo + 20% CC. en el primer y segundo ensayo alcanza un CBR. de 10.90% y 10.80% respectivamente, entonces, podemos afirmar que incorporando mayor porcentaje de cenizas de carbón al suelo incrementamos su capacidad de soporte.

**Antecedente:**

Vilca (2020) “las cenizas poseen propiedades cementantes que al ser combinados con el suelo permiten alcanzar altos porcentajes de CBR”.

Cañar (2017) “la adición de cenizas de carbon en suelos arcillosos influye favorablemente mejorando la resistencia al corte y el CBR”

**Hipótesis:**

La incorporación de cenizas de carbón aumenta la capacidad de soporte en suelos arcillosos en la ciudad de Puerto Maldonado, 2022. A través de los ensayos de CBR realizados a las muestras con diferentes porcentajes de cenizas de carbón podemos afirmar que las adiciones de cenizas de carbón incrementan significativamente el porcentaje de CBR en los suelos arcillosos.

5.4 Influencia de la ceniza de carbón en la máxima densidad seca de los suelos arcillosos.

**Resultados:**

De acuerdo a los resultados obtenidos en laboratorio y plasmados en la Tabla N°18, podemos apreciar que el suelo en estado natural posee M.D.S. de 1.692%, el suelo + 10% CC. obtiene M.D.S. de 1.709%, el suelo + 15% CC. obtiene M.D.S. de 1.719% y el suelo + 20% CC. obtiene M.D.S. de 1.71%, entonces, podemos afirmar que la incorporación de cenizas de carbón influye en la máxima densidad seca de los suelos arcillosos.

**Antecedente:**

Huancas (2020) “la máxima densidad seca se alcanza disminuyendo la cantidad de vacíos en el terreno para así mejorar su resistencia o rigidez”.

**Hipótesis:**

La incorporación de ceniza de carbón influye en la máxima densidad seca de los suelos arcillosos en la ciudad de Puerto Maldonado, 2022. A través de los ensayos de Proctor modificado realizados a las muestras con diferentes porcentajes de cenizas de carbón podemos afirmar que las adiciones de cenizas de carbón incrementan la máxima densidad seca en los suelos arcillosos.

## VI. CONCLUSIONES

Analizar en qué medida mejora las propiedades mecánicas de los suelos arcillosos incorporando ceniza de carbón para su utilización en vías carrozables en la ciudad de Puerto Maldonado, 2022.

Se determinó de qué manera influye la ceniza de carbón en el mejoramiento de las propiedades mecánicas de los suelos arcillosos incorporando ceniza de carbón para su utilización en vías carrozables en la ciudad de Puerto Maldonado, 2022, observando el comportamiento del suelo natural y el comportamiento del suelo adicionado con cenizas de carbón en diferentes porcentajes.

- a) Óptimo contenido de humedad: suelo natural 11.11%, suelo + 10%CC. 11.95%, suelo natural + 15%CC. 10.07% y suelo natural + 20% CC. 9.84%.

Se evidencia que a mayor porcentaje de cenizas de carbón el Óptimo contenido de humedad disminuye de acuerdo con los ensayos de Proctor Modificado.

- b) Índice de plasticidad: suelo natural 11.90%, suelo + 10%CC. 7.90%, suelo natural + 15%CC. 6.90% y suelo natural + 20% CC. 6.20%.

Se concluye que a mayor porcentaje de cenizas de carbón el índice de plasticidad disminuye de acuerdo con los ensayos de Límites de consistencia.

- c) Capacidad de soporte (CBR 1er. Ensayo): suelo en estado natural en el primer y segundo ensayo posee un CBR. de 7.86% y 7.80% respectivamente, el suelo + 10% CC. en el primer y segundo ensayo alcanza un CBR. de 9.50% y 9.48% respectivamente, el suelo + 15% CC. en el primer y segundo ensayo alcanza un CBR. de 10.30% y 10.27% respectivamente; y el suelo + 20% CC. en el primer y segundo ensayo alcanza un CBR. de 10.90% y 10.80% respectivamente.

Se concluye que a mayor porcentaje de cenizas de carbón el CBR incrementa significativamente, de acuerdo a los ensayos realizados en laboratorio.

- d) Máxima densidad seca: suelo natural 1.692%, suelo + 10%CC. 1.709%, suelo natural + 15%CC. 1.719% y suelo natural + 20% CC. 1.710%. Se evidencia que a mayor porcentaje de cenizas de carbón la máxima densidad seca incrementa, entonces podemos afirmar que las cenizas de carbón mejoran la capacidad de soporte de los suelos arcillosos.

De acuerdo a los resultados obtenidos podemos decir que, el suelo natural tiene una baja capacidad de soporte, sin embargo, al incorporarle ceniza de carbón, la mezcla resultante mejora considerablemente su resistencia en relación al suelo natural, esto se debe a que la ceniza de carbón posee propiedades puzolánicas y aportan mayor estabilidad estructural al suelo.

Se concluye que la ceniza de carbón puede ser utilizada en el mejoramiento de los suelos arcillosos para ser usados como subrasantes. La mezcla óptima para la combinación de suelo y ceniza de carbón es el 15% porque se alcanza un considerable incremento en CBR en relación al suelo natural de 10.30% y según la clasificación de subrasantes del MTC nuestro resultado está clasificado como "SUBRASANTE BUENA".

## **VII. RECOMENDACIONES**

1. Se recomienda utilizar un 15% de CC. para una mezcla óptima porque se alcanza un considerable incremento en CBR en relación al suelo natural de 10.30%.
2. Se recomienda analizar a la ceniza de carbón para mejorar las propiedades mecánicas en otros tipos de suelos.
3. Se recomienda hacer estudios de mejoramiento de propiedades mecánicas en otras capas del pavimento como base o sub base, ya que la ceniza de carbón posee componentes apropiados para la estabilización.
4. Se recomienda realizar estudios más avanzados con la ceniza de carbón para determinar su utilización en otros climas y escenarios.

## REFERENCIAS

1. Aguilar Paravecino, H. O., & Bravo Gutierrez, J. C. (2020). *Evaluación de la ceniza de fondo para la estabilización de suelos arcillosos provenientes de la zona ladrillera del distrito de San Jerónimo - Cusco*. Cusco - Perú.
2. Altamirano Navarro, G. J., & Diaz Sandino, A. E. (2015). *Estabilización de suelos cohesivos por medio de Cal en las Vías de la comunidad de San Isidro del Pegón, municipio Potosí - Rivas*. Potosí, Rivas.
3. Ariza Gómez, C. C., Rojas Novoa, C. A., & Romero Fuentes, Y. (2016). *Evaluación de la capacidad de soporte (CBR) de un suelo expansivo con adición de ceniza volante*. Bogotá.
4. Barragán Garzón, C. A., & Cuervo Camacho, H. A. (2019). *Análisis del comportamiento físico mecánico de la adición de ceniza de cascarilla de arroz de la variedad blanco a un suelo areno-arcilloso*. Colombia.
5. Bauzá Castelló, J. D. (2015). *EL tratamiento de los suelos arcillosos con cal. Comportamiento mecánico y evolución a largo plazo ante cambios de humedad*. Sevilla.
6. Bueno Regalado, J. A., & Torre Maza, H. D. (2018). *Mejoramiento de la estabilidad del suelo con cenizas de carbón con fines de pavimentación en el barrio del Pinar, Independencia, Huaraz - 2018*. Lima.
7. Cañar Tiviano, E. S. (2017). *Análisis comparativo de la resistencia al corte y estabilización de suelos arenosos finos y arcillosos combinadas con ceniza de carbón*. Ambato, Ecuador.
8. Chilcón Chicón, R., & León Polo, G. O. (2020). *Evaluación de estabilización de suelos arcillosos aplicando ceniza de carbón en la subrasante de la AV. Cuzco, Distrito de San Martín de Porres, 2020*. Lima, Perú.
9. Cubas Benavides, K., & Falen Chavez Arroyo, J. C. (2016). *Evaluación de las cenizas de carbón para la estabilización de suelos mediante activación alcalina y aplicación en carreteras no pavimentadas*. Pimentel - Chiclayo.
10. Goñas Labajos, O. (2019). *Estabilización de suelos con cenizas de carbón para uso como subrasante mejorada*. Chachapoyas.
11. Hernández Lara, J. A., Mejía Ramírez, D. R., & Zelaya Amaya, C. E. (2016). *Propuesta de estabilización de suelos arcillosos para su aplicación en pavimentos rígidos en la facultad multidisciplinaria oriental de la universidad de el Salvador*. El Salvador.
12. Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, M. (2014). *Metodología de la Investigación (6ta Edición)*. México.



13. Huancas Correas, D. (2020). *Incremento de la energía de compactación y su influencia en la máxima densidad seca y óptimo contenido de humedad de suelos granulares de canteras en el Perú*. Lima.
14. Mamani Barriga, L. E., & Yataco Quispe, A. J. (2017). *Estabilización de suelos arcillosos aplicando ceniza de madera de fondo, producto de ladrilleras artesanales en el departamento de Ayacucho*. Lima.
15. Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2013). *Manual de carreteras, suelos, geología, geología, geotecnia y pavimentos*. Lima.
16. Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (16 de agosto de 2021). *Plataforma digital única del Estado peruano*. Obtenido de <https://www.gob.pe/institucion/mtc/noticias/511728-mtc-mejorara-la-carretera-flor-de-acre-pacahuara-de-madre-de-dios>
17. Nieto Vega, J. S. (2019). *Evaluación del uso de aditivos químicos no tradicionales como estabilizadores de suelos limosos para caminos productivos de bajo volumen de tránsito*. Chile.
18. Parra Gomez, M. G. (2018). *Estabilización de un suelo con cal y ceniza volante*. Bogotá.
19. Pérez Collantes, R. d. (2012). *Estabilización de suelos arcillosos con cenizas de carbón para su uso como subrasante mejorada y/o sub base de pavimentos*. Lima.
20. Sandoval Vallejo, E. A., & Rivera Mena, W. A. (2019). Correlación del CBR con la resistencia a la compresión confinada. *Revista Ciencia e Ingeniería Neogranadina Vol.29(1)*, 135-152.
21. Ugalde Binda, N., & Balbastre Benavent, F. (2013). *Investigación Cuantitativa e Investigación Cualitativa: Buscando las ventajas de las diferentes metodologías de investigación*. Costa Rica.
22. Vilca Salazar, D. R. (2020). *Estabilización de suelos con ceniza natural en los jirones Union y Primero de Mayo del distrito de Viques*. Lima, Peru.
23. Zuluaga, D. M. (2015). *Valoración de las cenizas de carbon para la estabilización de suelos mediante activación alcalina y su uso en vías no pavimentadas*. Medellín.

## ANEXOS

### Operacionalización de variables

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	INSTRUMENTOS	ESCALA DE MEDICIÓN
Cenizas de carbón	Son residuos que poseen cualidades conglomerantes y puzolánicas.	Este proceso se desarrollará aplicando ceniza de carbón con el suelo arcilloso inalterado en diferentes cantidades o porcentajes, para conocer como varían las propiedades mecánicas del suelo.	Aplicación de la ceniza en diferentes porcentajes (%)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ceniza al 10%</li> <li>- Ceniza al 15%</li> <li>- Ceniza al 20%</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Guías de observación</li> <li>- Flexómetro</li> <li>- Cámara fotográfica</li> <li>- Retroexcavadora</li> <li>- Balanza electrónica</li> <li>- Tamices granulométrico</li> <li>- Recipientes</li> <li>- Copa casagrande</li> <li>- Molde CBR</li> <li>- Prensa CBR, etc.</li> </ul>	ESCALA DE RAZÓN
Mejoramiento de las propiedades mecánicas de suelos arcillosos	Es el proceso en el cual un suelo es adicionado con alguna sustancia química o natural que contribuye a elevar sus cualidades.	En este proceso se llevará a cabo la evaluación a través de ensayos en laboratorio para encontrar la solución al problema, además se desarrollará de acuerdo las dimensiones e indicadores establecidos.	Propiedades mecánicas de los suelos arcillosos.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Contenido de Humedad</li> <li>- Límites de Atterberg</li> <li>- Capacidad de soporte</li> <li>- Máxima densidad seca</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Proctor modificado</li> <li>- Ensayo de Límites de Atterberg</li> <li>- CBR</li> <li>- Proctor modificado</li> </ul>	ESCALA DE RAZÓN

Fuente: Elaboración propia



## ENSAYOS DE LABORATORIO

### GRANULOMETRÍA C-01:

## GEOTECNIA E INGENIEROS E.I.R.L.

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS - CONCRETO Y MATERIALES - ESTUDIOS GEOTECNICOS (SUELOS Y ROCAS) - CONTROL DE CALIDAD DE OBRAS CIVILES  
CONSULTORIA ESPECIALIZADA - PERFORACION Y SONDAJE PARA ACUIFEROS Y CIMENTACIONES PROFUNDAS - HINCADO DE PILOTES - PROSPECCION GEOFISICA  
PUERTO MALDONADO JR. CUSCO 138 - TAMBOPATA CUSCO URB. MEZA REDONDA A-9 - CUSCO L 982737067 082-574754 RUC : 20490031961

### ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO (ASTM D6913, NTP 400.012)

Datos del proyecto

**Proyecto :** TESIS : MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS MEDIANTE LA INCORPORACIÓN DE CENIZAS DE CARBÓN PARA VÍAS CARROZABLES, PUERTO MALDONADO, 2022.

**Lugar :** MADRE DE DIOS.

**Dist/Prov. :** TAMBOPATA - TAMBOPATA.

**Solicitante :** BACH. JEAN CARLOS HUAMANI DE LA CRUZ

**Hecho por :** ING. DEMI JOSUE CARAZAS MUÑIZ

**Fecha :** 9/03/2022

Datos de la Muestra

MUESTRA PROPORCIONADA POR EL SOLICITANTE

**Calicata :** C-1

**Profundidad :** 1.50 m.

**condicion :** Alterada

Datos del Equipo Calibrado

**Equipo :** TAMIZ GRANULOMETRICO

**Fabricado :** SEGÚN NORMA ASTM E-11

Datos y resultados de ensayo

Tamiz	Diam. (mm)	Peso Ret. (g)	Ret. Parcial (%)	Ret. Acum. (%)	Que pasa (%)		
2 1/2"	63.50	0.0	0.0	0.0	100.0	Fraccion Gruesa	
2"	50.60	0.0	0.0	0.0	100.0		
1 1/2"	38.10	0.0	0.0	0.0	100.0		
1"	25.40	0	0.0	0.0	100.0		
3/4"	19.05	0	0.0	0.0	100.0		
1/2"	12.70	0	0.0	0.0	100.0		
3/8"	9.53	0	0.0	0.0	100.0		
1/4"	6.35	0	0.0	0.0	100.0		
4	4.76	0.00	0.00	0.00	100.0		
8	2.36	2.30	0.20	0.20	99.8		
10	2.00	6.80	0.59	0.79	99.2		
16	1.18	10.50	0.91	1.70	98.3		
20	0.85	11.40	0.99	2.69	97.3		
30	0.60	15.40	1.34	4.02	96.0		
40	0.42	19.80	1.72	5.74	94.3		
50	0.30	22.50	1.95	7.69	92.3		
100	0.15	60.50	5.25	12.94	87.1		
200	0.07	148.60	12.88	25.82	74.2		
< 200		855.60	74.18	100.00			
<b>Σ Total:</b>		1153.4					

**Datos de ensayo**

Peso S. Inicial: 1153.4 g.

Peso S. lavado: 297.8 g.

**Distribucion**

Grava: 0.00 %

Arena: 25.82 %

Finos: 74.18 %

**Diametros efectivos**

D60: --

D30: --

D10: --

**Coefficientes de uniformidad**

Cu: --

Cc: --

**Limites de consistencia**

LL: 34.27

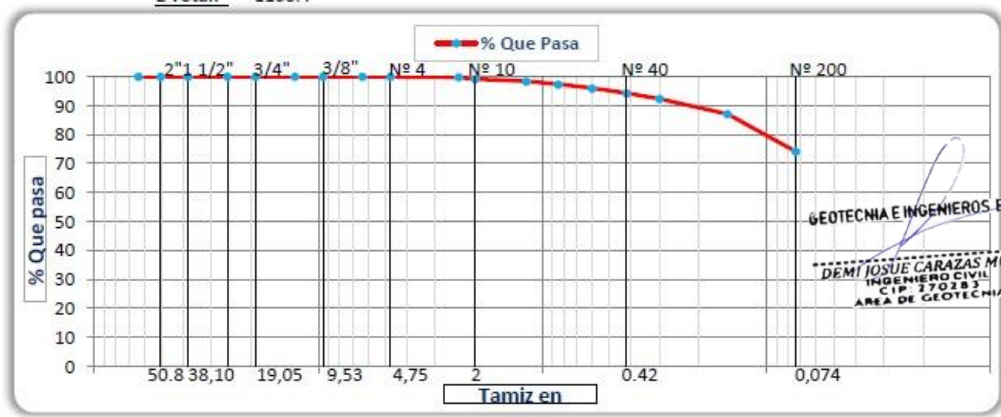
LP: 22.40

IP: 11.870

**clasifiacion de suelos**

SUCS : CL

AASHTO : A-6 (15)



**CONTENIDO DE HUMEDAD C-01:**

**GEOTECNIA E INGENIEROS E.I.R.L.**

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS - CONCRETO Y MATERIALES - ESTUDIOS GEOTECNICOS (SUELOS Y ROCAS) - CONTROL DE CALIDAD DE OBRAS CIVILES  
 CONSULTORIA ESPECIALIZADA - PERFORACION Y SONDAJE PARA ACUIFEROS Y CIMENTACIONES PROFUNDAS - HINCADO DE PILOTES - PROSPECCION GEOFISICA  
 PUERTO MALDONADO JR. CUSCO 136 - TAMBOPATA CUSCO URB. MEZA REDONDA A-9 - CUSCO 982737067 082-574754 RUC : 20490031961

**CONTENIDO DE HUMEDAD (ASTM D2216-19, NTP 339.127)**

Datos del proyecto

**Proyecto** : TESIS : MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS MEDIANTE LA INCORPORACIÓN DE CENIZAS DE CARBÓN PARA VÍAS CARROZABLES, PUERTO MALDONADO, 2022.  
**Lugar** : MADRE DE DIOS.  
**Dist/Prov.** : TAMBOPATA - TAMBOPATA.  
**Solicitante** : BACH. JEAN CARLOS HUAMANI DE LA CRUZ  
**Hecho por** : ING. DEMI JOSUE CARAZAS MUÑIZ  
**Fecha** : 9/03/2022

Datos de la Muestra

MUESTRA PROPORCIONADA POR EL SOLICITANTE  
**Calicata** : C-1  
**Profundidad** : 1.50 m.  
**condicion** : Alterada

Datos del Equipo Calibrado

**Equipo** : HORNO DIGITAL de 0°C a 300°C  
**Certificado de Calibración N°** : LT-036-2021 del 28/01/2021

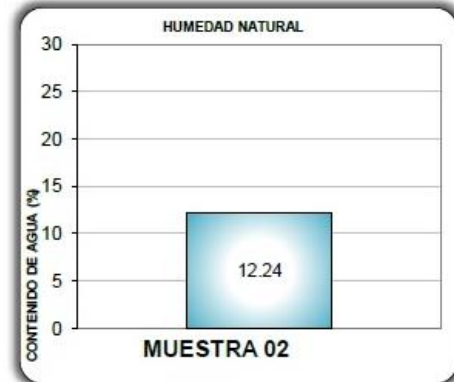
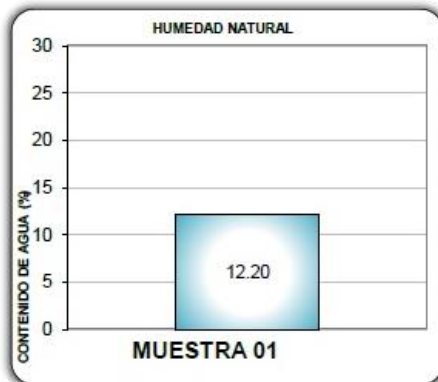
Datos y resultados de ensayo

**CONTENIDO DE HUMEDAD**

N° de Capsula		M - 01	M-02
Peso Recipiente + Suelo Natural	g	285.50	302.20
Peso Recipiente + Suelo Seco	g	254.46	269.24
Peso Recipiente	g	0.00	0.00
Peso del agua	g	31.04	32.96
Peso del Suelo Natural	g	285.50	302.20
Peso del Suelo Seco	g	254.46	269.24
Contenido de Humedad (w)	%	12.20	12.24

GEOTECNIA E INGENIEROS E.I.R.L.  
 DEMI JOSUE CARAZAS MUÑIZ  
 INGENIERO CIVIL  
 CIP 270283  
 AREA DE GEOTECNIA

**Contenido de Humedad: 12.22 %**



LIMITES DE CONSISTENCIA C-01:

**GEOTECNIA E INGENIEROS E.I.R.L.**

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS - CONCRETO Y MATERIALES - ESTUDIOS GEOTECNICOS (SUELOS Y ROCAS) - CONTROL DE CALIDAD DE OBRAS CIVILES  
CONSULTORIA ESPECIALIZADA - PERFORACION Y SONDAJE PARA ACUIFEROS Y CIMENTACIONES PROFUNDAS - HINCADO DE PILOTES - PROSPECCION GEOFISICA  
PUERTO MALDONADO JR. CUSCO 138 - TAMBOPATA CUSCO URB. MEZA REDONDA A-9 - CUSCO ☎ 982737067 📠 082-574754 RUC : 20490031961

**LIMITES DE CONSISTENCIA (ASTM D4318, NTP 339.129)**

Datos del proyecto

Proyecto	: TESIS : MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS MEDIANTE LA INCORPORACIÓN DE CENIZAS DE CARBÓN PARA VÍAS CARROZABLES, PUERTO MALDONADO, 2022.
Lugar	: MADRE DE DIOS
Dist/Prov.	: TAMBOPATA - TAMBOPATA
Solicitante	: BACH. JEAN CARLOS HUAMANI DE LA CRUZ
Hecho por	: ING. DEMI JOSUE CARAZAS MUÑIZ
Fecha	: 9/03/2022

Datos de la Muestra

MUESTRA PROPORCIONADA POR EL SOLICITANTE

Calicata	: C-1
Profundidad	: 1.50 m.
condicion	: Alterada

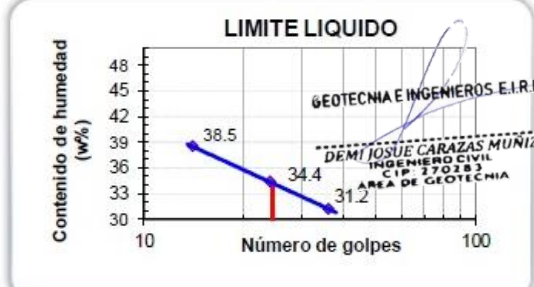
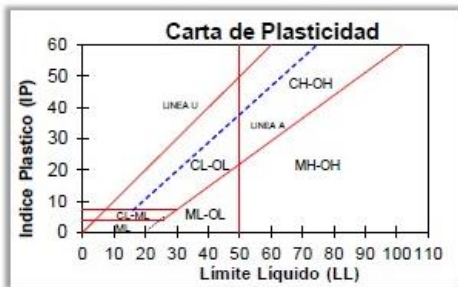
Datos del Equipo Calibrado

Equipo	: CAZUELA DE CASAGRANDE
Certificado de Calibración N°	: LL-117-2021 del 28/01/2021

Datos y resultados de ensayo

LIMITE PLASTICO - ASTM D 4318		LP (%) = 22.4	
Muestra	1	2	
Numero de capsula	15	75	
Peso de la Capsula (g)	11.39	11.51	
Peso de la Capsula+Suelo Humedo (g)	21.2	20.3	
Peso de la Capsula+ Suelo Seco (g)	19.46	18.64	
Peso del Suelo Seco (g)	8.07	7.13	
Contenido de Humedad (w)	21.5	23.3	

LIMITE LIQUIDO - ASTM D 4318		LL (%) = 34.3		IP (%) = 11.9
Muestra	A	B	C	
Numero de capsula	223	19	197	
Peso de la Capsula (g)	37.6	38.9	37.6	
Peso de la Capsula+Suelo Humedo (g)	66.3	61.2	60.2	
Peso de la Capsula+ Suelo Seco (g)	59.5	55.5	53.9	
Numero de golpes	36	24	14	
Peso del Suelo Seco (g)	21.9	16.6	16.3	
Contenido de Humedad (w)	31.2	34.4	38.5	



PROCTOR MODIFICADO C-01:

**GEOIN GEOTECNIA E INGENIEROS E.I.R.L.**

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS - CONCRETO Y MATERIALES - ESTUDIOS GEOTECNICOS (SUELOS Y ROCAS) - CONTROL DE CALIDAD DE OBRAS CIVILES  
 CONSULTORIA ESPECIALIZADA - PERFORACION Y SONDAJE PARA ACUIFEROS Y CIMENTACIONES PROFUNDAS - HINCADO DE PILOTES - PROSPECCION GEOFISICA  
 PUERTO MALDONADO JR. CUSCO 138 - TAMBOPATA CUSCO URB. MEZA REDONDA A-9 - CUSCO 982737067 082-574754 RUC : 20490031961

**ENSAYO PROCTOR MODIFICADO (ASTM D1557-12, NTP 339.142)**

Datos del proyecto

Proyecto	TESIS : MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS MEDIANTE LA INCORPORACIÓN DE CENIZAS DE CARBÓN PARA VÍAS CARROZABLES, PUERTO MALDONADO, 2022.		
Lugar	MADRE DE DIOS	Dist/Prov.	TAMBOPATA - TAMBOPATA
Solicitante	BACH. JEAN CARLOS HUAMANI DE LA CRUZ	Hecho por	ING. DEMI JOSUE CARAZAS MUÑIZ

Datos de la Muestra

MUESTRA PROPORCIONADA POR EL SOLICITANTE	Fecha	9/03/2022	Equipo	PISÓN MANUAL DE PROCTOR MOD.
Calicata	C-1		Certificado de Calibración N°	LL-124-2021 del 28/01/2021
Profundidad	1.50 m.			
condición	Alterada			

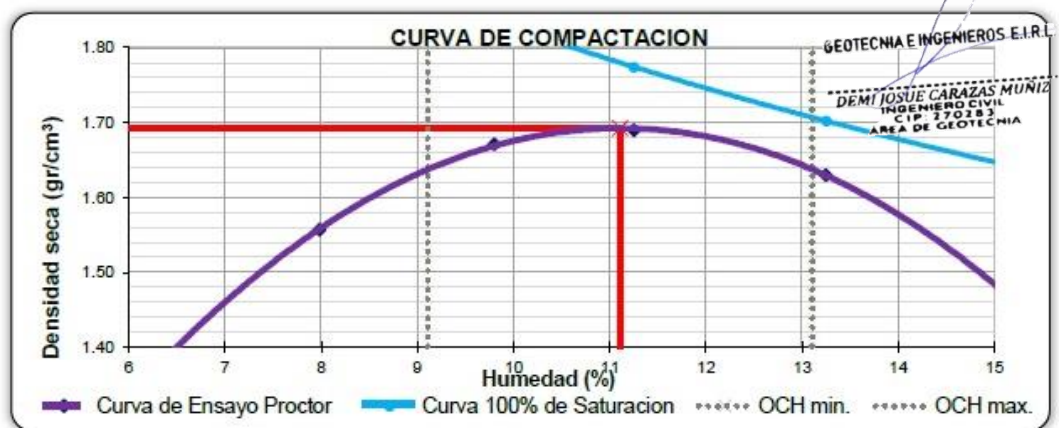
Datos del Equipo Calibrado

Datos y resultados de ensayo

Compactacion	Codigo de molde : P1		Metodo : A molde de 4"	
Prueba N°	1	2	3	4
Numero de capas	5	5	5	5
Numero de golpes	25	25	25	25
Peso suelo + molde (g)	6025	6170	6212	6180
Peso del molde (g)	4444	4444	4444	4444
Peso del suelo humedo compactado (g)	1581	1726	1768	1736
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	940.45	940.5	940.5	940.5
Densidad húmeda (g/cm <sup>3</sup> )	1.681	1.835	1.880	1.846
<b>Humedad</b>				
N° de tara	163	233	154	197
Tara + Suelo Humedo (g)	500.00	512.00	502.20	510.30
Tara + Suelo Seco (g)	465.83	469.66	455.22	454.99
Peso de la tara	37.60	37.60	37.60	37.59
Peso del agua	34.17	42.34	46.98	55.31
Peso de suelo seco (g)	428.23	432.06	417.62	417.40
Humedad (%)	7.98	9.80	11.25	13.25
Densidad Seca (g/cm <sup>3</sup> )	1.557	1.671	1.690	1.630

Maxima Densidad Seca (g/cm<sup>3</sup>) : 1.692

Optimo Contenido de Humedad (%): 11.11



\* De la granulometria el %Ret. Acumla. 3/4"= 0% NO requiere correccion por sobre tamaño según ASTM D-4718

CBR C-01:

## GEOIN GEOTECNIA E INGENIEROS E.I.R.L.

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS - CONCRETO Y MATERIALES - ESTUDIOS GEOTECNICOS (SUELOS Y ROCAS) - CONTROL DE CALIDAD DE OBRAS CIVILES  
CONSULTORIA ESPECIALIZADA - PERFORACION Y SONDAJE PARA ACUIFEROS Y CIMENTACIONES PROFUNDAS - HINGADO DE PILOTES - PROSPECCION GEOFISICA  
PUERTO MALDONADO JR. CUSCO 138 - TAMBOPATA CUSCO URB. MEZA REDONDA A-9 - CUSCO 982737067 082-574754 RUC : 20490031961

### VALOR RELATIVO DE SOPORTE CBR (ASTM D1883-16, NTP 339.145)

**Datos del proyecto**

Proyecto : TESIS : MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS MEDIANTE LA INCORPORACIÓN DE CENIZAS DE CARBÓN PARA VÍAS CARROZABLES, PUERTO MALDONADO, 2022.  
Lugar : MADRE DE DIOS.  
Dist/Prov. : TAMBOPATA - TAMBOPATA.  
Solicitante : BACH. JEAN CARLOS HUAMANI DE LA CRUZ  
Hecho por : ING. DEMI JOSUE CARAZAS MUÑIZ  
Fecha : 9/03/2022

**Datos de la Muestra**

MUESTRA PROPORCIONADA POR EL SOLICITANTE

Calicata : C-1  
Profundidad : 1.50 m.  
condicion : Alterada

**Datos del Equipo Calibrado**

Equipo : PRENSA CBR.  
Certificado de Calibración N° : LFP- 036-2021 del 28/01/2021

**Datos y resultados de ensayo**

C.B.R.			
	N° DE CAPAS : 5		
N° DE MOLDE	A	B	C
N° DE GOLPES	56	25	12
Volumen de Molde (cm <sup>3</sup> )	2175	2179	2172
Peso del Molde + Suelo Humedo (g)	11460	11050	10920
Peso del Molde (g)	7358	7135	7259
Peso del Suelo Humedo (g)	4102	3915	3661
N° Tarro	-	-	-
Peso Tarro + Suelo Humedo (g)	215.2	215.2	200.2
Pesp Tarro + Suelo Seco (g)	196.7	196.8	183.6
Peso del Agua (g)	18.5	18.4	16.6
Peso de Tarro (g)	30.0	32.2	34.2
Peso del Suelo Seco (g)	166.7	164.6	149.4
Contenido de Humedad (g)	11.10	11.20	11.12
Densidad Humeda (g/cm <sup>3</sup> )	1.886	1.797	1.686
Densidad Seca (g/cm <sup>3</sup> )	1.697	1.616	1.517

PENETRACIÓN							
CAPACIDAD DE LA CELDA							
MOLDE		A		B		C	
PENETR. (pulg)	PENETR. (mm)	LECTURA DIAL	CARGA (kg)	LECTURA DIAL	CARGA (kg)	LECTURA DIAL	CARGA (kg)
0.000	0.000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.025	0.63	28.0	28.0	18.0	18.0	9.0	9.0
0.05	1.27	75.0	75.0	60.0	60.0	18.0	18.0
0.075	1.9	130.0	130.0	98.0	98.0	45.0	45.0
0.1	2.54	140.0	140.0	110.0	110.0	90.0	90.0
0.125	3.81	220.0	220.0	170.0	170.0	120.0	120.0
0.2	5.08	290.0	290.0	230.0	230.0	165.0	165.0
0.3	7.62	388.0	388.0	345.0	345.0	300.0	300.0
0.4	10.16						
0.500	12.700						

  
**GEOTECNIA E INGENIEROS E.I.R.L.**  
 DEMI JOSUE CARAZAS MUÑIZ  
 INGENIERO CIVIL  
 CIP 170183  
 ÁREA DE GEOTECNIA

ABSORCIÓN			
N° MOLDE	A	B	C
Peso del Suelo Humedo + Plato + Molde (g)	11600	11200	11099
Peso del Plato + Molde (g)	7358	7135	7259
Peso del Suelo Humedo Embebido (g)	4242	4065	3840
Peso del Suelo Humedo Sin Embeber (g)	4102	3915	3661
Peso del Agua Absorbida (g)	140	150	179
Peso del Suelo Seco (g)	3692	3521	3295
Absorcion de Agua (%)	3.8	4.3	5.4

EXPANSIÓN (%)					
FECHA	HORA	LECTURA DIAL	LECTUR A DIAL	LECTURA DIAL	N° LECTUR A
		0.000"	0.000"	0.000"	1
		0.000"	0.000"	0.002"	2
		0.005"	0.007"	0.001"	3
		0.008"	0.010"	0.015"	4
		0.015"	0.019"	0.021"	5
% EXPANSIÓN		0.30	0.38	0.42	



# GEOIN GEOTECNIA E INGENIEROS E.I.R.L.

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS - CONCRETO Y MATERIALES - ESTUDIOS GEOTECNICOS (SUELOS Y ROCAS) - CONTROL DE CALIDAD DE OBRAS CIVILES  
CONSULTORIA ESPECIALIZADA - PERFORACION Y SONDAJE PARA ACUIFEROS Y CIMENTACIONES PROFUNDAS - HINCADO DE PILOTES - PROSPECCION GEOPHISICA  
PUERTO MALDONADO JR. CUSCO 138 - TAMBOPATA CUSCO URB. MEZA REDONDA A-9 - CUSCO 982737067 082-574754 RUC : 20490031961

## VALOR RELATIVO DE SOPORTE CBR (STM D1883-16, NTP 339.145 )

### Datos del proyecto

**Proyecto :** TESIS : MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS MEDIANTE LA INCORPORACIÓN DE CENIZAS DE CARBÓN PARA VÍAS CARROZABLES, PUERTO MALDONADO, 2022.

**Lugar :** MADRE DE DIOS

**Dist/Prov. :** TAMBOPATA - TAMBOPATA

**Solicitante :** BACH. JEAN CARLOS HUAMANI DE LA CRUZ

**Hecho por :** ING. DEMI JOSUE CARAZAS MUÑIZ

**Fecha :** 9/03/2022

### Datos de la Muestra

MUESTRA PROPORCIONADA POR EL SOLICITANTE

**Calicata :** C-1

**Profundida. :** 1.50 m.

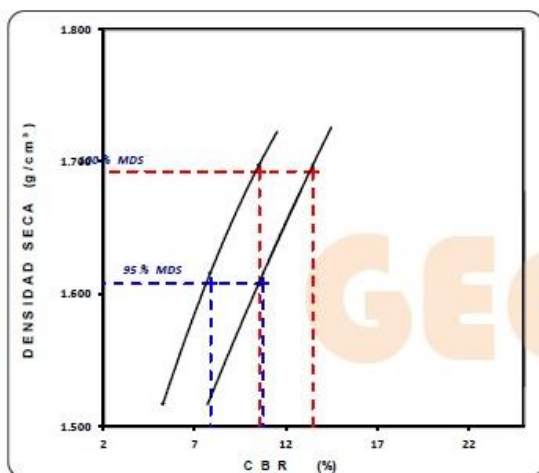
**condicion :** Alterada

### Datos del Equipo Calibrado

**Equipo :** PRENSA CBR

**Certificado de Calibración N° :** LFP- 036-2021 del 28/01/2021

### Datos y resultados de ensayo



#### DATO DEL ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

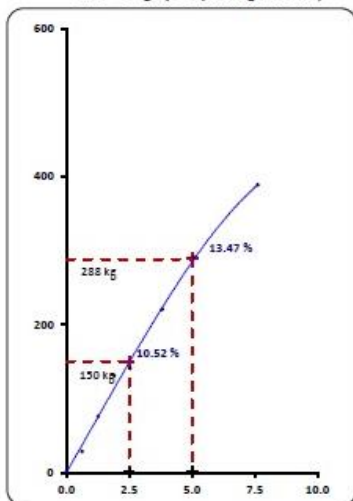
Optimo Contenido de Humedad (%) : 11.11  
Maxima Densidad Seca g/cm<sup>3</sup> : 1.692

#### CALIFORNIA BEARING RATIO

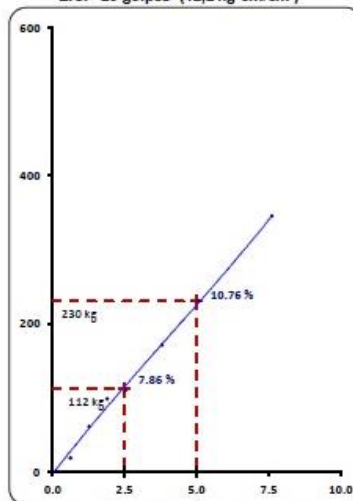
CBR A 2.5 mm (0.1") de Penetración  
CBR Al 100% de la Maxima Densidad Seca 10.5  
**CBR Al 95% de la Maxima Densidad Seca 7.9**

CBR A 5 mm (0.2") de Penetración  
CBR Al 100% de la Maxima Densidad Seca 13.5  
CBR Al 95% de la Maxima Densidad Seca 10.8

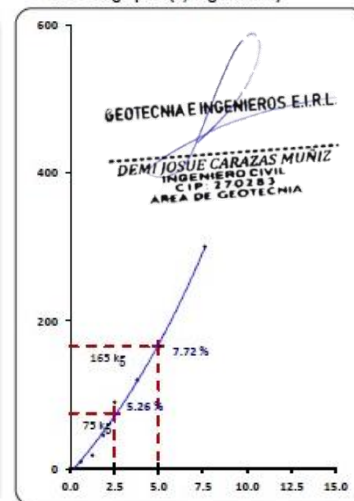
E.C. = 56 golpes (27.7 kg-cm/cm<sup>2</sup>)



E.C. = 25 golpes (12,2 kg-cm/cm<sup>2</sup>)



E.C. = 12 golpes (6,1 kg-cm/cm<sup>2</sup>)



PENETRACIÓN (mm)

— Penetración   
 — Corrección de curva   
 --- CBRy 0.1"   
 --- CBRy 0.2"

GEOTECNIA E INGENIEROS E.I.R.L.  
 DEMI JOSUE CARAZAS MUÑIZ  
 INGENIERO CIVIL  
 C.I.P. 170283  
 AREA DE GEOTECNIA

PERFIL ESTRATIGRÁFICO C-01:

**GEOTECNIA E INGENIEROS E.I.R.L.**

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS - CONCRETO Y MATERIALES - ESTUDIOS GEOTECNICOS (SUELOS Y ROCAS) - CONTROL DE CALIDAD DE OBRAS CIVILES  
 CONSULTORIA ESPECIALIZADA - PERFORACION Y SONDAJE PARA ACUIFEROS Y CIMENTACIONES PROFUNDAS - HINCADO DE PILOTES - PROSPECCION GEOFISICA  
 PUERTO MALDONADO JR. CUSCO 138 - TAMBOPATA CUSCO URB. MEZA REDONDA A-9 - CUSCO 982737067 082-574754 RUC : 20490631961

**PERFIL ESTRATIGRAFICO (E.050)**

Datos del proyecto

**Proyecto** : TESIS : MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS  
 : MEDIANTE LA INCORPORACIÓN DE CENIZAS DE CARBÓN PARA VÍAS CARROZABLES, PUERTO MALDONADO, 2022.

**Lugar** : MADRE DE DIOS

**Dist/Prov.** : TAMBOPATA - TAMBOPATA

**Solicitante** : BACH. JEAN CARLOS HUAMANI DE LA CRUZ

**Hecho por** : ING. DEMI JOSUE CARAZAS MUÑIZ

**Fecha** : 9/03/2022

Datos de la Muestra


MUESTRA PROPORCIONADA POR EL SOLICITANTE

**Calicata** : C-1

**Profundida.** : 1.50 m.

**condicion** : Alterada

Datos y resultados

<b>CALICATA C-1</b>				
Prof(m).	N.F.	Clasificación	Simbología	Descripción
0.10				<i>Suelo organico pastos y raices</i>
0.20				
0.30			CL	 <p style="text-align: center;"><b>Arcilla de Baja Plasticidad</b></p> <p>%W : 12.22                      LL : 34.3                      LP : 22.4                      IP : 11.9                      Cu : --                      Cc : --</p> <p style="text-align: right;"><i>DEMI JOSUE CARAZAS MUNIZ</i>                      INGENIERO CIVIL                      CIP 170283                      AREA DE GEOTECNIA</p>
0.35				
0.40				
0.45				
0.50				
0.55				
0.60				
0.65				
0.70				
0.75				
0.80				
0.90				
1.00				
1.05				
1.10				
1.15				
1.20				
1.22				
1.25				
1.26				
1.30		CL		
1.32		A-6 (15)		
1.35				
1.40				
1.45				
1.50				

# GRANULOMETRÍA C-02:

## GEOIN GEOTECNIA E INGENIEROS E.I.R.L.

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS - CONCRETO Y MATERIALES - ESTUDIOS GEOTECNICOS (SUELOS Y ROCAS) - CONTROL DE CALIDAD DE OBRAS CIVILES  
CONSULTORIA ESPECIALIZADA - PERFORACION Y SONDAGE PARA ACUIFEROS Y CIMENTACIONES PROFUNDAS - HINCADO DE PILOTES - PROSPECCION GEOFISICA  
PUERTO MALDONADO JR. CUSCO 138 - TAMBOPATA CUSCO URS. MEZA REDONDA A-9 - CUSCO L 982737067 ☎ 082-574754 RUC : 20490031961

### ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO (ASTM D6913, NTP 400.012)

Datos del proyecto

**Proyecto :** TESIS : MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS MEDIANTE LA INCORPORACIÓN DE CENIZAS DE CARBÓN PARA VÍAS CARROZABLES, PUERTO MALDONADO, 2022.

**Lugar :** MADRE DE DIOS.

**Dist/Prov. :** TAMBOPATA - TAMBOPATA.

**Solicitante :** BACH. JEAN CARLOS HUAMANI DE LA CRUZ.

**Hecho por :** ING. DEMI JOSUE CARAZAS MUÑIZ.

**Fecha :** 9/03/2022.

Datos de la Muestra

MUESTRA PROPORCIONADA POR EL SOLICITANTE

**Calicata :** C-2

**Profundidad :** 1.50 m.

**condicion :** Alterada

Datos del Equipo Calibrado

**Equipo :** TAMIZ GRANULOMETRICO

**Fabricado :** SEGÚN NORMA ASTM E-11

Datos y resultados de ensayo

Tamiz	Diam. (mm)	Peso Ret. (g)	Ret. Parcial (%)	Ret. Acum. (%)	Que pasa (%)		
2 1/2"	63.50	0.0	0.0	0.0	100.0	Fraccion Gruesa	
2"	50.60	0.0	0.0	0.0	100.0		
1 1/2"	38.10	0.0	0.0	0.0	100.0		
1"	25.40	0	0.0	0.0	100.0		
3/4"	19.05	0	0.0	0.0	100.0		
1/2"	12.70	0	0.0	0.0	100.0		
3/8"	9.53	0	0.0	0.0	100.0		
1/4"	6.35	0	0.0	0.0	100.0		
4	4.76	0.00	0.00	0.00	100.0		
8	2.36	1.80	0.14	0.14	99.9		
10	2.00	7.60	0.57	0.71	99.3		
16	1.18	11.50	0.87	1.58	98.4		
20	0.85	12.80	0.97	2.55	97.5		
30	0.60	16.90	1.28	3.82	96.2		
40	0.42	24.20	1.83	5.65	94.3		
50	0.30	29.80	2.25	7.91	92.1		
100	0.15	74.50	5.63	13.54	86.5		
200	0.07	155.20	11.73	25.27	74.7		
< 200		988.60	74.73	100.00			
<b>Σ Total:</b>		1322.9					

**Datos de ensayo**

Peso S. Inicial: 1322.9 g.

Peso S. lavado: 334.3 g.

**Distribucion**

Grava: 0.00 %

Arena: 25.27 %

Finos: 74.73 %

**Diametros efectivos**

D60: --

D30: --

D10: --

**Coefficientes de uniformidad**

Cu: --

Cc: --

**Limites de consistencia**

LL: 32.22

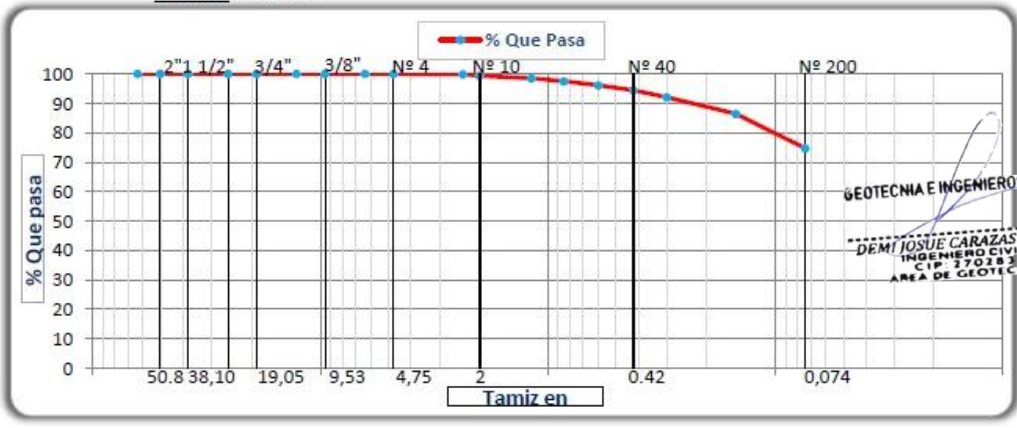
LP: 20.65

IP: 11.572

**clasifiacaion de suelos**

SUCS : CL

AASHTO : A-6 (15)



GEOTECNIA E INGENIEROS E.I.R.L.  
 DEMI JOSUE CARAZAS MUÑIZ  
 INGENIERO CIVIL  
 CIP: 27028  
 AREA DE GEOTECNIA

**CONTENIDO DE HUMEDAD C-02:**

**GEOTECNIA E INGENIEROS E.I.R.L.**

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS - CONCRETO Y MATERIALES - ESTUDIOS GEOTECNICOS (SUELOS Y ROCAS) - CONTROL DE CALIDAD DE OBRAS CIVILES  
 CONSULTORIA ESPECIALIZADA - PERFORACION Y SONDAJE PARA ACUIFEROS Y CIMENTACIONES PROFUNDAS - HINCADO DE PILOTES - PROSPECCION GEOFISICA  
 PUERTO MALDONADO JR. CUSCO 138 - TAMBOPATA CUSCO URB. MEZA REDONDA A-9 - CUSCO 982737087 082-574754 RUC : 20490031961

**CONTENIDO DE HUMEDAD (ASTM D2216-19, NTP 339.127)**

Datos del proyecto

**Proyecto** : TESIS : MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS MEDIANTE LA INCORPORACIÓN DE CENIZAS DE CARBÓN PARA VÍAS CARROZABLES, PUERTO MALDONADO, 2022.  
**Lugar** : MADRE DE DIOS  
**Dist/Prov.** : TAMBOPATA - TAMBOPATA  
**Solicitante** : BACH. JEAN CARLOS HUAMANI DE LA CRUZ  
**Hecho por** : ING. DEMI JOSUE CARAZAS MUÑIZ  
**Fecha** : 9/03/2022

Datos de la Muestra

MUESTRA PROPORCIONADA POR EL SOLICITANTE  
**Calicata** : C-2  
**Profundidad** : 1.50 m.  
**condicion** : Alterada

Datos del Equipo Calibrado

**Equipo** : HORNO DIGITAL de 0°C a 300°C  
**Certificado de Calibración N°** : LT-059- 2022 07/02/2022

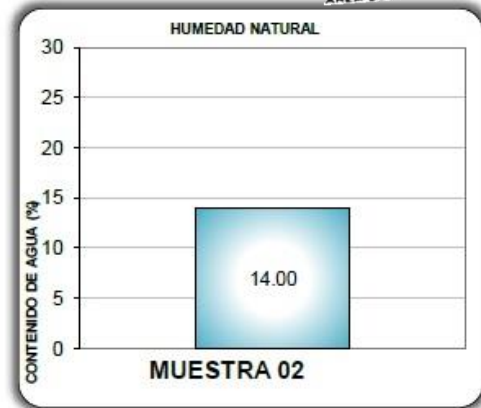
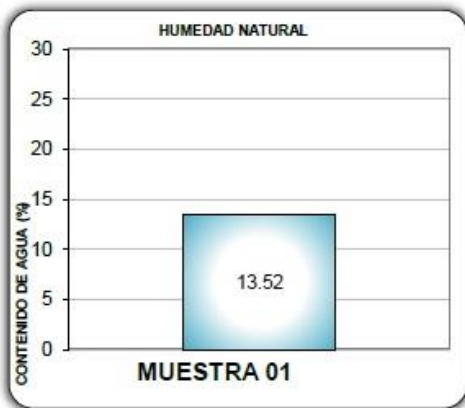
Datos y resultados de ensayo

**CONTENIDO DE HUMEDAD**

N' de Capsula		M - 01	M-02
Peso Recipiente + Suelo Natural	g	305.20	321.20
Peso Recipiente + Suelo Seco	g	268.85	281.75
Peso Recipiente	g	0.00	0.00
Peso del agua	g	36.35	39.45
Peso del Suelo Natural	g	305.20	321.20
Peso del Suelo Seco	g	268.85	281.75
Contenido de Humedad (w)	%	13.52	14.00

**Contenido de Humedad: 13.76 %**

GEOTECNIA E INGENIEROS E.I.R.L.  
 DEMI JOSUE CARAZAS MUÑIZ  
 INGENIERO CIVIL  
 CIP 170283  
 AREA DE GEOTECNIA



LIMITES DE CONSISTENCIA C-02:

**GEOTECNIA E INGENIEROS E.I.R.L.**

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS - CONCRETO Y MATERIALES - ESTUDIOS GEOTECNICOS (SUELOS Y ROCAS) - CONTROL DE CALIDAD DE OBRAS CIVILES  
CONSULTORIA ESPECIALIZADA - PERFORACION Y SONDAJE PARA ACUIFEROS Y CIMENTACIONES PROFUNDAS - HINCADO DE PILOTES - PROSPECCION GEOFISICA  
PUERTO MALDONADO JR. CUSCO 138 - TAMBOPATA CUSCO URB. MEZA REDONDA A-9 - CUSCO 982737067 082-574754 RUC : 20490031961

LIMITES DE CONSISTENCIA (ASTM D4318, NTP 339.129)

Datos del proyecto

Proyecto : TESIS : MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS MEDIANTE LA INCORPORACIÓN DE CENIZAS DE CARBÓN PARA VÍAS CARROZABLES, PUERTO MALDONADO, 2022.  
Lugar : MADRE DE DIOS  
Dist/Prov. : TAMBOPATA - TAMBOPATA  
Solicitante : BACH. JEAN CARLOS HUAMANI DE LA CRUZ  
Hecho por : ING. DEMI JOSUE CARAZAS MUÑIZ  
Fecha : 9/03/2022

Datos de la Muestra

MUESTRA PROPORCIONADA POR EL SOLICITANTE

Calicata : C-2  
Profundidad : 1.50 m.  
condicion : Alterada

Datos del Equipo Calibrado

Equipo : CAZUELA DE CASAGRANDE  
Certificado de Calibración N° : LL-510-2022 del 02/07/2022

Datos y resultados de ensayo

LIMITE PLASTICO - ASTM D 4318

**LP (%) = 20.7**

Muestra	1	2
Numero de capsula	75	102
Peso de la Capsula (g)	11.51	11.5
Peso de la Capsula+Suelo Humedo (g)	20	21.3
Peso de la Capsula+ Suelo Seco (g)	18.60	19.57
Peso del Suelo Seco (g)	7.09	8.07
Contenido de Humedad (w)	19.8	21.5

GEOTECNIA E INGENIEROS E.I.R.L.  
DEMI JOSUE CARAZAS MUÑIZ  
INGENIERO CIVIL  
CIP 170183  
AREA DE GEOTECNIA

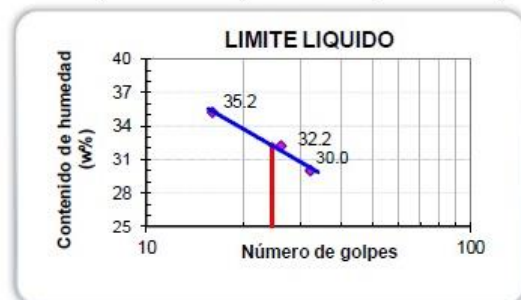
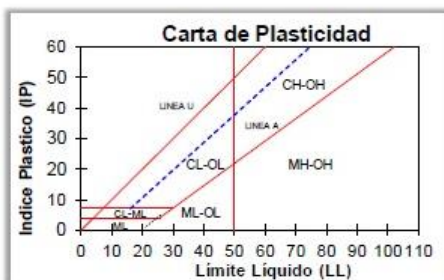
LIMITE LIQUIDO - ASTM D 4318

**LL (%) = 32.2**

**IP (%)**

**11.6**

Muestra	A	B	C
Numero de capsula	197	199	58
Peso de la Capsula (g)	37.6	37.6	37.2
Peso de la Capsula+Suelo Humedo (g)	61.2	63.5	62.4
Peso de la Capsula+ Suelo Seco (g)	55.8	57.2	55.8
Numero de golpes	32	26	16
Peso del Suelo Seco (g)	18.2	19.6	18.6
Contenido de Humedad (w)	30.0	32.2	35.2



PROCTOR MODIFICADO C-02:

**GEOIN GEOTECNIA E INGENIEROS E.I.R.L.**

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS - CONCRETO Y MATERIALES - ESTUDIOS GEOTECNICOS (SUELOS Y ROCAS) - CONTROL DE CALIDAD DE OBRAS CIVILES  
 CONSULTORIA ESPECIALIZADA - PERFORACION Y SONDAJE PARA ACUIFEROS Y CIMENTACIONES PROFUNDAS - HINCADO DE PILOTOS - PROSPECCION GEOFISICA  
 PUERTO MALDONADO JR. CUSCO 138 - TAMBOPATA CUSCO URB. MEZA REDONDA A-9 - CUSCO 982737067 082-574754 RUC : 20490031961

**ENSAYO PROCTOR MODIFICADO (ASTM D1557-12, NTP 339.142 )**

Datos del proyecto

Proyecto : TESIS : MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS MEDIANTE LA INCORPORACIÓN DE CENIZAS DE CARBÓN PARA VÍAS CARROZABLES, PUERTO MALDONADO, 2022.  
 Lugar : MADRE DE DIOS Dist/Prov. : TAMBOPATA - TAMBOPATA  
 Solicitante : BACH. JEAN CARLOS HUAMANI DE LA CRUZ Hecho por : ING. DEMI JOSUE CARAZAS MUÑIZ

Datos de la Muestra

MUESTRA PROPORCIONADA POR EL SOLICITANTE  
 Calicata : C-2  
 Profundidad : 1.50 m.  
 condicion : Alterada

Datos del Equipo Calibrado

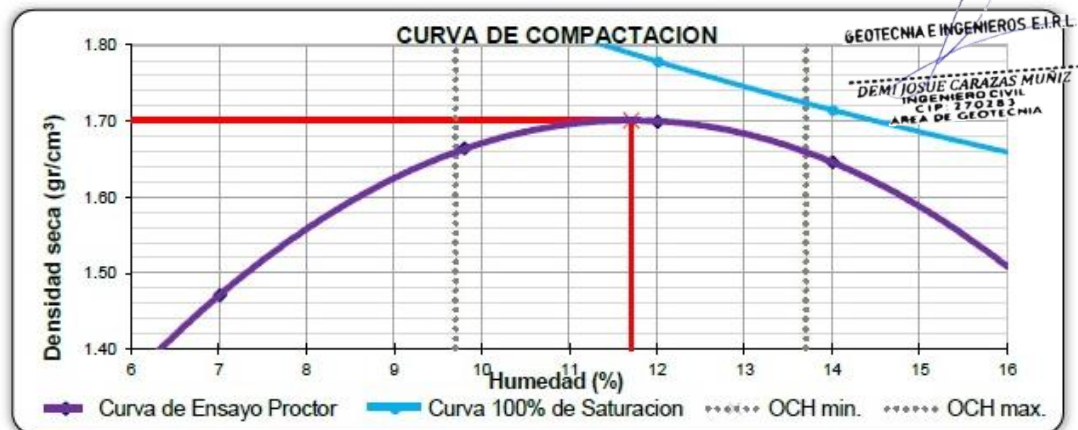
Equipo : PISÓN MANUAL DE PROCTOR MOD.  
 Certificado de Calibración N° : LL-514-2022 del 07-02-2022

Datos y resultados de ensayo

Compactacion	Codigo de molde : P2		Metodo : A molde de 4"	
Prueba N°	1	2	3	4
Numero de capas	5	5	5	5
Numero de golpes	25	25	25	25
Peso suelo + molde (g)	5868	6108	6180	6155
Peso del molde (g)	4376	4376	4376	4376
Peso del suelo humedo compactado (g)	1492	1732	1804	1779
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	947.87	947.9	947.9	947.9
Densidad húmeda (g/cm <sup>3</sup> )	1.574	1.827	1.903	1.877
<b>Humedad</b>				
N° de tara	234	141	233	279
Tara + Suelo Humedo (g)	498.50	488.80	500.20	511.30
Tara + Suelo Seco (g)	468.31	448.53	450.60	453.09
Peso de la tara	37.63	37.64	37.60	37.64
Peso del agua	30.19	40.27	49.60	58.21
Peso de suelo seco (g)	430.68	410.89	413.00	415.45
Humedad (%)	7.01	9.80	12.01	14.01
Densidad Seca (g/cm <sup>3</sup> )	1.471	1.664	1.699	1.646

Maxima Densidad Seca (g/cm<sup>3</sup>) : 1.701

Optimo Contenido de Humedad (%): 11.71



\* De la granulometria el %Ret. Acumla. 3/4"= 0 % NO requiere correccion por sobre tamaño según ASTM D-4718

CBR C-02:

## GEON GEOTECNIA E INGENIEROS E.I.R.L.

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS - CONCRETO Y MATERIALES - ESTUDIOS GEOTECNICOS (SUELOS Y ROCAS) - CONTROL DE CALIDAD DE OBRAS CIVILES  
CONSULTORIA ESPECIALIZADA - PERFORACION Y SONDAJE PARA ACUIFEROS Y CIMENTACIONES PROFUNDAS - HINCADO DE PILOTES - PROSPECCION GEOFISICA  
PUERTO MALDONADO JR. CUSCO 138 - TAMBOPATA CUSCO URB. MEZA REDONDA A-9 - CUSCO 982737067 082-574754 RUC : 20490031961

### VALOR RELATIVO DE SOPORTE CBR (ASTM D1883-16, NTP 339.145)

**Datos del proyecto**

**Proyecto** : TESIS : MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS MEDIANTE LA INCORPORACIÓN DE CENIZAS DE CARBÓN PARA VÍAS CARROZABLES, PUERTO MALDONADO, 2022.  
**Lugar** : MADRE DE DIOS.  
**Dist/Prov.** : TAMBOPATA - TAMBOPATA.  
**Solicitante** : BACH. JEAN CARLOS HUAMANI DE LA CRUZ  
**Hecho por** : ING. DEMI JOSUE CARAZAS MUÑOZ.  
**Fecha** : 9/03/2022

**Datos de la Muestra**

**MUESTRA PROPORCIONADA POR EL SOLICITANTE**  
**Calicata** : C-2  
**Profundidad** : 1.50 m.  
**condicion** : Alterada

**Datos del Equipo Calibrado**

**Equipo** :  
 PRENSA CBR  
**Certificado de Calibración N°** :  
 LFP- 108-2022 del 07/02/2022

**Datos y resultados de ensayo**

C.B.R.			
N° DE CAPAS : 5			
N° DE MOLDE	D	E	F
N° DE GOLPES	56	25	12
Volumen de Molde (cm <sup>3</sup> )	2122	2122	2122
Peso del Molde + Suelo Humedo (g)	12460	12111	11660
Peso del Molde (g)	8426	8285	8070
Peso del Suelo Humedo (g)	4034	3826	3590
N° Tarro	-	-	-
Peso Tarro + Suelo Humedo (g)	302.2	322.2	211.2
Pesp Tarro + Suelo Seco (g)	274.7	292.7	193.7
Peso del Agua (g)	27.5	29.5	17.5
Peso de Tarro (g)	40.2	42	45.2
Peso del Suelo Seco (g)	234.5	250.7	148.5
Contenido de Humedad (g)	11.71	11.78	11.80
Densidad Humeda (g/cm <sup>3</sup> )	1.901	1.803	1.692
Densidad Seca (g/cm <sup>3</sup> )	1.701	1.613	1.513

PENETRACIÓN							
CAPACIDAD DE LA CELDA							
MOLDE		D		E		F	
PENETR. (pulg)	PENETR. (mm)	LECTURA DIAL	CARGA (kg)	LECTURA DIAL	CARGA (kg)	LECTURA DIAL	CARGA (kg)
0.000	0.000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.025	0.63	25.0	25.0	22.0	22.0	20.0	20.0
0.05	1.27	68.0	68.0	68.0	68.0	45.0	45.0
0.075	1.9	102.0	102.0	100.0	100.0	68.0	68.0
0.1	2.54	130.0	130.0	130.0	130.0	98.0	98.0
0.125	3.81	210.0	210.0	165.0	165.0	120.0	120.0
0.2	5.08	270.0	270.0	232.0	232.0	146.0	146.0
0.3	7.62	298.0	298.0	280.0	280.0	200.0	200.0
0.4	10.16						
0.500	12.700						

GEOTECNIA E INGENIEROS E.I.R.L.  
 DEMI JOSUE CARAZAS MUÑOZ  
 INGENIERO CIVIL  
 CIP: 270282  
 AREA DE GEOTECNIA

ABSORCIÓN			
N° MOLDE	D	E	F
Peso del Suelo Humedo + Plato + Molde (g)	12520	12190	11785
Peso del Plato + Molde (g)	8426	8285	8070
Peso del Suelo Humedo Embebido (g)	4094	3905	3715
Peso del Suelo Humedo Sin Embeber (g)	4034	3826	3590
Peso del Agua Absorbida (g)	60	79	125
Peso del Suelo Seco (g)	3611	3423	3211
Absorcion de Agua (%)	1.7	2.3	3.9

EXPANSIÓN (%)					
FECHA	HORA	LECTURA DIAL	LECTUR A DIAL	LECTURA DIAL	N° LECTUR A
		0.000"	0.000"	0.000"	1
		0.001"	0.001"	0.008"	2
		0.004"	0.005"	0.010"	3
		0.007"	0.009"	0.014"	4
		0.011"	0.012"	0.018"	5
% EXPANSIÓN		0.22	0.24	0.36	

# GEOIN GEOTECNIA E INGENIEROS E.I.R.L.

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS - CONCRETO Y MATERIALES - ESTUDIOS GEOTECNICOS (SUELOS Y ROCAS) - CONTROL DE CALIDAD DE OBRAS CIVILES  
CONSULTORIA ESPECIALIZADA - PERFORACION Y SONDAGE PARA ACUIFEROS Y CIMENTACIONES PROFUNDAS - HINCADO DE PILOTES - PROSPECCION GEOFISICA  
PUERTO MALDONADO JR. CUSCO 138 - TAMBOPATA CUSCO URB. MEZA REDONDA A-9 - CUSCO ☎ 982737067 📠 082-574754 📄 RUC : 20490031961

## VALOR RELATIVO DE SOPORTE CBR (STM D1883-16, NTP 339.145 )

**Datos del proyecto**

**Proyecto :** TESIS : MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS MEDIANTE LA INCORPORACIÓN DE CENIZAS DE CARBÓN PARA VÍAS CARROZABLES, PUERTO MALDONADO, 2022.  
**Lugar :** MADRE DE DIOS.  
**Dist/Prov. :** TAMBOPATA - TAMBOPATA  
**Solicitante :** BACH. JEAN CARLOS HUAMANI DE LA CRUZ  
**Hecho por :** ING. DEMI JOSUE CARAZAS MUÑIZ  
**Fecha :** 9/03/2022

**Datos de la Muestra**

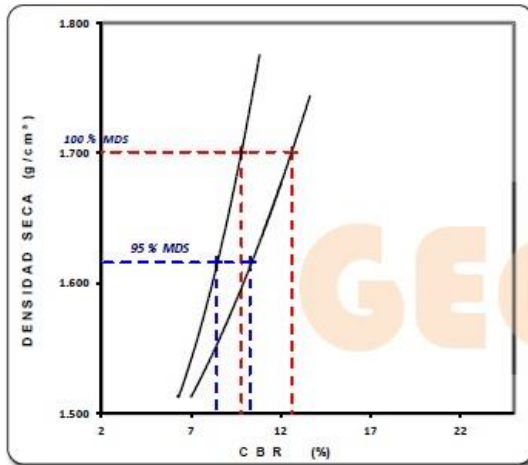
MUESTRA PROPORCIONADA POR EL SOLICITANTE

**Calicata :** C-2  
**Profundida. :** 1.50 m.  
**condicion :** Alterada

**Datos del Equipo Calibrado**

**Equipo :** PRENSA CBR  
**Certificado de Calibración N° :** LFP- 108-2022 del 07/02/2022

**Datos y resultados de ensayo**



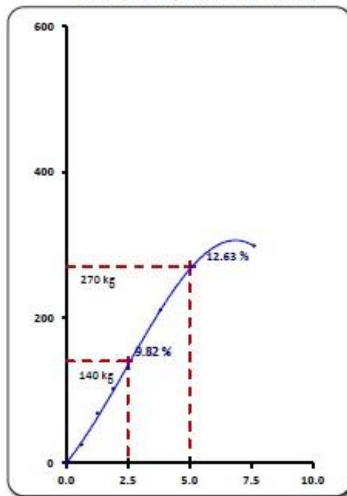
**DATO DEL ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO**

Óptimo Contenido de Humedad (%) : 11.71  
 Máxima Densidad Seca g/cm³ : 1.701

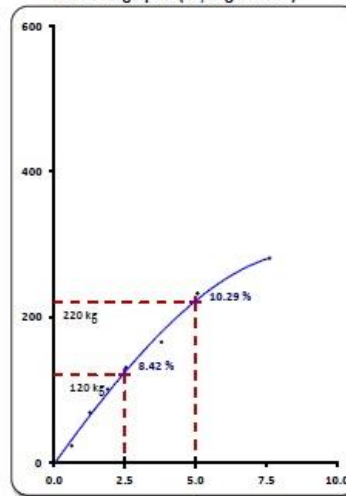
**CALIFORNIA BEARING RATIO**

CBR A 2.5 mm (0.1") de Penetración  
 CBR Al 100% de la Máxima Densidad Seca 9.8  
**CBR Al 95% de la Máxima Densidad Seca 8.4**  
 CBR A 5 mm (0.2") de Penetración  
 CBR Al 100% de la Máxima Densidad Seca 12.6  
 CBR Al 95% de la Máxima Densidad Seca 10.3

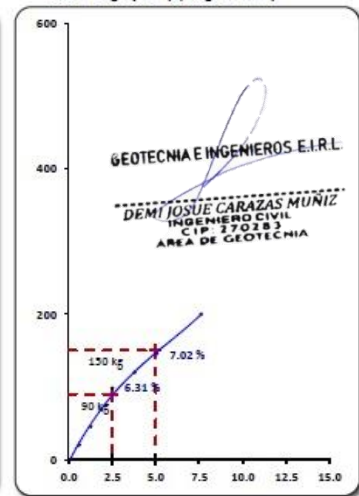
E.C.= 56 golpes (27.7 kg-cm/cm²)



E.C.= 25 golpes (12,2 kg-cm/cm²)



E.C.= 12 golpes (6,1 kg-cm/cm²)



— Penetración   
 — Corrección de curva   
 --- CBRy 0.1"   
 --- CBRy 0.2"

GEOTECNIA E INGENIEROS E.I.R.L.  
 DEMI JOSUE CARAZAS MUNIZ  
 INGENIERO CIVIL  
 CIP: 270283  
 AREA DE GEOTECNIA



PERFIL ESTRATIGRÁFICO C-02:

**GEOIN GEOTECNIA E INGENIEROS E.I.R.L.**

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS - CONCRETO Y MATERIALES - ESTUDIOS GEOTECNICOS (SUELOS Y ROCAS) - CONTROL DE CALIDAD DE OBRAS CIVILES  
 CONSULTORIA ESPECIALIZADA - PERFORACION Y SONDAJE PARA ACUIFEROS Y CIMENTACIONES PROFUNDAS - HINCADO DE PILOTES - PROSPECCION GEOFISICA  
 PUERTO MALDONADO JR. CUSCO 138 - TAMBOPATA CUSCO URB. MEZA REDONDA A-9 - CUSCO 982737067 082-574754 RUC : 20490631961

**PERFIL ESTRATIGRAFICO (E.050)**

Datos del proyecto

**Proyecto** : TESIS : MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS  
 : MEDIANTE LA INCORPORACIÓN DE CENIZAS DE CARBÓN PARA VÍAS CARROZABLES, PUERTO MALDONADO, 2022.

**Lugar** : MADRE DE DIOS

**Dist/Prov.** : TAMBOPATA - TAMBOPATA

**Solicitante** : BACH. JEAN CARLOS HUAMANI DE LA CRUZ

**Hecho por** : ING. DEMI JOSUE CARAZAS MUÑIZ

**Fecha** : 9/03/2022

Datos de la Muestra


MUESTRA PROPORCIONADA POR EL SOLICITANTE

**Calicata** : C-2

**Profundida.** : 1.50 m.

**condicion** : Alterada

Datos y resultados

<b>CALICATA C-2</b>				
Prof(m).	N.F.	Clasificación	Simbología	Descripción
0.10				<u>Suelo organico pastos y raices</u>
0.20				
0.30			CL	 <p><b>Arcilla de Baja Plasticidad</b></p> <p>%W : 13.76                      LL : 32.2                      LP : 20.7                      IP : 11.6                      Cu : -GEOTECNIA E INGENIEROS E.I.R.L.                      Cc : -</p> <p style="font-size: small;">                         DEMI JOSUE CARAZAS MUÑIZ                          INGENIERO CIVIL                          CIP: 170183                          AREA DE GEOTECNIA                     </p>
0.35				
0.40				
0.45				
0.50				
0.55				
0.60				
0.65				
0.70				
0.75				
0.80				
0.90				
0.95				
1.00				
1.05				
1.10				
1.15				
1.20				
1.22				
1.25				
1.26				
1.30				
1.32				
1.35				
1.40				
1.45				
1.50				

## SUELO NATURAL + 10% DE CENIZA DE CARBON

### LIMITES DE CONSISTENCIA:

## GEOIN GEOTECNIA E INGENIEROS E.I.R.L.

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS - CONCRETO Y MATERIALES - ESTUDIOS GEOTECNICOS (SUELOS Y ROCAS) - CONTROL DE CALIDAD DE OBRAS CIVILES  
CONSULTORIA ESPECIALIZADA - PERFORACION Y SONDAJE PARA ACUIFEROS Y CIMENTACIONES PROFUNDAS - HINCADO DE PILOTES - PROSPECCION GEOFISICA  
PUERTO MALDONADO JR. CUSCO 138 - TAMBOPATA CUSCO URB. MEZA REDONDA A-9 - CUSCO ☎ 982737067 📠 082-574754 RUC : 20490031961

### LIMITES DE CONSISTENCIA (ASTM D4318, NTP 339.129)

#### Datos del proyecto

**Proyecto :** TESIS : MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS MEDIANTE LA INCORPORACIÓN DE CENIZAS DE CARBÓN PARA VÍAS CARROZABLES, PUERTO MALDONADO, 2022.

**Lugar :** MADRE DE DIOS

**Dist/Prov. :** TAMBOPATA - TAMBOPATA

**Solicitante :** BACH. JEAN CARLOS HUAMANI DE LA CRUZ

**Hecho por :** ING. DEMI JOSUE CARAZAS MUÑIZ

**Fecha :** 9/03/2022

#### Datos de la Muestra

**MUESTRA PROPORCIONADA POR EL SOLICITANTE**

**Calicata :** C-1 + 10% DE CENIZA DE CARBON

**Profundidad :** 1.50 m.

**condicion :** Alterada

#### Datos del Equipo Calibrado

**Equipo :** CAZUELA DE CASAGRANDE

**Certificado de Calibración N° :** LL-510-2022 del 02/07/2022

#### Datos y resultados de ensayo

#### LIMITE PLASTICO - ASTM D 4318

**LP (%) = 19.4**

Muestra	1	2
Numero de capsula	56	15
Peso de la Capsula (g)	11.41	11.39
Peso de la Capsula+Suelo Humedo (g)	22.4	21.6
Peso de la Capsula+ Suelo Seco (g)	20.65	19.91
Peso del Suelo Seco (g)	9.24	8.52
Contenido de Humedad (w)	18.9	19.8

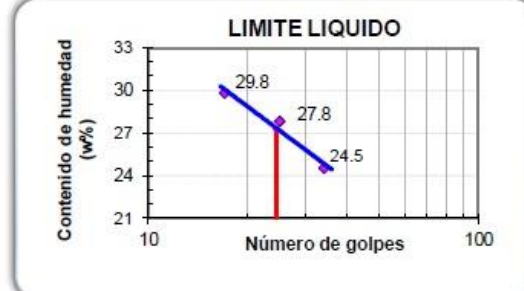
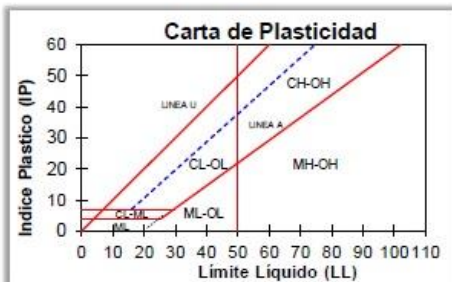
#### LIMITE LIQUIDO - ASTM D 4318

**LL (%) = 27.2**

**IP (%)**

**7.9**

Muestra	A	B	C
Numero de capsula	142	74	199
Peso de la Capsula (g)	37.6	37.2	37.6
Peso de la Capsula+Suelo Humedo (g)	60.2	62.4	60.2
Peso de la Capsula+ Suelo Seco (g)	55.8	56.9	55.0
Numero de golpes	34	25	17
Peso del Suelo Seco (g)	18.2	19.7	17.4
Contenido de Humedad (w)	24.5	27.8	29.8



**PROCTOR MODIFICADO:**

**GEOIN GEOTECNIA E INGENIEROS E.I.R.L.**

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS - CONCRETO Y MATERIALES - ESTUDIOS GEOTECNICOS (SUELOS Y ROCAS) - CONTROL DE CALIDAD DE OBRAS CIVILES  
 CONSULTORIA ESPECIALIZADA - PERFORACION Y SONDAJE PARA ACUIFEROS Y CIMENTACIONES PROFUNDAS - HINGADO DE PILOTES - PROSPECCION GEOFISICA  
 PUERTO MALDONADO JR. CUSCO 138 - TAMBOPATA CUSCO URB. MEZA REDONDA A-9 - CUSCO 982737067 082-574754 RUC : 20490031961

**ENSAYO PROCTOR MODIFICADO (ASTM D1557-12, NTP 339.142)**

Datos del proyecto

Proyecto : TESIS : MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS MEDIANTE LA INCORPORACIÓN DE CENIZAS DE CARBÓN PARA VÍAS CARROZABLES, PUERTO MALDONADO, 2022.  
 Lugar : MADRE DE DIOS Dist/Prov. : TAMBOPATA - TAMBOPATA  
 Solicitante : BACH. JEAN CARLOS HUAMANI DE LA CRUZ Hecho por : ING. DEMI JOSUE CARAZAS MUÑOZ

Datos de la Muestra

MUESTRA PROPORCIONADA POR EL SOLICITANTE  
 Calicata : C-1 + 10% DE CENIZA DE CARBON  
 Profundidad : 1.50 m.  
 condicion : Alterada

Datos del Equipo Calibrado

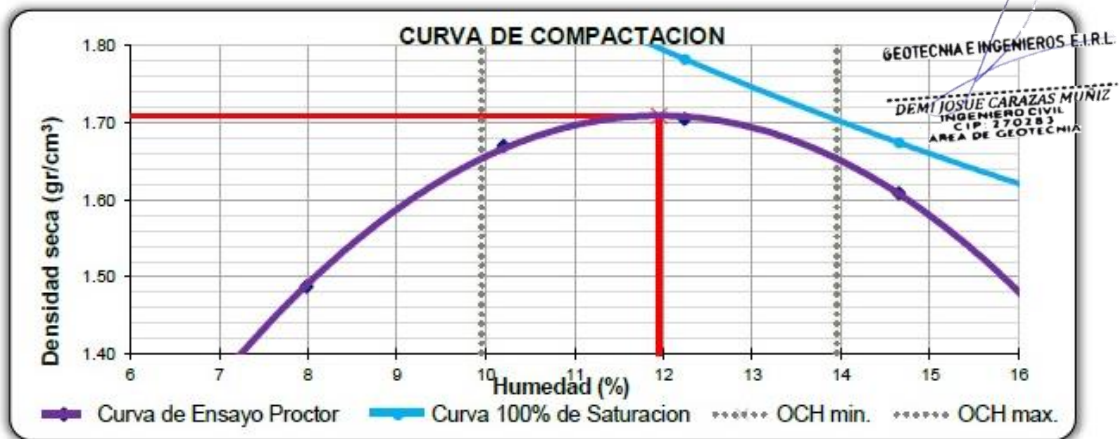
Equipo : PISÓN MANUAL DE PROCTOR MOD.  
 Certificado de Calibración N° : LL-514-2022 del 07-02-2022

Datos y resultados de ensayo

Compactacion	Codigo de molde : P2				Metodo : A molde de 4"			
Prueba N°	1	2	3	4	1	2	3	4
Numero de capas	5	5	5	5				
Numero de golpes	25	25	25	25				
Peso suelo + molde (g)	5899	6120	6190	6125				
Peso del molde (g)	4376	4376	4376	4376				
Peso del suelo humedo compactado (g)	1523	1744	1814	1749				
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	947.87	947.9	947.9	947.9				
Densidad húmeda (g/cm <sup>3</sup> )	1.607	1.840	1.914	1.845				
<b>Humedad</b>								
N° de tara	340	207	235	165				
Tara + Suelo Humedo (g)	501.20	500.20	511.20	510.00				
Tara + Suelo Seco (g)	466.94	457.38	459.55	449.64				
Peso de la tara	37.60	37.61	37.61	37.64				
Peso del agua	34.26	42.82	51.65	60.36				
Peso de suelo seco (g)	429.34	419.77	421.94	412.00				
Humedad (%)	7.98	10.20	12.24	14.65				
Densidad Seca (g/cm <sup>3</sup> )	1.488	1.670	1.705	1.609				

Maxima Densidad Seca (g/cm<sup>3</sup>) : 1.709

Optimo Contenido de Humedad (%): 11.95



\* De la granulometria el %Ret. Acumla. 3/4"= 0% NO requiere correcion por sobre tamaño según ASTM D-4718

CBR:

## GEOIN GEOTECNIA E INGENIEROS E.I.R.L.

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS - CONCRETO Y MATERIALES - ESTUDIOS GEOTECNICOS (SUELOS Y ROCAS) - CONTROL DE CALIDAD DE OBRAS CIVILES  
CONSULTORIA ESPECIALIZADA - PERFORACION Y SONDAJE PARA ACUIFEROS Y CIMENTACIONES PROFUNDAS - HINCADO DE PILOTOS - PROSPECCION GEOFISICA  
PUERTO MALDONADO JR. CUSCO 138 - TAMBOPATA CUSCO URB. MEZA REDONDA A-9 - CUSCO ☎ 982737067 ☎ 082-574754 RUC : 20490031961

### VALOR RELATIVO DE SOPORTE CBR (ASTM D1883-16, NTP 339.145)

**Datos del proyecto**

<b>Proyecto</b>	: TESIS : MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS MEDIANTE LA INCORPORACIÓN DE CENIZAS DE CARBÓN PARA VÍAS CARROZABLES, PUERTO MALDONADO, 2022.
<b>Lugar</b>	: MADRE DE DIOS.
<b>Dist/Prov.</b>	: TAMBOPATA - TAMBOPATA.
<b>Solicitante</b>	: BACH. JEAN CARLOS HUAMANI DE LA CRUZ
<b>Hecho por</b>	: ING. DEMI JOSUE CARAZAS MUÑIZ
<b>Fecha</b>	: 9/03/2022

**Datos de la Muestra**

MUESTRA PROPORCIONADA POR EL SOLICITANTE

<b>Calicata</b>	: C-1 + 10% DE CENIZA DE CARBON
<b>Profundidad</b>	: 1.50 m.
<b>condicion</b>	: Alterada

**Datos del Equipo Calibrado**

<b>Equipo</b>	: PRENSA CBR
<b>Certificado de Calibración N°</b>	: LFP-108-2022 del 07/02/2022

**Datos y resultados de ensayo**

C.B.R.			
	N° DE CAPAS : 5		
N° DE MOLDE	G	H	I
N° DE GOLPES	56	25	12
Volumen de Molde (cm <sup>3</sup> )	2105	2122	2026
Peso del Molde + Suelo Humedo (g)	11599	12088	10915
Peso del Molde (g)	7548	8196	7459
Peso del Suelo Humedo (g)	4051	3892	3456
N° Tarro	-	-	-
Peso Tarro + Suelo Humedo (g)	286.5	299.6	301.2
Pesp Tarro + Suelo Seco (g)	261.5	273.5	274.6
Peso del Agua (g)	25.0	26.1	26.6
Peso de Tarro (g)	52.4	55.6	51.2
Peso del Suelo Seco (g)	209.1	217.9	223.4
Contenido de Humedad (g)	11.95	12.00	11.90
Densidad Humeda (g/cm <sup>3</sup> )	1.924	1.834	1.706
Densidad Seca (g/cm <sup>3</sup> )	1.719	1.638	1.524

PENETRACIÓN							
CAPACIDAD DE LA CELDA							
MOLDE		G		H		I	
PENETR. (pulg)	PENETR. (mm)	LECTURA DIAL	CARGA (kg)	LECTURA DIAL	CARGA (kg)	LECTURA DIAL	CARGA (kg)
0.000	0.000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.025	0.63	35.0	35.0	60.0	60.0	18.0	18.0
0.05	1.27	80.0	80.0	81.0	81.0	50.0	50.0
0.075	1.9	120.0	120.0	110.0	110.0	86.0	86.0
0.1	2.54	190.0	190.0	150.0	150.0	100.0	100.0
0.125	3.81	220.0	220.0	190.0	190.0	140.0	140.0
0.2	5.08	290.0	290.0	240.0	240.0	165.0	165.0
0.3	7.62	350.0	350.0	300.0	300.0	244.0	244.0
0.4	10.16						
0.500	12.700						

  
 GEOTECNIA E INGENIEROS E.I.R.L.  
 DEMI JOSUE CARAZAS MUNIZ  
 INGENIERO CIVIL  
 CIP: 270283  
 AREA DE GEOTECNIA

ABSORCIÓN			
N° MOLDE	G	H	I
Peso del Suelo Humedo + Plato + Molde (g)	11640	12150	11220
Peso del Plato + Molde (g)	7548	8196	7459
Peso del Suelo Humedo Embebido (g)	4092	3954	3761
Peso del Suelo Humedo Sin Embeber (g)	4051	3892	3456
Peso del Agua Absorbida (g)	41	62	305
Peso del Suelo Seco (g)	3619	3475	3088
Absorcion de Agua (%)	1.1	1.8	9.9

EXPANSIÓN (%)					
FECHA	HORA	LECTURA DIAL	LECTUR A DIAL	LECTURA DIAL	N° LECTUR A
		0.000"	0.000"	0.000"	1
		0.001"	0.000"	0.002"	2
		0.002"	0.002"	0.004"	3
		0.005"	0.007"	0.008"	4
		0.007"	0.008"	0.010"	5
% EXPANSIÓN		0.14	0.16	0.20	

# GEOIN GEOTECNIA E INGENIEROS E.I.R.L.

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS - CONCRETO Y MATERIALES - ESTUDIOS GEOTECNICOS (SUELOS Y ROCAS) - CONTROL DE CALIDAD DE OBRAS CIVILES  
CONSULTORIA ESPECIALIZADA - PERFORACION Y SONDAJE PARA ACUIFEROS Y CIMENTACIONES PROFUNDAS - HINCADO DE PILOTES - PROSPECCION GEOFISICA  
PUERTO MALDONADO JR. CUSCO 138 - TAMBOPATA CUSCO URB. MEZA REDONDA A-9 - CUSCO ☎ 982737067 📠 082-574754 📄 RUC : 20490031961

## VALOR RELATIVO DE SOPORTE CBR (STM D1883-16, NTP 339.145 )

### Datos del proyecto

**Proyecto :** TESIS : MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS MEDIANTE LA INCORPORACIÓN DE CENIZAS DE CARBÓN PARA VÍAS CARROZABLES, PUERTO MALDONADO, 2022.

**Lugar :** MADRE DE DIOS

**Dist/Prov. :** TAMBOPATA - TAMBOPATA

**Solicitante :** BACH. JEAN CARLOS HUAMANI DE LA CRUZ

**Hecho por :** ING. DEMI JOSUE CARAZAS MUÑIZ

**Fecha :** 9/03/2022

### Datos de la Muestra

**MUESTRA PROPORCIONADA POR EL SOLICITANTE**

**Calicata :** C-1 + 10% DE CENIZA DE CARBON.

**Profundida. :** 1.50 m.

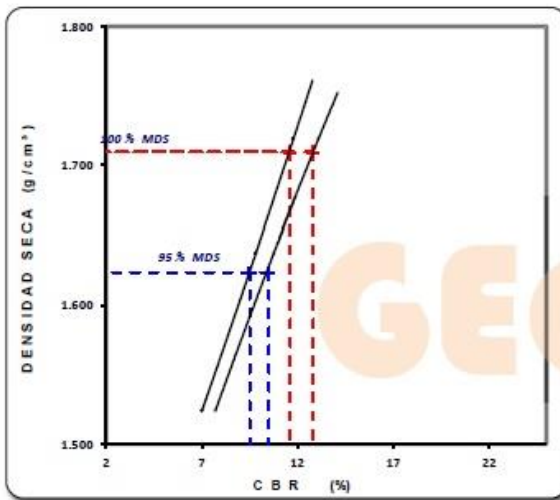
**condicion :** Alterada

### Datos del Equipo Calibrado

**Equipo :** PRENSA CBR

**Certificado de Calibración N° :** LFP- 108-2022 del 07/02/2022

### Datos y resultados de ensayo



#### DATO DEL ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

Optimo Contenido de Humedad (%) : 11.95  
Maxima Densidad Seca g/cm³ : 1.709

#### CALIFORNIA BEARING RATIO

CBR A 2.5 mm (0.1") de Penetración  
CBR Al 100% de la Maxima Densidad Seca 11.6

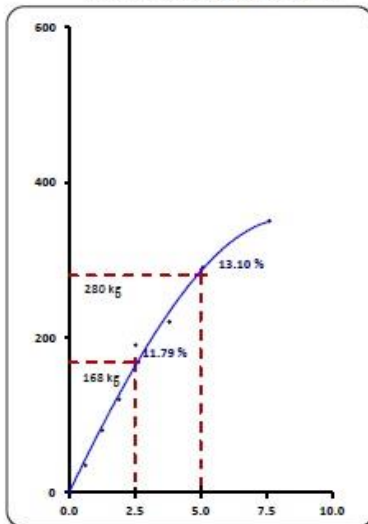
**CBR Al 95% de la Maxima Densidad Seca 9.5**

CBR A 5 mm (0.2") de Penetración  
CBR Al 100% de la Maxima Densidad Seca 12.8  
CBR Al 95% de la Maxima Densidad Seca 10.5

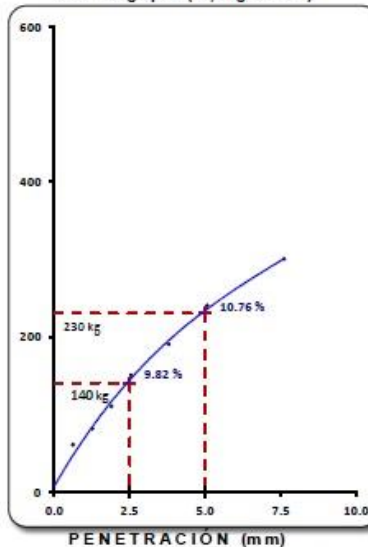
GEOTECNIA E INGENIEROS E.I.R.L.

DEMI JOSUE CARAZAS MUÑIZ  
INGENIERO CIVIL  
CIP 170183  
AREA DE GEOTECNIA

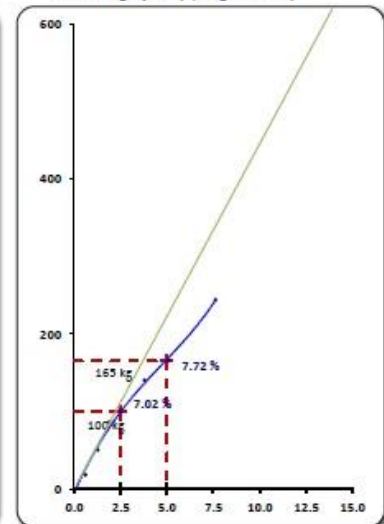
E.C.= 56 golpes (27.7 kg-cm/cm²)



E.C.= 25 golpes (12,2 kg-cm/cm²)



E.C.= 12 golpes (6,1 kg-cm/cm²)



— Penetración   
 — Correccion de curva   
 --- CBRy0.1"   
 --- CBRy0.2"

## SUELO NATURAL + 15% DE CENIZA DE CARBON

### LIMITES DE CONSISTENCIA:

## GEOIN GEOTECNIA E INGENIEROS E.I.R.L.

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS - CONCRETO Y MATERIALES - ESTUDIOS GEOTECNICOS (SUELOS Y ROCAS) - CONTROL DE CALIDAD DE OBRAS CIVILES  
CONSULTORIA ESPECIALIZADA - PERFORACION Y SONDAJE PARA ACUIFEROS Y CIMENTACIONES PROFUNDAS - HINCADO DE PILOTES - PROSPECCION GEOFISICA  
PUERTO MALDONADO JR. CUSCO 138 - TAMBOPATA CUSCO URB. MEZA REDONDA A-9 - CUSCO ☎ 982737067 📠 082-574754 📄 RUC : 20490031961

### LIMITES DE CONSISTENCIA (ASTM D4318, NTP 339.129)

#### Datos del proyecto

**Proyecto** : TESIS : MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS MEDIANTE LA INCORPORACIÓN DE CENIZAS DE CARBÓN PARA VÍAS CARROZABLES, PUERTO MALDONADO, 2022.

**Lugar** : MADRE DE DIOS

**Dist/Prov.** : TAMBOPATA - TAMBOPATA

**Solicitante** : BACH. JEAN CARLOS HUAMANI DE LA CRUZ

**Hecho por** : ING. DEMI JOSUE CARAZAS MUÑIZ

**Fecha** : 9/03/2022

#### Datos de la Muestra

**MUESTRA PROPORCIONADA POR EL SOLICITANTE**

**Calicata** : C-1 + 15% DE CENIZA DE CARBON

**Profundidad** : 1.50 m.

**condicion** : Alterada

#### Datos del Equipo Calibrado

**Equipo** : CAZUELA DE CASAGRANDE

**Certificado de Calibración N°** : LL-510-2022 del 02/07/2022

#### Datos y resultados de ensayo

#### LIMITE PLASTICO - ASTM D 4318

**LP (%) = 18.8**

Muestra	1	2
Numero de capsula	15	30
Peso de la Capsula (g)	11.39	11.4
Peso de la Capsula+Suelo Humedo (g)	22.2	20.2
Peso de la Capsula+ Suelo Seco (g)	20.41	18.87
Peso del Suelo Seco (g)	9.02	7.47
Contenido de Humedad (w)	19.8	17.8

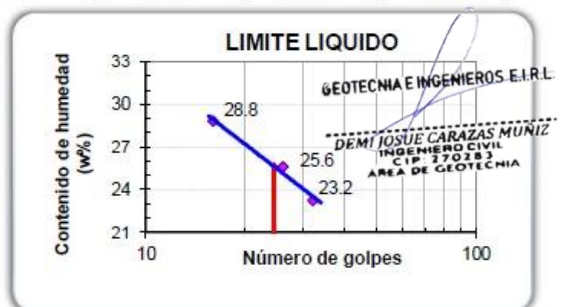
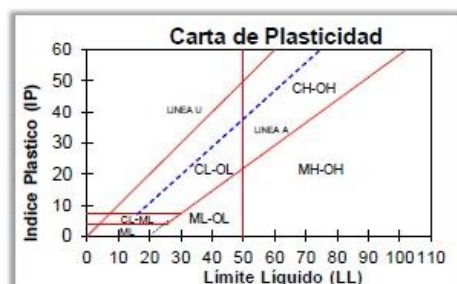
**IP (%)**

#### LIMITE LIQUIDO - ASTM D 4318

**LL (%) = 25.7**

**6.9**

Muestra	A	B	C
Numero de capsula	197	58	134
Peso de la Capsula (g)	37.6	37.2	38.9
Peso de la Capsula+Suelo Humedo (g)	62.2	59.8	61.2
Peso de la Capsula+ Suelo Seco (g)	57.6	55.2	56.2
Numero de golpes	32	26	16
Peso del Suelo Seco (g)	20.0	18.0	17.3
Contenido de Humedad (w)	23.2	25.6	28.8



PROCTOR MODIFICADO:

**GEOIN GEOTECNIA E INGENIEROS E.I.R.L.**

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS - CONCRETO Y MATERIALES · ESTUDIOS GEOTECNICOS (SUELOS Y ROCAS) · CONTROL DE CALIDAD DE OBRAS CIVILES  
 CONSULTORIA ESPECIALIZADA · PERFORACION Y SONDAJE PARA ACUIFEROS Y CIMENTACIONES PROFUNDAS · HINCADO DE PILOTES · PROSPECCION GEOFISICA  
 PUERTO MALDONADO JR. CUSCO 138 - TAMBOPATA CUSCO URB. MEZA REDONDA A-9 - CUSCO 982737067 082-574754 RUC : 20490031961

**ENSAYO PROCTOR MODIFICADO (ASTM D1557-12, NTP 339.142)**

Datos del proyecto

Proyecto : TESIS : MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS MEDIANTE LA INCORPORACIÓN DE CENIZAS DE CARBÓN PARA VÍAS CARROZABLES, PUERTO MALDONADO, 2022.  
 Lugar : MADRE DE DIOS Dist/Prov. : TAMBOPATA - TAMBOPATA  
 Solicitante : BACH. JEAN CARLOS HUAMANI DE LA CRUZ Hecho por : ING. DEMI JOSUE CARAZAS MUÑOZ

Datos de la Muestra

MUESTRA PROPORCIONADA POR EL SOLICITANTE Fecha : 9/03/2022  
 Calicata : C-1 + 15% DE CENIZA DE CARBON  
 Profundidad : 1.50 m.  
 condicion : Alterada

Datos del Equipo Calibrado

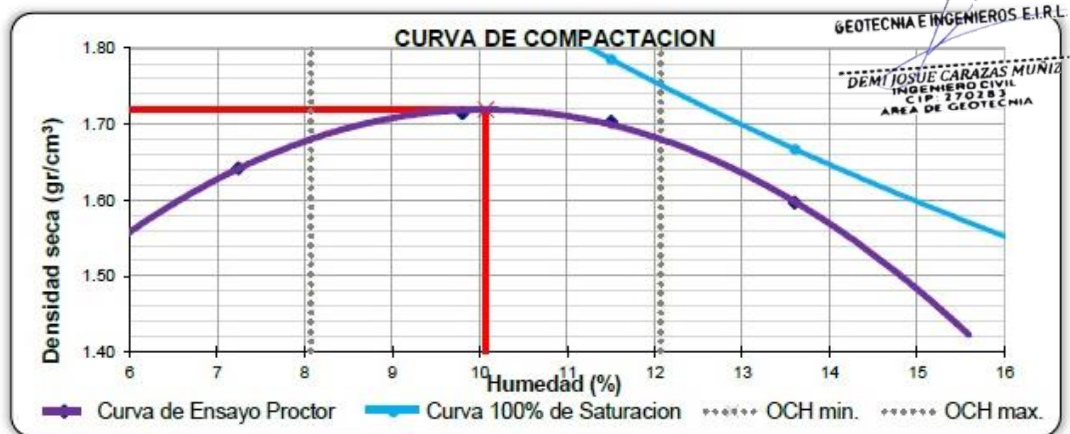
Equipo : PISÓN MANUAL DE PROCTOR MOD.  
 Certificado de Calibración N° : LL-514-2022 del 07-02-2022

Datos y resultados de ensayo

Compaction	Codigo de molde : P1		Metodo : A molde de 4"	
Prueba N°	1	2	3	4
Numero de capas	5	5	5	5
Numero de golpes	25	25	25	25
Peso suelo + molde (g)	6100	6215	6230	6150
Peso del molde (g)	4444	4444	4444	4444
Peso del suelo humedo compactado (g)	1656	1771	1786	1706
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	940.45	940.5	940.5	940.5
Densidad húmeda (g/cm <sup>3</sup> )	1.761	1.883	1.899	1.814
<b>Humedad</b>				
N° de tara	165	233	201	420
Tara + Suelo Humedo (g)	500.20	544.20	512.20	500.20
Tara + Suelo Seco (g)	468.97	498.98	463.25	444.82
Peso de la tara	37.64	37.60	37.60	37.65
Peso del agua	31.23	45.22	48.95	55.38
Peso de suelo seco (g)	431.33	461.38	425.65	407.17
Humedad (%)	7.24	9.80	11.50	13.60
Densidad Seca (g/cm <sup>3</sup> )	1.642	1.715	1.703	1.597

Maxima Densidad Seca (g/cm<sup>3</sup>) : **1.719**

Optimo Contenido de Humedad (%): **10.07**



\* De la granulometria el %Ret. Acumla. 3/4"= 0% NO requiere correccion por sobre tamaño según ASTM D-4718

CBR:

## GEOIN GEOTECNIA E INGENIEROS E.I.R.L.

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS - CONCRETO Y MATERIALES - ESTUDIOS GEOTECNICOS (SUELOS Y ROCAS) - CONTROL DE CALIDAD DE OBRAS CIVILES  
CONSULTORIA ESPECIALIZADA - PERFORACION Y SONDAJE PARA ACUIFEROS Y CIMENTACIONES PROFUNDAS - HINCADO DE PILOTES - PROSPECCION GEOFISICA  
PUERTO MALDONADO JR. CUSCO 138 - TAMBOPATA CUSCO URB. MEZA REDONDA A-9 - CUSCO 982737067 082-574754 RUC : 20490031961

### VALOR RELATIVO DE SOPORTE CBR (ASTM D1883-16, NTP 339.145)

**Datos del proyecto**

**Proyecto** : TESIS : MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS MEDIANTE LA INCORPORACIÓN DE CENIZAS DE CARBÓN PARA VÍAS CARROZABLES, PUERTO MALDONADO, 2022.  
**Lugar** : MADRE DE DIOS  
**Dist/Prov.** : TAMBOPATA - TAMBOPATA  
**Solicitante** : BACH. JEAN CARLOS HUAMANI DE LA CRUZ  
**Hecho por** : ING. DEMI JOSUE CARAZAS MUÑIZ  
**Fecha** : 9/03/2022

**Datos de la Muestra**

**MUESTRA PROPORCIONADA POR EL SOLICITANTE**  
**Calicata** : C-1 + 15% DE CENIZA DE CARBON  
**Profundidad** : 1.50 m.  
**condición** : Alterada

**Datos del Equipo Calibrado**

**Equipo** : PRENSA CBR  
**Certificado de Calibración N°** : LFP- 108-2022 del 07/02/2022

**Datos y resultados de ensayo**

C.B.R.			
	N° DE CAPAS : 5		
N° DE MOLDE	A	B	C
N° DE GOLPES	56	25	12
Volumen de Molde (cm <sup>3</sup> )	2175	2179	2172
Peso del Molde + Suelo Humedo (g)	11599	11160	11050
Peso del Molde (g)	7358	7135	7259
Peso del Suelo Humedo (g)	4241	4025	3791
N° Tarro	-	-	-
Peso Tarro + Suelo Humedo (g)	302.2	300.2	288.5
Pesp Tarro + Suelo Seco (g)	279.6	277.6	266.8
Peso del Agua (g)	22.6	22.6	21.7
Peso de Tarro (g)	55.5	51.4	50.2
Peso del Suelo Seco (g)	224.1	226.2	216.6
Contenido de Humedad (g)	10.07	9.98	10.00
Densidad Humeda (g/cm <sup>3</sup> )	1.950	1.847	1.745
Densidad Seca (g/cm <sup>3</sup> )	1.771	1.680	1.587

PENETRACIÓN							
CAPACIDAD DE LA CELDA							
MOLDE		A		B		C	
PENETR. (pulg)	PENETR. (mm)	LECTURA DIAL	CARGA (kg)	LECTURA DIAL	CARGA (kg)	LECTURA DIAL	CARGA (kg)
0.000	0.000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.025	0.63	42.0	42.0	50.0	50.0	30.0	30.0
0.05	1.27	100.0	100.0	90.0	90.0	65.0	65.0
0.075	1.9	158.0	158.0	130.0	130.0	120.0	120.0
0.1	2.54	204.0	204.0	190.0	190.0	120.0	120.0
0.125	3.81	286.0	286.0	220.0	220.0	160.0	160.0
0.2	5.08	340.0	340.0	260.0	260.0	208.0	208.0
0.3	7.62	450.0	450.0	355.0	355.0	233.0	233.0
0.4	10.16						
0.500	12.700						

GEOTECNIA E INGENIEROS E.I.R.L.  
  
 DEMI JOSUE CARAZAS MUÑIZ  
 INGENIERO CIVIL  
 CIP: 270213  
 AREA DE GEOTECNIA

ABSORCIÓN			
N° MOLDE	A	B	C
Peso del Suelo Humedo + Plato + Molde (g)	11655	11230	11120
Peso del Plato + Molde (g)	7358	7135	7259
Peso del Suelo Humedo Embebido (g)	4297	4095	3861
Peso del Suelo Humedo Sin Embeber (g)	4241	4025	3791
Peso del Agua Absorbida (g)	56	70	70
Peso del Suelo Seco (g)	3853	3660	3446
Absorción de Agua (%)	1.5	1.9	2.0

EXPANSIÓN (%)					
FECHA	HORA	LECTURA DIAL	LECTUR A DIAL	LECTURA DIAL	N° LECTUR A
		0.000"	0.000"	0.000"	1
		0.001"	0.001"	0.002"	2
		0.004"	0.004"	0.006"	3
		0.007"	0.005"	0.008"	4
		0.009"	0.010"	0.011"	5
% EXPANSIÓN		0.18	0.20	0.22	



# GEOIN GEOTECNIA E INGENIEROS E.I.R.L.

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS - CONCRETO Y MATERIALES - ESTUDIOS GEOTECNICOS (SUELOS Y ROCAS) - CONTROL DE CALIDAD DE OBRAS CIVILES  
CONSULTORIA ESPECIALIZADA - PERFORACION Y SONDAJE PARA ACUIFEROS Y CIMENTACIONES PROFUNDAS - HINCADO DE PILOTES - PROSPECCION GEOFISICA  
PUERTO MALDONADO JR. CUSCO 138 - TAMBOPATA 9 CUSCO URB. MEZA REDONDA A-9 - CUSCO ☎ 982737067 📠 082-574754 RUC : 20490031961

## VALOR RELATIVO DE SOPORTE CBR (STM D1883-16, NTP 339.145 )

Datos del proyecto

**Proyecto :** TESIS : MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS MEDIANTE LA INCORPORACIÓN DE CENIZAS DE CARBÓN PARA VÍAS CARROZABLES, PUERTO MALDONADO, 2022.

**Lugar :** MADRE DE DIOS

**Dist/Prov. :** TAMBOPATA - TAMBOPATA

**Solicitante :** BACH. JEAN CARLOS HUAMANI DE LA CRUZ

**Hecho por :** ING. DEMI JOSUE CARAZAS MUÑIZ

**Fecha :** 9/03/2022

Datos de la Muestra

**MUESTRA PROPORCIONADA POR EL SOLICITANTE**

**Calicata :** C-1 + 15% DE CENIZA DE CARBON

**Profundida. :** 1.50 m.

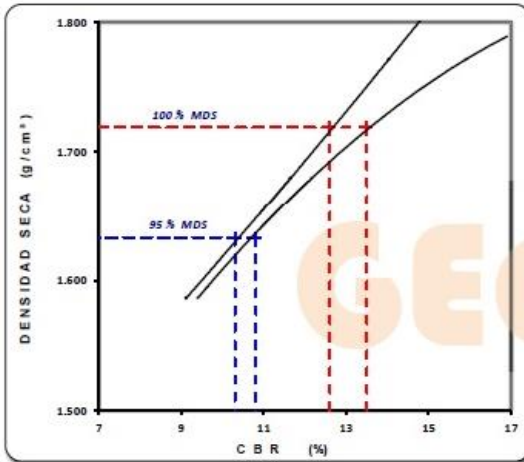
**condicion :** Alterada

Datos del Equipo Calibrado

**Equipo :** PRENSA CBR

**Certificado de Calibración N° :** LFP- 108-2022 del 07/02/2022

Datos y resultados de ensayo



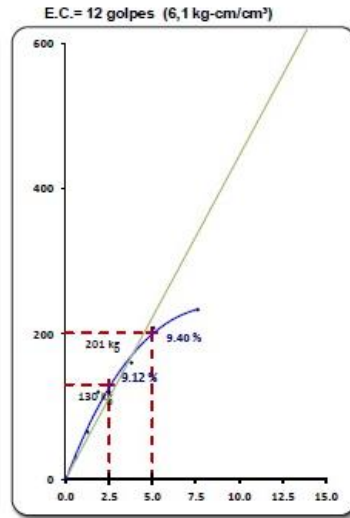
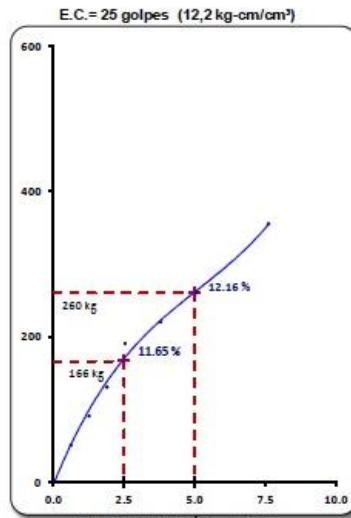
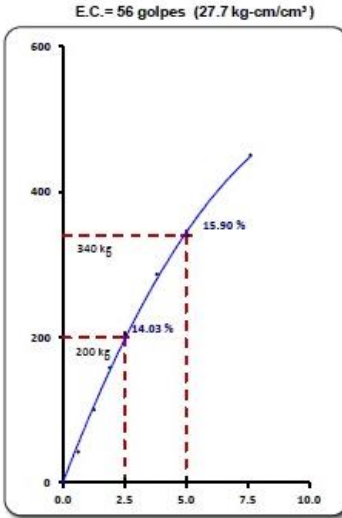
**DATO DEL ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO**

Optimo Contenido de Humedad (%) : 10.07  
Maxima Densidad Seca g/cm<sup>3</sup> : 1.719

**CALIFORNIA BEARING RATIO**

<b>CBR A 2.5 mm (0.1") de Penetración</b>	
CBR Al 100% de la Maxima Densidad Seca	12.6
CBR Al 95% de la Maxima Densidad Seca	10.3
<b>CBR A 5 mm (0.2") de Penetración</b>	
CBR Al 100% de la Maxima Densidad Seca	13.5
CBR Al 95% de la Maxima Densidad Seca	10.8

GEOTECNIA E INGENIEROS E.I.R.L.  
*DEMI JOSUE CARAZAS MUÑIZ*  
INGENIERO CIVIL  
C.I.P. 270283  
AREA DE GEOTECNIA



— Penetracion   
 — Correccion de curva   
 --- CBRy 0.1"   
 --- CBRy0.2"

## SUELO NATURAL + 20% DE CENIZA DE CARBON

### LIMITES DE CONSISTENCIA:

## GEOIN GEOTECNIA E INGENIEROS E.I.R.L.

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS - CONCRETO Y MATERIALES - ESTUDIOS GEOTECNICOS (SUELOS Y ROCAS) - CONTROL DE CALIDAD DE OBRAS CIVILES  
CONSULTORIA ESPECIALIZADA - PERFORACION Y SONDAJE PARA ACUIFEROS Y CIMENTACIONES PROFUNDAS - HINCADO DE PILOTES - PROSPECCION GEOFISICA  
PUERTO MALDONADO JR. CUSCO 138 - TAMBOPATA CUSCO URB. MEZA REDONDA A-9 - CUSCO 982737067 082-574754 RUC : 20490031961

### LIMITES DE CONSISTENCIA (ASTM D4318, NTP 339.129)

#### Datos del proyecto

**Proyecto** : TESIS : MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS MEDIANTE LA INCORPORACIÓN DE CENIZAS DE CARBÓN PARA VÍAS CARROZABLES, PUERTO MALDONADO, 2022.

**Lugar** : MADRE DE DIOS

**Dist/Prov.** : TAMBOPATA - TAMBOPATA

**Solicitante** : BACH. JEAN CARLOS HUAMANI DE LA CRUZ

**Hecho por** : ING. DEMI JOSUE CARAZAS MUÑIZ

**Fecha** : 9/03/2022

#### Datos de la Muestra

**MUESTRA PROPORCIONADA POR EL SOLICITANTE**

**Calicata** : C-1 + 20% DE CENIZA DE CARBON

**Profundidad** : 1.50 m.

**condicion** : Alterada

#### Datos del Equipo Calibrado

**Equipo** : CAZUELA DE CASAGRANDE

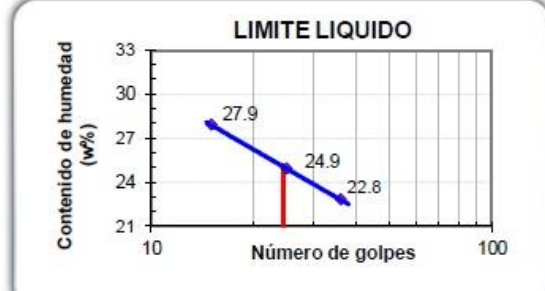
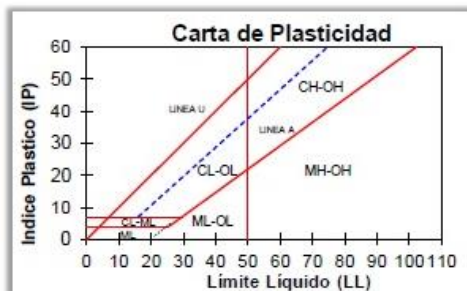
**Certificado de Calibración N°** : LL-510-2022 del 02/07/2022

#### Datos y resultados de ensayo

<b>LIMITE PLASTICO - ASTM D 4318</b>		<b>LP (%) = 18.9</b>	
Muestra	1	2	
Numero de capsula	75	100	
Peso de la Capsula (g)	11.51	11.51	
Peso de la Capsula+Suelo Humedo (g)	21.8	22.6	
Peso de la Capsula+ Suelo Seco (g)	20.17	20.84	
Peso del Suelo Seco (g)	8.66	9.33	
Contenido de Humedad (w)	18.8	18.9	

  
**GEOTECNIA E INGENIEROS E.I.R.L.**  
 DEMI JOSUE CARAZAS MUÑIZ  
 INGENIERO CIVIL  
 CIP: 170282  
 AREA DE GEOTECNIA

<b>LIMITE LIQUIDO - ASTM D 4318</b>		<b>LL (%) = 25.0</b>		<b>IP (%)</b>
Muestra	A	B	C	
Numero de capsula	199	207	97	
Peso de la Capsula (g)	37.6	37.6	37.1	
Peso de la Capsula+Suelo Humedo (g)	63.3	61.2	60.2	
Peso de la Capsula+ Suelo Seco (g)	58.5	56.5	55.2	
Numero de golpes	36	25	15	
Peso del Suelo Seco (g)	20.9	18.9	18.1	
Contenido de Humedad (w)	22.8	24.9	27.9	



**PROCTOR MODIFICADO:**

**GEOIN GEOTECNIA E INGENIEROS E.I.R.L.**

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS - CONCRETO Y MATERIALES - ESTUDIOS GEOTECNICOS (SUELOS Y ROCAS) - CONTROL DE CALIDAD DE OBRAS CIVILES  
 CONSULTORIA ESPECIALIZADA - PERFORACION Y SONDAJE PARA ACUIFEROS Y CIMENTACIONES PROFUNDAS - HINGADO DE PILOTES - PROSPECCION GEOFISICA  
 PUERTO MALDONADO JR. CUSCO 138 - TAMBOPATA CUSCO URB. MEZA REDONDA A-9 - CUSCO 982737067 082-574754 RUC : 20490031961

**ENSAYO PROCTOR MODIFICADO (ASTM D1557-12, NTP 339.142 )**

Datos del proyecto

Proyecto	TESIS : MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS MEDIANTE LA INCORPORACIÓN DE CENIZAS DE CARBÓN PARA VÍAS CARROZABLES, PUERTO MALDONADO, 2022.		
Lugar	MADRE DE DIOS	Dist/Prov.	TAMBOPATA - TAMBOPATA
Solicitante	BACH. JEAN CARLOS HUAMANI DE LA CRUZ	Hecho por	ING. DEMI JOSUE CARAZAS MUÑOZ

Datos de la Muestra

Datos del Equipo Calibrado

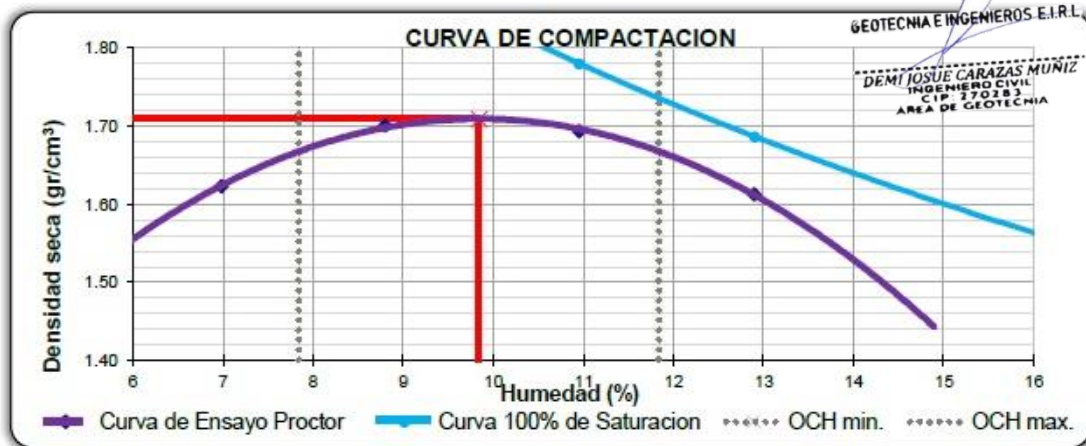
MUESTRA PROPORCIONADA POR EL SOLICITANTE	Fecha	9/03/2022	Equipo	:	PISÓN MANUAL DE PROCTOR MOD.
Calicata	:	C-1 + 20% DE CENIZA DE CARBON	Certificado de Calibración N°	:	LL-514-2022 del 07-02-2022
Profundidad	:	1.50 m.			
condicion	:	Alterada			

Datos y resultados de ensayo

Compactacion	Codigo de molde : P2		Metodo : A molde de 4"	
Prueba N°	1	2	3	4
Numero de capas	5	5	5	5
Numero de golpes	25	25	25	25
Peso suelo + molde (g)	6022	6130	6158	6102
Peso del molde (g)	4376	4376	4376	4376
Peso del suelo humedo compactado (g)	1646	1754	1782	1726
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	947.87	947.9	947.9	947.9
Densidad húmeda (g/cm <sup>3</sup> )	1.737	1.850	1.880	1.821
<b>Humedad</b>				
N° de tara	163	233	141	180
Tara + Suelo Humedo (g)	498.50	500.20	512.00	488.50
Tara + Suelo Seco (g)	468.43	462.78	465.18	437.13
Peso de la tara	37.60	37.60	37.64	38.92
Peso del agua	30.07	37.42	46.82	51.37
Peso de suelo seco (g)	430.83	425.18	427.54	398.21
Humedad (%)	6.98	8.80	10.95	12.90
Densidad Seca (g/cm <sup>3</sup> )	1.623	1.701	1.694	1.613

Maxima Densidad Seca (g/cm<sup>3</sup>) : 1.710

Optimo Contenido de Humedad (%): 9.84



\* De la granulometria el %Ret. Acumla. 3/4"= 0% NO requiere correcion por sobre tamaño según ASTM D-4718

CBR:

## GEOIN GEOTECNIA E INGENIEROS E.I.R.L.

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS - CONCRETO Y MATERIALES · ESTUDIOS GEOTECNICOS (SUELOS Y ROCAS) · CONTROL DE CALIDAD DE OBRAS CIVILES  
CONSULTORIA ESPECIALIZADA · PERFORACION Y SONDAJE PARA ACUIFEROS Y CIMENTACIONES PROFUNDAS · HINCADO DE PILOTES · PROSPECCION GEOFISICA  
PUERTO MALDONADO JR. CUSCO 138 · TAMBOPATA CUSCO URB. MEZA REDONDA A-9 · CUSCO ☎ 982737067 📠 082-574754 RUC : 20490031961

### VALOR RELATIVO DE SOPORTE CBR (ASTM D1883-16, NTP 339.145)

Datos del proyecto

**Proyecto** : TESIS : MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS MEDIANTE LA INCORPORACIÓN DE CENIZAS DE CARBÓN PARA VÍAS CARROZABLES, PUERTO MALDONADO, 2022.

**Lugar** : MADRE DE DIOS

**Dist/Prov.** : TAMBOPATA - TAMBOPATA

**Solicitante** : BACH. JEAN CARLOS HUAMANI DE LA CRUZ

**Hecho por** : ING. DEMI JOSUE CARAZAS MUÑIZ

**Fecha** : 9/03/2022

Datos de la Muestra

**MUESTRA PROPORCIONADA POR EL SOLICITANTE**

**Calicata** : C-1 + 20% DE CENIZA DE CARBON

**Profundidad** : 1.50 m.

**condicion** : Alterada

Datos del Equipo Calibrado

**Equipo** : PRENSA CBR

**Certificado de Calibración N°** : LFP- 108-2022 del 07/02/2022

Datos y resultados de ensayo

C.B.R.			
N° DE CAPAS : 5			
N° DE MOLDE	D	E	F
N° DE GOLPES	56	25	12
Volumen de Molde (cm <sup>3</sup> )	2122	2122	2122
Peso del Molde + Suelo Humedo (g)	12420	12060	11620
Peso del Molde (g)	8426	8285	8070
Peso del Suelo Humedo (g)	3994	3775	3550
N° Tarro	-	-	-
Peso Tarro + Suelo Humedo (g)	298.6	288.8	214.5
Pesp Tarro + Suelo Seco (g)	276.2	267.5	199.9
Peso del Agua (g)	22.4	21.3	14.6
Peso de Tarro (g)	48.8	50	51.2
Peso del Suelo Seco (g)	227.4	217.5	148.7
Contenido de Humedad (g)	9.84	9.78	9.80
Densidad Humeda (g/cm <sup>3</sup> )	1.882	1.779	1.673
Densidad Seca (g/cm <sup>3</sup> )	1.713	1.620	1.523

PENETRACIÓN							
CAPACIDAD DE LA CELDA							
MOLDE		D		E		F	
PENETR. (pulg)	PENETR. (mm)	LECTURA DIAL	CARGA (kg)	LECTURA DIAL	CARGA (kg)	LECTURA DIAL	CARGA (kg)
0.000	0.000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.025	0.63	35.0	35.0	75.0	75.0	18.0	18.0
0.05	1.27	80.0	80.0	90.0	90.0	40.0	40.0
0.075	1.9	120.0	120.0	115.0	115.0	95.0	95.0
0.1	2.54	190.0	190.0	165.0	165.0	107.0	107.0
0.125	3.81	220.0	220.0	201.0	201.0	150.0	150.0
0.2	5.08	290.0	290.0	260.0	260.0	175.0	175.0
0.3	7.62	350.0	350.0	310.0	310.0	230.0	230.0
0.4	10.16						
0.500	12.700						

  
**GEOTECNIA E INGENIEROS E.I.R.L.**  
 DEMI JOSUE CARAZAS MUÑIZ  
 INGENIERO CIVIL  
 C.I.P. 270282  
 AREA DE GEOTECNIA

ABSORCIÓN			
N° MOLDE	D	E	F
Peso del Suelo Humedo + Plato + Molde (g)	12480	12130	11700
Peso del Plato + Molde (g)	8426	8285	8070
Peso del Suelo Humedo Embebido (g)	4054	3845	3630
Peso del Suelo Humedo Sin Embeber (g)	3994	3775	3550
Peso del Agua Absorbida (g)	60	70	80
Peso del Suelo Seco (g)	3636	3439	3233
Absorcion de Agua (%)	1.7	2.0	2.5

EXPANSIÓN (%)					
FECHA	HORA	LECTURA DIAL	LECTUR A DIAL	LECTURA DIAL	N° LECTOR A
		0.000"	0.000"	0.000"	1
		0.000"	0.005"	0.002"	2
		0.002"	0.008"	0.006"	3
		0.008"	0.010"	0.010"	4
		0.011"	0.013"	0.015"	5
% EXPANSIÓN		0.22	0.26	0.30	

# GEOIN GEOTECNIA E INGENIEROS E.I.R.L.

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS - CONCRETO Y MATERIALES - ESTUDIOS GEOTECNICOS (SUELOS Y ROCAS) - CONTROL DE CALIDAD DE OBRAS CIVILES  
CONSULTORIA ESPECIALIZADA - PERFORACION Y SONDAGE PARA ACUIFEROS Y CIMENTACIONES PROFUNDAS - HINCADO DE PILOTES - PROSPECCION GEOFISICA  
PUERTO MALDONADO JR. CUSCO 138 - TAMBOPATA CUSCO URB. MEZA REDONDA A-9 - CUSCO 982737067 082-574754 RUC : 20490031961

## VALOR RELATIVO DE SOPORTE CBR (STM D1883-16, NTP 339.145 )

Datos del proyecto

**Proyecto :** TESIS : MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS MEDIANTE LA INCORPORACIÓN DE CENIZAS DE CARBÓN PARA VÍAS CARROZABLES, PUERTO MALDONADO, 2022.

**Lugar :** MADRE DE DIOS.

**Dist/Prov. :** TAMBOPATA - TAMBOPATA

**Solicitante :** BACH. JEAN CARLOS HUAMANI DE LA CRUZ

**Hecho por :** ING. DEMI JOSUE CARAZAS MUÑIZ

**Fecha :** 9/03/2022

Datos de la Muestra

**MUESTRA PROPORCIONADA POR EL SOLICITANTE**

**Calicata :** C-1 + 20% DE CENIZA DE CARBON

**Profundida. :** 1.50 m.

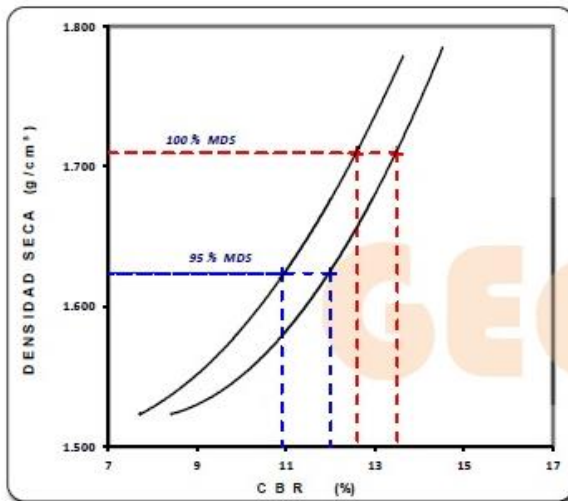
**condicion :** Alterada

Datos del Equipo Calibrado

**Equipo :** PRENSA CBR

**Certificado de Calibración N° :** LFP- 108-2022 del 07/02/2022

Datos y resultados de ensayo



DATO DEL ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

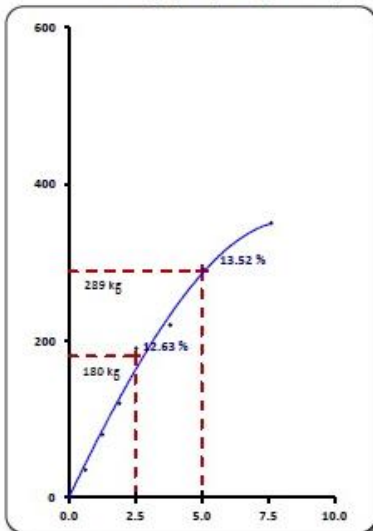
Optimo Contenido de Humedad (%) : 9.84  
Maxima Densidad Seca g/cm³ : 1.710

CALIFORNIA BEARING RATIO

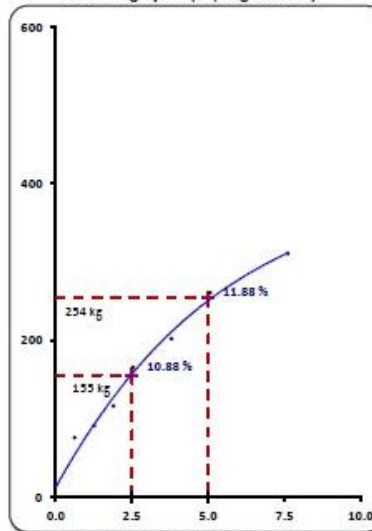
CBR A 2.5 mm (0.1") de Penetración  
CBR Al 100% de la Maxima Densidad Seca 12.6  
**CBR Al 95% de la Maxima Densidad Seca 10.9**

CBR A 5 mm (0.2") de Penetración  
CBR Al 100% de la Maxima Densidad Seca 13.5  
CBR Al 95% de la Maxima Densidad Seca 12.0

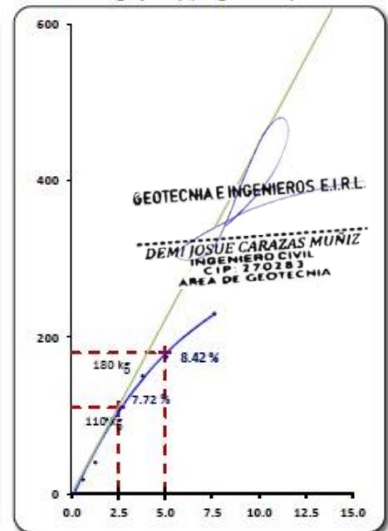
E.C.= 56 golpes (27.7 kg-cm/cm²)



E.C.= 25 golpes (12,2 kg-cm/cm²)



E.C.= 12 golpes (6,1 kg-cm/cm²)



— Penetración   
 — Correccion de curva   
 - - - CBRy 0.1"   
 - - - CBRy 0.2"

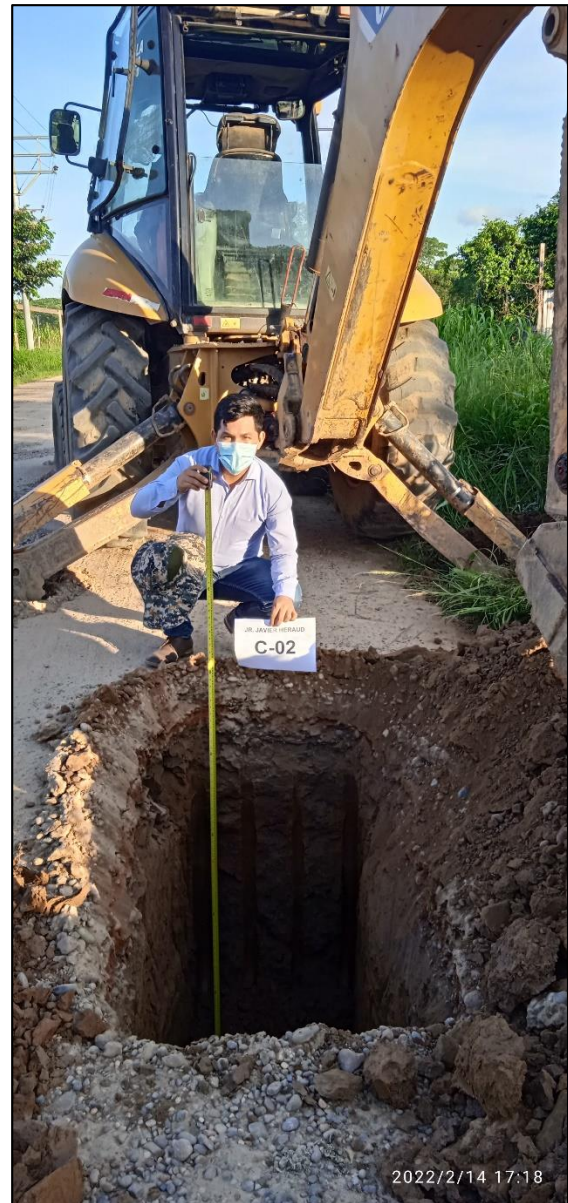
GEOTECNIA E INGENIEROS E.I.R.L.  
 DEMI JOSUE CARAZAS MUNIZ  
 INGENIERO CIVIL  
 CIP: 1702183  
 AREA DE GEOTECNIA

Extracción de la Muestra n°01



Fuente: Elaboración propia

Extracción de la Muestra n°02



Fuente: Elaboración propia

## Lavado de la Muestra



Fuente: Elaboración propia

## Granulometría por tamices



Fuente: Elaboración propia

## Cenizas de carbón



Fuente: Elaboración propia

## Ensayo de Proctor Modificado



Fuente: Elaboración propia



## Combinación de Suelo y Cenizas de carbón



Fuente: Elaboración propia.