

# UNIVERSIDAD SAN PEDRO

FACULTAD DE INGENIERIA

PROGRAMA DE ESTUDIOS DE INGENIERIA CIVIL



**Capacidad de soporte del suelo de la carretera del Centro Poblado de Chinchobamba – Sihuas con la adición de 5% de ceniza de hojas de pino y 10% de ceniza de marucha (*donax obesulus*).**

**Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Civil**

**Autor**

Mori Rosales, Cledy Roxana

**Asesor**

Urrutia Vargas, Segundo

Chimbote – Perú

2020

### **Palabras claves**

---

Tema	Estabilización
Especialidad	Mecánica de suelos

---

### **Key words**

---

Theme	Stabilization
specialty	Soil mechanics

---

### **Línea de investigación**

---

Línea de investigación	Transporte
Área	Ingeniería y Tecnología
Sub - Área	Ingeniería Civil
Disciplina	Ingeniería Civil

---

**Capacidad de soporte del suelo de la carretera del Centro Poblado de Chinchobamba – Sihuas con la adición de 5% de ceniza de hojas de pino y 10% de ceniza de marucha (*donax obesulus*).**

## Resumen

La presente investigación evaluó la capacidad de soporte del suelo de la carretera del Centro Poblado de Chinchobamba a nivel de la subrasante al adicionar la ceniza de hojas de pino y ceniza de marucha, para lo cual se realizaron ensayos que determinen sus características físicas y mecánicas del suelo natural.

Las hojas de pino fueron extraídas de alrededor del C.P. de Chinchobamba – san juan-Sihuas-Áncash y fueron precalcínadas al aire libre para calcinar en la mufla con la temperatura obtenida 410°C; así mismo la marucha se obtuvo del muelle de la ciudad de Chimbote y calcínada en la mufla a una temperatura de 800°C; Una vez calcínada los materiales fueron triturados en un mortero hasta obtener el tamaño de las partículas menores de 0.075mm. para ser adicionados al suelo natural en porcentajes de 5% y 10% respectivamente.

La metodología de esta investigación consistió en caracterizar su índice de plasticidad, expansión y capacidad de soporte en el suelo natural y la mezcla del suelo al adicionar las cenizas en porcentajes de 5% y 10% en su peso. En la cual los resultados obtenidos de CBR (0.1'') del suelo natural fueron los siguientes: C1=5.1%, C2=5.8% y C3=7.5% mientras que los resultados de la mezcla del suelo con las cenizas llegaron a aumentar a 18% la C1, 20.5% la C2 y 22.2% la C3, por ende su porcentaje de expansión ha disminuido de 3.82% a 2.24% la C1, de 3.74% a 2.29% la C2 y la C3 de 4.09% a 1.58%.

Estos datos obtenidos del laboratorio de suelos de la universidad San Pedro comparando con los cuadros del manual de carreteras sección suelos y pavimentos del MTC son aceptables.

## **Abstrac**

The present investigation evaluated the bearing capacity of the soil of the Chinchobamba Town Center road at the subgrade level by adding the ash of pine leaves and marucha ash, for which tests were carried out to determine its physical and mechanical characteristics. natural soil.

The pine leaves were extracted from around the C.P. from Chinchobamba - san juan-Sihuas-Áncash and they were precalcined in the open air to calcine in the muffle with the temperature obtained 410 ° c; likewise the marucha was obtained from the dock of the city of Chimbote and calcined in the muffle at a temperature of 800 ° c; Once the materials were calcined, they were crushed in a mortar until the particle size smaller than 0.075mm was obtained. to be added to natural soil in percentages of 5% and 10% respectively.

The methodology of this research consisted of characterizing its plasticity index, expansion and support capacity in the natural soil and the mixture of the soil by adding the ashes in percentages of 5% and 10% by weight. In which the results obtained from CBR (0.1``) of the natural soil were as follows: C1 = 5.1%, C2 = 5.8% and C3 = 7.5%, while the results of mixing the soil with ashes increased to 18 % C1, 20.5% C2 and 22.2% C3, therefore its expansion percentage has decreased from 3.82% to 2.24% C1, from 3.74% to 2.29% C2 and C3 from 4.09% to 1.58%.

These data obtained from the soil laboratory of the San Pedro University comparing with the tables of the road manual section soils and pavements of the MTC are acceptable.

## Índice

Palabras claves en español e inglés -línea de investigación	i
Título de investigación	ii
Resumen	iii
Abstrac	iv
Índice	v
Introducción	1
Metodología	28
Resultados	39
Análisis y discusiones	67
Conclusiones	69
Recomendaciones	70
Referencias bibliográficas	71
Agradecimiento	74
Anexos y apéndices	75

## Lista de tablas

<b>Tabla 1.</b> Composición química de ceniza de hojas de pino expresado en óxidos. ....	1
<b>Tabla 2.</b> Numero de calicatas para la exploración de suelos.....	6
<b>Tabla 3.</b> Clasificación de suelos para la subrasante de carreteras según el Sistema AASHTO. .....	9
<b>Tabla 4.</b> Clasificación de suelos según el Sistema SUCS. ....	11
<b>Tabla 5.</b> Tamaño de la abertura de los tamices .....	12
<b>Tabla 6.</b> Clasificación de suelos según el tamaño de partículas. ....	13
<b>Tabla 7.</b> Clasificación de suelos según su índice de plasticidad. ....	14
<b>Tabla 8.</b> Categorías de Sub-rasante. ....	19
<b>Tabla 9.</b> Técnicas e instrumentos. ....	30
<b>Tabla 10.</b> Contenido de humedad natural de las tres calicatas en estudio. ....	39
<b>Tabla 11.</b> Cuadro de análisis granulométrico por tamizado de la calicata N°01. ....	40
<b>Tabla 12.</b> Cuadro de análisis granulométrico por tamizado de la calicata N°02. ....	41
<b>Tabla 13.</b> Cuadro de análisis granulométrico por tamizado de la calicata N°03. ....	42
<b>Tabla 14.</b> Cuadro de limite líquido y limite plástico de la calicata N° 01.....	43
<b>Tabla 15.</b> Cuadro de limite líquido y limite plástico de la calicata N° 02.....	44
<b>Tabla 16.</b> Cuadro de limite líquido y limite plástico de la calicata N° 03.....	45
<b>Tabla 17.</b> Clasificación de suelos según AASHTO de la calicata 1 y 2.....	46
<b>Tabla 18.</b> Clasificación de suelos según AASHTO de la calicata 3.....	47
<b>Tabla 19.</b> Cuadro de resumen de la clasificación de suelos .....	48
<b>Tabla 20.</b> Composición química de la ceniza de hojas de pino.....	51
<b>Tabla 21.</b> Composición química de la ceniza de marucha (donax obesulus). ....	52
<b>Tabla 22.</b> Cuadro del pH de las muestras. ....	53
<b>Tabla 23.</b> Cuadro del proctor modificado patrón de la calicata N° 01. ....	54
<b>Tabla 24.</b> Cuadro del proctor modificado patrón de la calicata N°02. ....	55
<b>Tabla 25.</b> Cuadro del proctor modificado patrón de la calicata N° 03.....	56
<b>Tabla 26.</b> Cuadro del proctor modificado experimental de la calicata N°01.....	57
<b>Tabla 27.</b> Cuadro del proctor modificado experimental de la calicata N°02.....	58
<b>Tabla 28.</b> Cuadro del proctor modificado experimental de la calicata N°03.....	59
<b>Tabla 29.</b> Ensayo de penetración del patrón de la calicata N°01. ....	60

<b>Tabla 30.</b> Ensayo de penetración del patrón de la calicata N°02. ....	61
<b>Tabla 31.</b> Ensayo de penetración del patrón de la calicata N°03. ....	62
<b>Tabla 32.</b> Ensayo de penetración del experimental de la calicata N 01. ....	63
<b>Tabla 33.</b> Ensayo de penetración del experimental de la calicata N 02. ....	64
<b>Tabla 34.</b> Ensayo de penetración del experimental de la calicata N 03. ....	65
<b>Tabla 35.</b> Porcentaje de expansión de las muestras ensayadas respecto a la altura inicial antes de la saturación. ....	66

### **Lista de figuras**

<b>Figura 1.</b> lamina de la arcilla caolinita. (Crespo, 2004).....	4
<b>Figura 2.</b> Láminas de la arcilla montmorilonita. (Crespo, 2004).....	4
<b>Figura 3.</b> Lámina de la arcilla ilita. (Crespo, 2004).....	5
<b>Figura 4.</b> Descomposición de la muestra alterada. (Crespo, 2004) .....	7
<b>Figura 5.</b> Proceso de cuarteo de las muestras alteradas. (Crespo, 2004) .....	8
<b>Figura 6.</b> Carta de plasticidad. (Braja, 2013, pág. 41) .....	10
<b>Figura 7.</b> Copa Casagrande para ensayo de limite líquido. (Cubas & Falen, 2016). 14	
<b>Figura 8.</b> Esquema de los equipos del CBR. (MTC, 2016, pág. 249) .....	18
<b>Figura 9.</b> Relación talla-edad de las maruchas de la bahía de Sanmanco. (Berrú & Uribe, 2014).....	23
<b>Figura 10.</b> esquema de diseño de investigación (patrón).....	28
<b>Figura 11.</b> esquema de diseño de investigación (experimental). .....	28
<b>Figura 12.</b> Ubicación del tramo de la carretera en investigación.....	31
<b>Figura 13.</b> Ubicación de las plantaciones de donde se extrajo las hojas de pino.....	33
<b>Figura 14.</b> Curva de análisis granulométrico por tamizado de la calicata N° 01.....	40
<b>Figura 15.</b> Curva de análisis granulométrico por tamizado calicata N° 02. ....	41
<b>Figura 16.</b> Curva de análisis granulométrico por tamizado de la calicata 3. ....	42
<b>Figura 17.</b> Limite liquido de la calicata N° 01.....	43
<b>Figura 18.</b> Limite líquido de la calicata N° 02.....	44
<b>Figura 19.</b> Limite liquido de la calicata N°03.....	45
<b>Figura 20.</b> Clasificación de suelos según SUCS de la C-1, C-2 y C-3. ....	47

<b>Figura 21.</b> Curva de pérdida de masa – Análisis Termo gravimétrico de hojas de pino. .....	48
<b>Figura 22.</b> Curva calorimétrica ATD de la marucha. ....	49
<b>Figura 23.</b> Curva de pérdida de masa – Análisis Termo gravimétrico de marucha..	50
<b>Figura 24.</b> Curva calorimétrica ATD de la marucha. ....	50
<b>Figura 25.</b> Composición química de las cenizas de hojas de pino.....	51
<b>Figura 26.</b> Composición química de ceniza de marucha. ....	52
<b>Figura 27.</b> pH de las cenizas y la mezcla del suelo con las cenizas. ....	53
<b>Figura 28.</b> Curva del proctor modificado de la calicata N° 01. ....	54
<b>Figura 29.</b> Curva del proctor modificado patrón de la calicata N°02.....	55
<b>Figura 30.</b> Curva del proctor modificado patrón de la calicata N°3.....	56
<b>Figura 31.</b> Curva del proctor modificado experimental de la calicata N°01. ....	57
<b>Figura 32.</b> Curva del proctor modificado experimental de la calicata N°02. ....	58
<b>Figura 33.</b> Curva del proctor modificado experimental de la calicata N°03. ....	59
<b>Figura 34.</b> Curva del CBR 0.1'' vs densidad seca del patrón de la calicata N°01. ..	60
<b>Figura 35.</b> Curva del CBR 0.1'' vs densidad seca del patrón de la calicata N°02. ..	61
<b>Figura 36.</b> Curva del CBR 0.1'' vs densidad seca del patrón de la calicata N°03. ..	62
<b>Figura 37.</b> Curva del CBR 0.1'' vs densidad seca del experimental de la calicata N°01 .....	63
<b>Figura 38.</b> Curva del CBR 0.1'' vs densidad seca del experimental de la calicata N°02. .....	64
<b>Figura 39.</b> Curva del CBR 0.1'' vs densidad seca del experimental de la calicata N°03. .....	65
<b>Figura 40.</b> Porcentaje de la expansión de las muestras ensayadas respecto a la altura antes de la saturación. ....	66
<b>Figura 41.</b> Vista panorámica del tramo en estudio. ....	75
<b>Figura 42.</b> Ubicación de la calicata 01 en la progresiva 0+000 km.....	75
<b>Figura 43.</b> Visualización de las capas de la calicata 01. ....	75
<b>Figura 44.</b> Ubicación de la calicata 02 en la progresiva 1+000.....	75
<b>Figura 45.</b> Visualización de las capas de la calicata 02. ....	76
<b>Figura 46.</b> Ubicación de la calicata 03 en la progresiva 2+000.....	76

<b>Figura 47.</b> Visualización de las capas de la calicata 03.....	76
<b>Figura 48.</b> Secado de las muestras alteradas.....	76
<b>Figura 49.</b> Recolección de las hojas de pino.....	77
<b>Figura 50.</b> secado de las hojas de pino a temperatura del medio ambiente. ....	77
<b>Figura 51.</b> Pre-calcinación de las hojas de pino en la olla de barro.....	77
<b>Figura 52.</b> Calcinación de las hojas de pino precalcínadas en el horno a una temperatura de 410°C. ....	77
<b>Figura 53.</b> Recolección de las maruchas del puerto de Chimbote.....	78
<b>Figura 54.</b> Secado de las maruchas en la sombra. ....	78
<b>Figura 55.</b> Calcinación de las maruchas en el horno a una temperatura de 890°C. ..	78
<b>Figura 56.</b> Cuarteo de las muestras alteradas para el ensayo de granulometría y contenido de humedad. ....	78
<b>Figura 57.</b> Pesado de las muestras para el ensayo de granulometría. ....	79
<b>Figura 58.</b> lavado de la muestra por la malla #200 para el ensayo de granulometría. ....	79
<b>Figura 59.</b> Secado de la muestra lavada en el horno durante 24 horas.....	79
<b>Figura 60.</b> tamizado de la muestra en estado seco para el ensayo de granulometría.....	79
<b>Figura 61.</b> pesado de la muestra para el ensayo de contenido de humedad.....	80
<b>Figura 62.</b> Sacado de la muestra después de 24 horas de secado para luego ser pesado en estado seco. ....	80
<b>Figura 63.</b> tamizado de la muestra por la malla #4 para el ensayo de límites de atterberg. ....	80
<b>Figura 64.</b> mezclado de la muestra con agua para el ensayo de limite líquido y limite plástico.....	80
<b>Figura 65.</b> ensayo de limite liquido en la copa Casagrande.....	81
<b>Figura 66.</b> formación de la barrita para el ensayo limite plástico.....	81
<b>Figura 67.</b> pesado de las muestras del límite líquido y plástico, antes y después del secado en el horno.....	81
<b>Figura 68.</b> Trituración de los materiales para el ensayo del ATD. ....	81
<b>Figura 69.</b> tamizado del material triturado por la malla #200 para el ensayo de ATD. ....	82

<b>Figura 70.</b> Pesado del material tamizado para el ensayo del ATD.....	82
<b>Figura 71.</b> Tamizado de las cenizas por la malla #200 para el ensayo de Fluorescencia. .....	82
<b>Figura 72.</b> Pesado de la muestra total para el ensayo del proctor modificado y CBR. .....	82
<b>Figura 73.</b> tamizado del material por la malla #4 para el ensayo de proctor modificado y CBR. ....	83
<b>Figura 74.</b> Pesado de la muestra para el ensayo de proctor modificado.....	83
<b>Figura 75.</b> tamizado de la mezcla por la malla #4 para homogenizar el material. ...	83
<b>Figura 76.</b> separación de la mezcla en 5 partes iguales. ....	83
<b>Figura 77.</b> compactación del proctor modificado. ....	84
<b>Figura 78.</b> cuarteado de las muestras para los ensayos experimentales.....	84
<b>Figura 79.</b> mezclado del suelo con las cenizas en estado seco. ....	84
<b>Figura 80.</b> compactación del CBR.....	84
<b>Figura 81.</b> lectura de la altura de expansión. ....	85
<b>Figura 82.</b> escurrimiento de las probetas durante 15 min. antes del ensayo de penetración.....	85
<b>Figura 83.</b> ensayo de penetración. ....	85

# I. Introducción

## Antecedentes

**Cubas & Falen (2016).** Para su investigación “Evaluación de las cenizas de carbón para la estabilización de suelos mediante activación alcalina y aplicación en carreteras no pavimentadas”. En este proyecto de investigación se utilizó cenizas de carbón e hidróxido de sodio obtenidos de las industrias ladrilleras del departamento de Lambayeque. Las cuales fueron adicionados en dos tipos de suelo como la arena y la arcilla en porcentajes de 7%, 14% y 21%. Se llegó a una conclusión que la ceniza de carbón es un material cementante por lo que contiene óxido de silicio el cual es bueno para mejorar el suelo de la sub-rasante.

**Espinoza & Honores (2018).** En sus proyectos de investigación “Estabilización de suelos arcillosos con conchas de abanico y cenizas de carbón con fines de pavimentación”. El objetivo de esta investigación es estabilizar los suelos arcillosos del A.H. Nuevo Santa al adicionar concha de abanico y ceniza de carbón en los porcentajes de 20%, 25% y 30%. En la cual se llegó a concluir que al ser adicionado las cenizas aumento su capacidad portante, obteniendo un CBR de 14.50%, 19.80% y 15.60% respectivamente.

**Sánchez (2018).** En su estudio de investigación “resistencia de un concreto  $f'_c=210$  kg/cm<sup>2</sup> con sustitución de cemento en 4% y 7% por cenizas de hojas de pino “pinus”; donde su objetivo principal fue determinar la resistencia del concreto  $f'_c=210$ kg/cm<sup>2</sup>, pero uno de su objetivo específico fue determinar la composición química de cenizas de hojas de pino mediante el ensayo de rayos x, para lo cual el equipo que utilizaron fue el microscopio electrónico de barrido con sonda de espectroscopia de energía dispersiva (EDS) en el cual se obtuvo el siguiente resultado:

**Tabla 1.** *Composición química de ceniza de hojas de pino expresado en óxidos.*

CaO	K <sub>2</sub> O	MgO	Cl	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SiO <sub>2</sub>	SO <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	ZnO	MoN	CuO	BaO
35.44%	18.89%	16.68%	10.06%	5.78%	4.45%	4.35%	2.51%	1.58%	0.09%	0.08%	0.07%	0.02%

Fuente: Laboratorio Labicer de Labicer de la UNI. (Sánchez, 2018)

Donde se llegó una conclusión que la ceniza de hojas de pino incrementa a un 23% pero siempre en cuando el porcentaje de sustitución es menor a 7% porque al pasarse este porcentaje la resistencia empieza a disminuir.

## **Fundamentación científica**

### **Mecánica de suelos**

Como afirma Braja (2013) “La mecánica de suelos es la ciencia que evalúa sus propiedades físicas y comportamiento de los suelos sujetos a varios tipos de fuerzas”. (pág. 1)

La mecánica de suelos es la ciencia física que trata la acción de las fuerzas sobre los cuerpos. El Dr. Karl Terzaghi también ha definido como la aplicación de las leyes de mecánica e hidráulica a los problemas de ingeniería por sedimentación y/o acumulaciones de las partículas sólidas no consolidadas por la desintegración química y mecánica de las rocas. (Crespo, 2004, pág. 17)

### **Definición del suelo**

“Son los agregados naturales de partículas granulares y cohesivas que pueden ser separados por medios mecánicos de poca energía o por el movimiento del agua”. (RNE, 2017, pág. 113)

El suelo es una capa delgada de materiales sobre la corteza terrestre, la cual es producido por el desprendimiento de las rocas ya sea por alteración física y/o química y los residuos de las actividades ocasionados por los mismos seres vivos. (Crespo, 2004, pág. 18)

### **Tipos de suelos**

Los suelos más comunes que son utilizados por los ingenieros civiles para su identificación son los siguientes:

#### **➤ Grava**

Son acumulaciones de las partículas sueltas que tienen un diámetro mayor de dos milímetros y cuando son llevados por el agua sufren un desgaste en sus lados, por lo

tanto, son redondeadas. Las gravas se presentan en grandes masas, pero siempre están junto a mayor o menor proporción con los cantos rodados, arenas y arcillas; el tamaño de sus partículas varía desde 7.62 cm (3'') hasta 2.00 mm. (Crespo, 2004, pág. 21)

#### ➤ **Arena**

La arena es un material de partículas finas producidos por la desintegración de las rocas o trituración artificial, el tamaño de sus partículas varía entre 2 mm y 0.05 mm de diámetro.

La arena del río contiene bastante grava y arcilla por lo que genera que sus partículas se contraen entre sí, pero cuando están limpias ya no se contraen al secarse, no son plásticas, son menos comprensibles que las arcillas y si se aplica una carga en la parte superior se comprimen al instante. (Crespo, 2004, pág. 22)

#### ➤ **Limo**

Los limos son de partículas finas con poca o sin plasticidad, puede ser un limo inorgánico que está concentrado en las canteras y limos orgánicos que se encuentran en los ríos, donde este tiende a ser plástica. Los limos tienen partículas entre 0.05mm y 0.005mm; Su color varía desde gris claro a muy oscuro, también su permeabilidad es muy baja pero su compresibilidad es muy alta. (Crespo, 2004, pág. 22)

#### ➤ **Arcilla**

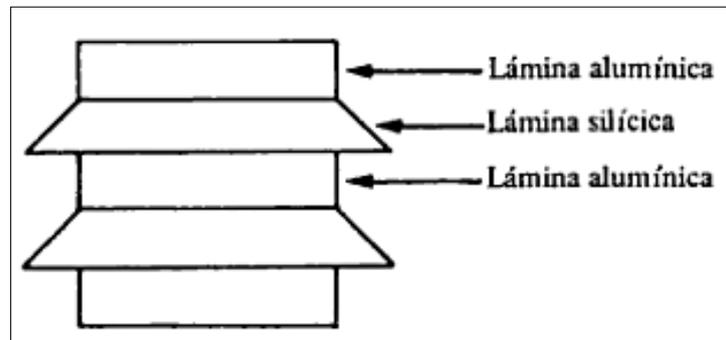
Son partículas que tienen el diámetro menor de 0.005 mm y también son muy propensas a volverse plástica al ser mezclado con el agua. Químicamente es un silicato de alúmina hidratado, aunque en pocas veces contiene silicatos de hierro o de magnesio hidratados, donde su estructura de estos minerales está habilitada para formar laminas.

Existen dos tipos de láminas.

- **Lamina del tipo silícico.** – Está conformado por un átomo de silicio y cuatro átomos de oxígeno en su alrededor donde este tiene la forma de un tetraedro.
- **Lamina del tipo aluminico.** – Está conformado por un átomo de aluminio rodeado de seis átomos de oxígeno, así llegando a formar un octaedro.

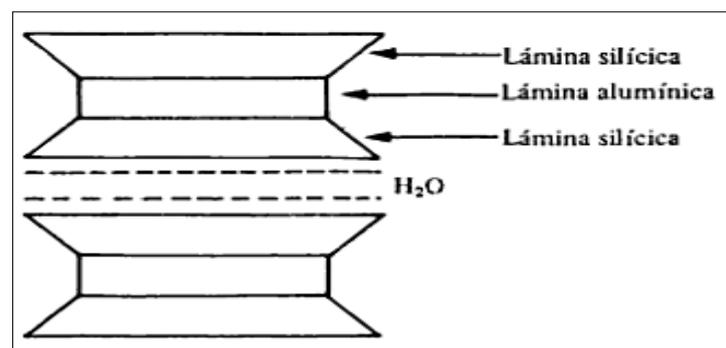
Tenemos tres tipos de arcillas:

- **La caolinita.** – Estas arcillas están formadas por dos laminas silícica y alumínico intercaladas de manera indefinida, llegando a tener una unión que no permite la introducción del agua y se produce una capa electrónicamente neutral. (Crespo, 2004, pág. 24)



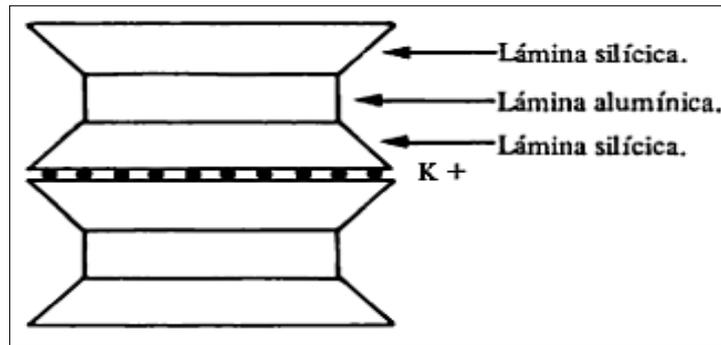
*Figura 1.* lamina de la arcilla caolinita. (Crespo, 2004)

- **La montmorilonita.** - se forman por la superposición indefinida de una lámina alumínico entre dos laminas silícicas, por lo que la unión de las láminas es muy débil esto hace que el agua se introduzca fácilmente a su estructura. Estas arcillas están expuestas a sufrir una fuerte expansión al juntarse con el agua, por lo que produce la inestabilidad en ellas. (Crespo, 2004, pág. 24)



*Figura 2.* Láminas de la arcilla montmorilonita. (Crespo, 2004)

- **La illita.** – es producido por la hidratación de las micas y su estructura es similar de la arcilla montmorilonita, pero esto se diferencia por lo que se forman grumos por la presencia de iones del potasio reduciendo el área que está expuesto al agua, por lo cual no son tan expansivos. (Crespo, 2004, pág. 25)



*Figura 3.* Lámina de la arcilla ilita. (Crespo, 2004)

En general las arcillas son plásticas, se contraen entre sí al secarse, presentan cohesión según su humedad, son compresibles y al aplicar la carga en su exterior se comprimen lentamente. (Crespo, 2004, pág. 25)

### **Obtención de las muestras del suelo**

Para determinar las propiedades del suelo se necesita llevar una muestra del suelo al laboratorio para lo cual existen dos tipos de muestras: alteradas o inalteradas.

- Las muestras alteradas son obtenidas por sondeo a cielo abierto (calicatas) con las medidas de 1.50m x 1.50m y una profundidad requerida, se recoge la muestra en una bolsa con su etiqueta de identificación y se envía al laboratorio.

**Tabla 2.** *Numero de calicatas para la exploración de suelos*

<b>Tipo de Carretera</b>	<b>Profundidad</b>	<b>Número mínimo de calicatas</b>	<b>Observaciones</b>
Autopista: Carreteras de IMDA mayor de 6000 veh/día, de calzadas separadas, cada una con dos o más carriles	1.50 m respecto al nivel de subrasante del proyecto	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Calzada 2 carriles por sentido: 4 calicatas x km x sentido.</li> <li>• Calzada 3 carriles por sentido: 4 calicatas x km x sentido.</li> <li>• Calzada 4 carriles por sentido: 6 calicatas x km x sentido.</li> </ul>	Las calicatas se ubicarán longitudinalmente y en forma alternada
Carreteras Duales o Multicarriles: Carreteras con IMDA entre 6000 y 4001 veh/día, de calzadas separadas, cada una con dos o más carriles	1.50 m respecto al nivel de subrasante del proyecto	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Calzada 2 carriles por sentido: 4 calicatas x km x sentido.</li> <li>• Calzada 3 carriles por sentido: 4 calicatas x km x sentido.</li> <li>• Calzada 4 carriles por sentido: 6 calicatas x km x sentido.</li> </ul>	
Carreteras de Primera Clase: Carreteras con IMDA entre 4000 y 2001 veh/día, de una calzada de dos carriles	1.50 m respecto al nivel de subrasante del proyecto	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 4 calicatas x km</li> </ul>	
Carreteras de Segunda Clase: Carreteras con IMDA entre 2000 y 401 veh/día, de una calzada de dos carriles	1.50 m respecto al nivel de subrasante del proyecto	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 3 calicatas x km</li> </ul>	Las calicatas se ubicarán longitudinalmente y en forma alternada
Carreteras de Tercera Clase: Carreteras con IMDA entre 401 y 201 veh/día, de una calzada de dos carriles	1.50 m respecto al nivel de subrasante del proyecto	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2 calicatas x km</li> </ul>	
Carreteras de Bajo Volumen de Transito: Carreteras con IMDA ≤ 200 veh/día, de una calzada.	1.50 m respecto al nivel de subrasante del proyecto	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1 calicatas x km</li> </ul>	

Fuente: Manual de carreteras. (MTC, 2013, pág. 31)

- Las muestras inalteradas esto se hace en los casos más simples, se trata de cortar un trozo de 0.30m x 0.30m x 0.30m, se cubre con la parafina para evitar la pérdida de humedad. (Crespo, 2004, pág. 32)

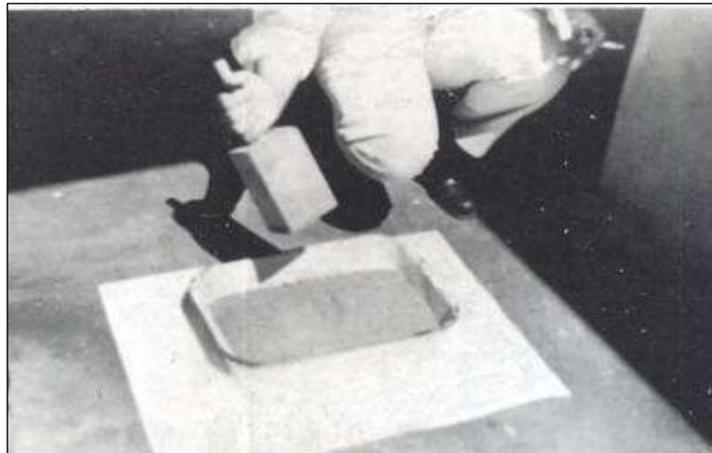
### **Secado de muestras alteradas**

Cuando la muestra llega al laboratorio con una humedad que permita su fácil descomposición ya no es necesario de secarlo, pero cuando la muestra esta húmeda se tiende a secar en el sol en un área limpia, también se puede hacer en un horno a 50°C o en una estufa de baja temperatura. (Crespo, 2004, pág. 37)

### **Descomposición de muestras alteradas**

El objetivo de la descomposición de las muestras alteradas obtener partículas semejantes que se va presentar en la obra durante el proceso constructivo. Para la descomposición de la muestra se utiliza un mazo de madera con aproximado de 1 Kg.

El proceso de composición es el siguiente: se pasa el material por el tamiz N°4 y el retenido se coloca en una bandeja luego se macea dejando caer de una altura aproximada de 20 cm. (Crespo, 2004, pág. 37)



*Figura 4.* Descomposición de la muestra alterada. (Crespo, 2004)

### **Proceso de cuarteo de muestras alteradas**

La muestra descompuesta como se indicó en la composición de muestras alteradas y homogenizada, se forma un cono de unos 15 cm de altura con una pala y luego se divide en 4 partes iguales utilizando una regla.

Se mezcla dos partes opuestos y se repite el mismo procedimiento hasta obtener una cantidad de muestra requerida para los ensayos. (Crespo, 2004, pág. 38)



*Figura 5.* Proceso de cuarteo de las muestras alteradas. (Crespo, 2004)

### **Clasificación de suelo**

Los suelos con propiedades semejantes se clasifican en grupos y subgrupos basados en su comportamiento. Los sistemas de clasificación proporcionan un lenguaje para expresar en forma breve las características generales de los suelos. En la actualidad existen dos sistemas de clasificación: el AASHTO clasifica por el tamaño de sus partículas Y SUCS por la plasticidad del suelo. (Braja, 2013, pág. 35)

#### **➤ Sistema de clasificación AASHTO**

El sistema AASHTO, organiza al suelo en siete grupos mayores: A-1 al A-7. Los suelos clasificados en los grupos A-1, A-2 y A-3 son materiales granulares, donde 35% o menos de las partículas pasan por la malla N° 200. Las partículas de los suelos que pasan mayor al 35% por la malla N°200 son clasificados como: A-4, A-5, A-6 y A-7. Donde la mayoría de estos suelos están formados por materiales tipo limo y arcilla. (Braja, 2001, pág. 35).

**Tabla 3.** Clasificación de suelos para la subrasante de carreteras según el Sistema AASHTO.

Clasificación General	Materiales granulares (35% o menos de la muestra que pasa la malla N° 200)							Materiales Limo-Arcilla (mas del 35% de la muestra que pasa la malla N° 200)				
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7	
Grupo	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5	A-7-6
<b>porcentaje que pasa las mallas</b>												
N° 10	50 máx.											
N° 40	30 máx.	50 máx.	51 máx.									
N° 200	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	36 mín.	36 mín.	36 mín.	36 mín.	36 mín.
<b>Características de la fracción que pasa la malla N° 40</b>												
Limite Liquido				40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	41 mín.
Índice de plasticidad			NP	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.	11 mín.
<b>Tipos Usuales de materiales componentes significativos</b>	Fragmentos de piedra grava y arena		Arena fina	Grava y arena limosa o arcillosa			Suelos limosos		Suelos arcillosos			
<b>Tasa general de las subrasantes</b>	De excelente a bueno							De mediano a pobre				
*Para A-7-5, PI < LL-30												
*Para A-7-6, PI > LL-31												

Fuente: Libro de Fundamentos de Ingeniería Geotécnica. (Braja, 2013, pág. 36)

### Sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS)

Este Sistema fue propuesto originalmente por A. Casagrande en 1942 para ser usado en la construcción de aeropuerto en la segunda guerra mundial, luego fue revisado en el año 1952 por la Oficina de Restauración de Estados Unidos. Actualmente este método es muy utilizado por los ingenieros, donde este sistema clasifica a los suelos en dos grandes categorías: suelos de granos gruesos y suelos grano finos. (Braja, 2001, pág. 39)

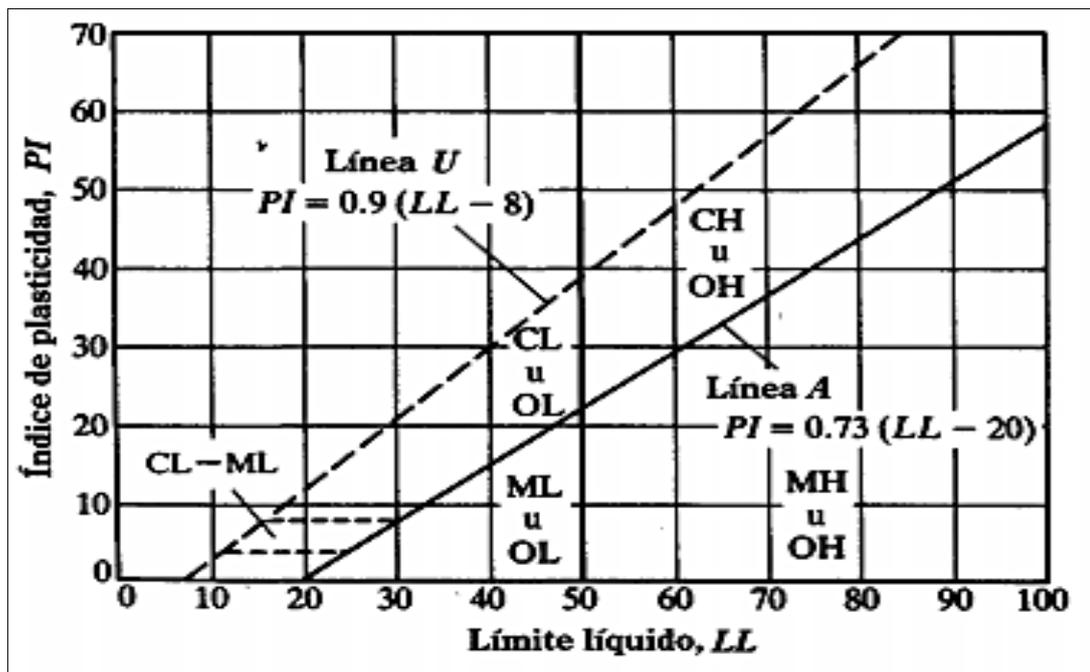


Figura 6. Carta de plasticidad. (Braja, 2013, pág. 41)

Tabla 4. Clasificación de suelos según el Sistema SUCS.

IDENTIFICACION EN EL CAMPO				SIMBOLO DEL GRUPO	NOMBRES TIPICOS	CRITERIOS DE CLASIFICACION EN EL LABORATORIO	
SUELOS DE GRANO GRUESO - MAS DE LA MITAD DEL MATERIAL ES RETENIDO POR EL TAMIZ # 200	GRAVAS - MAS DE LA MITAD DE LA FRACCION GRUESA ES RETENIDA POR EL TAMIZ # 4	GRAVAS LIMPIAS (CON POCOS FINOS O SIN ELLOS)	AMPLIA GAMA DE TAMAÑOS Y CANTIDADES APRECIABLES DE TODOS LOS TAMAÑOS INTERMEDIOS	<b>GW</b>	GRAVA BIEN GRADUADA, MEZCLA DE GRAVA Y ARENA CON POCOS FINOS O SIN ELLOS	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$ MAYOR DE 4 ; $C_r = \frac{(D_{60})^2}{D_{10} \times D_{20}}$ ENTRE 1 Y 3 NO SATISFACEN TODOS LOS REQUISITOS GRANULOMETRICOS DE LAS GW	
			PREDOMINIO DE UN TAMAÑO O UN TIPO DE TAMAÑO, CON AUSENCIA DE ALGUNOS TAMAÑOS INTERMEDIOS	<b>GP</b>	GRAVAS MAL GRADUADAS, MEZCLAS DE ARENA Y GRAVA CON POCOS FINOS O SIN ELLOS		
		GRAVAS CON FINOS (CANTIDAD APRECIABLE DE FINOS)	FRACCION FINA NO PLASTICA (PARA LA IDENTIFICACION VER EL GRUPO ML, MAS ABAJO)	<b>GM</b>	GRAVAS LIMOSAS, MEZCLAS MAL GRADUADAS DE GRAVA, ARENA Y LIMO		
			FINOS PLASTICOS (PARA IDENTIFICARLOS VER EL GRUPO CL MAS ABAJO)	<b>GC</b>	GRAVAS ARCILLOSAS, MEZCLAS MAL GRADUADAS DE GRAVA, ARENA Y ARCILLA		
	ARENAS - MAS DE LA MITAD DE LA FRACCION GRUESA PASA POR EL TAMIZ # 4	ARENAS LIMPIAS (CON POCOS FINOS O SIN ELLOS)	AMPLIA GAMA DE TAMAÑOS Y CANTIDADES APRECIABLES DE TODOS LOS TAMAÑOS INTERMEDIOS	<b>SW</b>	ARENAS BIEN GRADUADAS, ARENAS CON GRAVA, CON POCOS FINOS O SIN ELLOS	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$ MAYOR DE 6 ; $C_r = \frac{(D_{60})^2}{D_{10} \times D_{20}}$ ENTRE 1 Y 3 NO SATISFACEN TODOS LOS REQUISITOS GRANULOMETRICOS DE LAS SW	
			PREDOMINIO DE UN TAMAÑO O UN TIPO DE TAMAÑO, CON AUSENCIA DE ALGUNOS TAMAÑOS INTERMEDIOS	<b>SP</b>	ARENAS MAL GRADUADAS, ARENAS CON GRAVA, CON POCOS FINOS O SIN ELLOS		
		ARENAS CON FINO (CANTIDAD APRECIABLE DE FINOS)	FINOS NO PLASTICOS (PARA IDENTIFICACION VER EL GRUPO ML MAS ABAJO)	<b>SM</b>	ARENAS LIMOSAS, MEZCLAS DE ARENA Y LIMO MAL GRADUADAS		
			FINOS PLASTICOS (PARA IDENTIFICACION VER EL GRUPO CL MAS ABAJO)	<b>SC</b>	ARENAS ARCILLOSAS, MEZCLAS MAL GRADUADAS DE ARENAS O ARCILLAS		
MÉTODOS DE IDENTIFICACION PARA LA FRACCION QUE PASA POR EL TAMIZ # 40							
SUELOS DE GRANO FINO - MAS DE LA MITAD DEL MATERIAL PASA POR EL TAMIZ # 200	LIMOS Y ARCILLAS CON LIMITE LIQUIDO MENOR DE 50	RESISTENCIA EN ESTADO SECO (A LA DISGREGACION)	DILATANCIA (REACCION A LA AGITACION)	TENACIDAD (CONSISTENCIA CERCA DEL LIMITE PLASTICO)		DETERMINESE LOS PORCENTAJES DE GRAVA Y ARENA A PARTIR DE LA CURVA GRANULOMETRICA SEGUN EL PORCENTAJE DE FINOS (FRACCION QUE PASA POR EL TAMIZ # 200) LOS SUELOS GRUESOS SE CLASIFICAN COMO SIGUE:  MENOS DEL 5% MAS DEL 12% 5% AL 12%	
		NULA A LIGERA	RAPIDA A LENTA	NULA	<b>ML</b>		LIMOS INORGANICOS Y ARENAS MUY FINAS, POLVO DE ROCA, ARENAS FINAS LIMOSAS O ARCILLAS CON LIGERA PLASTICIDAD
		MEDIA A ALTA	NULA A MUY LENTA	MEDIA	<b>CL</b>		ARCILLAS INORGANICAS DE PLASTICIDAD BAJA A MEDIA, ARCILLAS CON GRAVA, ARCILLAS ARENOSAS, ARCILLAS LIMOSAS, ARCILLAS MAGRAS
	LIGERA A MEDIA	LENTA	LIGERA	<b>OL</b>	LIMOS ORGANICOS Y ARCILLAS LIMOSAS ORGANICAS DE BAJA PLASTICIDAD		
	LIMOS Y ARCILLAS CON LIMITE LIQUIDO MAYOR DE 50	LIGERA A MEDIA	LENTA A NULA	LIGERA A MEDIA	<b>MH</b>		LIMOS INORGANICOS, SUELOS LIMOSOS O ARENOSOS FINOS MICACEOS O CON DIATOMEAS, LIMOS ELASTICOS
		ALTA A MUY ALTA	NULA	ALTA	<b>CH</b>		ARCILLAS INORGANICAS DE PLASTICIDAD ELEVADA, ARCILLAS GRASAS
		MEDIA A ALTA	NULA A MUY LENTA	LIGERA A MEDIA	<b>OH</b>		ARCILLAS ORGANICAS DE PLASTICIDAD MEDIA A ALTA
<b>SUELOS ALTAMENTE ORGANICOS</b>	FACILMENTE IDENTIFICABLES POR SU COLOR, OLOR, SENSACION ESPONJOSA Y FRECUENTEMENTE POR SU TEXTURA FIBROSA			<b>Pt</b>	TURBA Y OTROS SUELOS ALTAMENTE ORGANICOS		

UTILICESE LA CURVA GRANULOMETRICA PARA IDENTIFICAR LAS FRACCIONES DE SUELO INDICADAS EN LA COLUMNA DE IDENTIFICACION EN EL CAMPO

CRITERIOS DE CLASIFICACION EN EL LABORATORIO

DETERMINESE LOS PORCENTAJES DE GRAVA Y ARENA A PARTIR DE LA CURVA GRANULOMETRICA SEGUN EL PORCENTAJE DE FINOS (FRACCION QUE PASA POR EL TAMIZ # 200) LOS SUELOS GRUESOS SE CLASIFICAN COMO SIGUE:

**LINEA A:  $I_p = 0.73(WL - 20)$**

COMPARANDO CON SUELOS CON EL MISMO LIMITE LIQUIDO

INDICE DE PLASTICIDAD

LIMITE LIQUIDO

GRAFICO DE PLASTICIDAD PARA LA CLASIFICACION EN LABORATORIO DE SUELOS DE GRANO FINO

Fuente: Mecanica de suelos y cimentaciones. (Crespo, 2004, pág. 89)

## Granulometría

El análisis granulométrico describe la determinación de la cantidad en porcentaje de diversos tamaños de las partículas que forman al suelo. Para separar por tamaños las partículas gruesas el procedimiento más práctico es el tamizado. (Crespo, 2004, pág. 46).

- **Muestra**

Según sean las características de los materiales finos de la muestra, el análisis se realiza con toda la muestra o con una parte de ella después de separar los finos por el lavado. Si el material necesita ser lavado, pero no se puede determinar a simple vista se seca una pequeña muestra en el horno y luego se rompe entre los dedos. Si el material se pulveriza con facilidad entonces se procede a tamizar sin necesidad de ser lavado. (MTC, 2016)

- **Tamiz**

es un recipiente que tiene características como: el material preferiblemente tiene que ser de aluminio, que pueda soportar altas temperaturas y ser resistente a la corrosión por el contacto con la humedad de las muestras. También tiene que tener su número o código de identificación. (Diaz, 2015)

**Tabla 5.** *Tamaño de la abertura de los tamices*

TAMICES	ABERTURA (mm)
3"	75,000
2"	50,800
1 1/2"	38,100
1"	25,400
3/4"	19,000
3/8"	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: Manual de Ensayo de Materiales. (MTC, 2016)

**Tabla 6.** Clasificación de suelos según el tamaño de partículas.

Tipo de material		Tamaño de las partículas
Grava		75 mm - 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	Limo	0.075 mm - 0.005 mm
	Arcilla	Menor a 0.005 mm

Fuente: Manual de Ensayo de Materiales. (MTC, 2013, pág. 36)

### Contenido de humedad

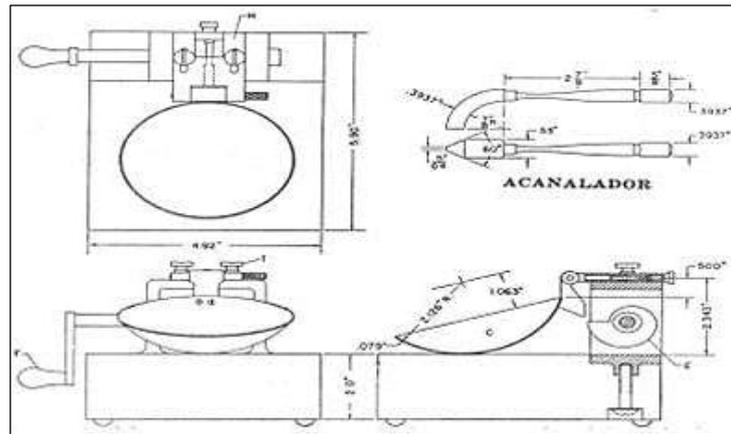
Es la correlación del peso de agua almacenado dentro de la muestra del suelo natural con el peso de la misma muestra después del secado en el horno a una temperatura de 105°C a 110°C.

Su comportamiento y resistencia del suelo depende mucho de la cantidad de agua almacenada en ella, porque el agua interviene directamente en el cambio de su volumen y su estabilidad mecánica. También se puede decir que el contenido de humedad se simboliza con el porcentaje de va desde 0% hasta 100%. (Tiviano, 2017, pág. 14)

### Límites de atterberg

- **Límite líquido.** – Es el contenido de humedad en porcentaje respecto a la muestra seca, por el cual el suelo cambia de estado del líquido a plástico. cuando el suelo se encuentra en el límite liquido es suelo tiene una resistencia mínima de 25g/cm<sup>2</sup> y su cohesión es nula.

Para realizar este ensayo se utilizó un recipiente de bronce que tiene una forma de capsula, un acanalador para hacer la ranura de la masa mezclada a una altura de 1 cm, luego se deja caer la capsula en diferentes números de golpes de acuerdo al manual de ensayo de materiales. (MTC, 2016)



**Figura 7.** Copa Casagrande para ensayo de limite líquido. (Falen & Cubas, 2016)

- **Limite plástico.** - Es el contenido de humedad en porcentaje respecto a la muestra seca, donde los suelos cohesivos pasan de su estado semisólido a plástico. también el material que se emplea para esta prueba es el sobrante del límite líquido.
- **Índice de plasticidad.** – Este índice de plasticidad es la diferencia del límite líquido con el límite plástico.

**Tabla 7.** Clasificación de suelos según su índice de plasticidad.

Índice de plasticidad	Plasticidad	Característica
IP > 20	Alta	Suelos muy arcillosos
IP < 20	Media	Suelos arcillosos
IP > 7	Baja	Suelos poco arcillosos plasticidad
IP < 7	No Plástico (NP)	Suelos exentos de arcilla

Fuente: Manual de Ensayo de Materiales. (MTC, 2016)

### El potencial de hidrogeno (pH)

El pH es una escala de medición simplificada, que indica el acides o alcalinidad de una solución.

La escala de medida del pH normalmente va desde 1 a 14, siendo un pH menor a 7 es acido y mayores de 7 son alcalino. Por tanto, el valor 7 del pH se considera un valor neutro.

El pH interviene en su propiedades físicas y químicas de la solución. Cuando el pH es neutro sus propiedades físicas son más estables. Cuando el pH es desamasado acido

sufre una alteración de sus minerales y su estructura es inestable, de igual manera cuando el pH es muy alcalino las arcillas se separan, destruyen su estructura y llegan a tener una mala condición en sus propiedades físicas. (Quiroga & Bono, 2012, pág. 19)

Matemática es:

$$pH = -\log[H^+] = \log \frac{1}{[H^+]}$$

$$[H^+] = 10^{-pH}$$

### **Proctor modificado**

Este ensayo consiste en determinar el grado de compactación del suelo para el cual se utiliza el contenido de agua y el peso seco de la muestra compactada en un molde de 4'' a 6'' de diámetro utilizando un piso de 10 libras que se deja caer de una altura de 18'', produciendo una energía de compactación de 2700 kN-m/m<sup>3</sup>.

El ensayo se realiza en los suelos que tienen 30% o menor de peso retenido en la malla # 3/4''.

Para este ensayo tenemos tres métodos alternativos:

#### **Método A**

Molde: de 4'' de diámetro

Material: muestra de suelo que pasa por la malla #4

Numero de capa: cinco (5)

Numero de golpes por cada capa: 25 golpes

Uso: si el material pasante por la malla #4 es 20% o menos.

#### **Método B**

Molde: 4'' de diámetro

Material: muestra de suelo que pasa por la malla #4

Numero de capa: cinco (5)

Numero de golpes por cada capa: 25 golpes

Uso: este método se aplica cuando el peso de la muestra retenida en la malla #4 es mayor de 20% y menor o igual a 20% el material retenido en la malla #3/8”.

### **Método C**

Molde: 4” de diámetro

Material: muestra de suelo que pasa por la malla #4

Numero de capa: cinco (5)

Numero de golpes por cada capa: 25 golpes

Uso: este método se aplica cuando el peso de la muestra retenida en la malla #3/8 es mayor de 20% y menor o igual a 30% el material retenido en la malla #3/4”.

Peso unitario seco:

$$\rho_m = 1000x \frac{(M_t - M_{md})}{V}$$

Donde:

$\rho_m$ = Densidad húmeda de la muestra compactado (kg/m3)

$M_t$ = Peso de la muestra húmeda más el molde (kg)

$M_{md}$ = Peso del molde de compactación (kg)

$V$ = Volumen del molde de compactación (m3)

$$\rho_d = \frac{P_m}{1 + \frac{W}{100}}$$

Donde:

$\rho_d$ = Densidad seca de la muestra compactado (kg/m3).

$w$ = Peso del agua (%).

Nota: Este ensayo se realiza según la norma del MTC E115.

### **California Bearing Ratio (CBR)**

Según la norma técnica peruana (MTC E 132), describe como un ensayo para la determinación de la resistencia del suelo y es muy conocido como el CBR (California Bearing Ratio).

El ensayo en su mayoría se realiza en el laboratorio con las muestras preparadas conociendo su contenido de humedad y su densidad; también se puede realizar con las muestras inalteradas traídos directamente del terreno.

### **Equipos**

Los equipos que se utilizan para este ensayo es un molde metálico de forma cilíndrica de  $6\pm 0.026''$  de diámetro interior con una altura de  $7\pm 0.018''$ , un collar provisto de un collar de  $2''$  de altura y una placa perforada para la base de  $3/8''$  de espesor. La base debe ajustar a cualquier lado del molde.

El disco espaciador es de metal de forma circular, tiene  $5''$  de diámetro exterior y de  $2.416''$  de espesor, este disco sirve para poner como falso fondo en molde donde se va compactar.

Se utilizará el mismo pisón del proctor modificado para la compactación.

Las pesas que se van utilizar será una pesa anular de 4.54 kg y otra pesa saturada de 2.27 kg. También se utilizará dos balanzas que tenga una capacidad de 20 kg y otra de 1000 g con una sensibilidad de 1 y 0.1 respectivamente.

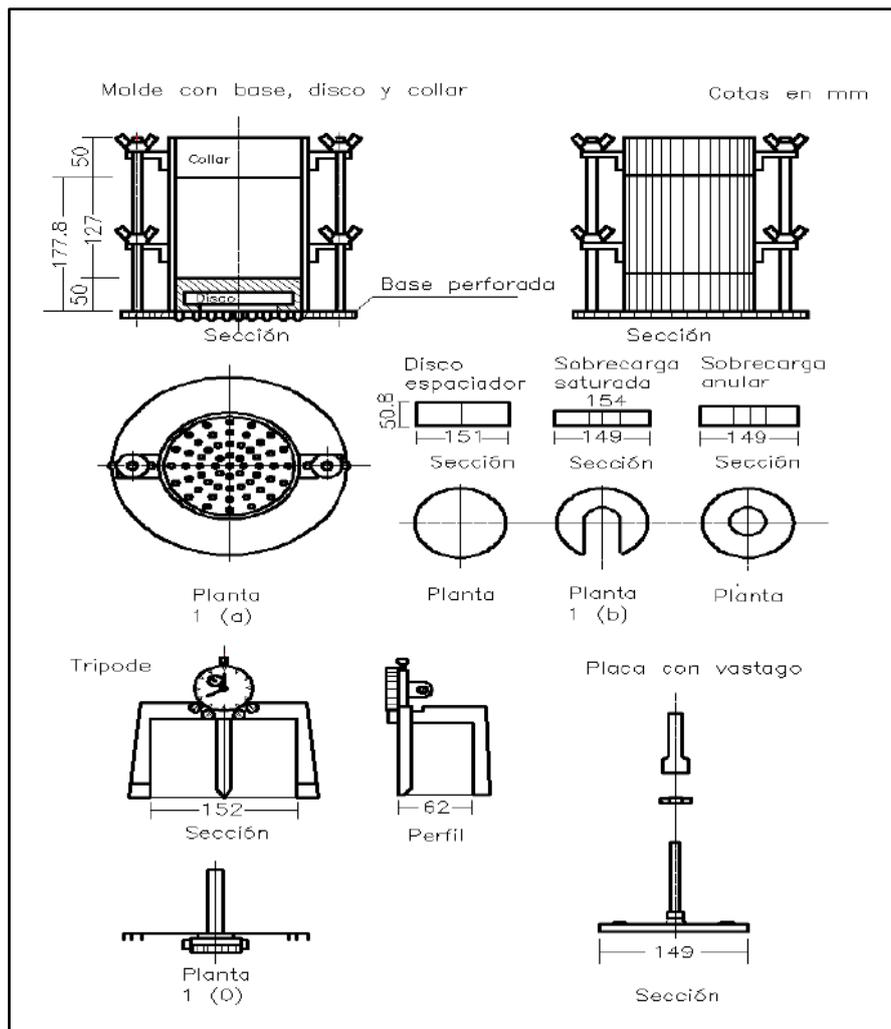


Figura 8. Esquema de los equipos del CBR. (MTC, 2016, pág. 249)

### Sub-rasante

Es la capa que pueda soportar la estructura del pavimento, esto puede ser de terreno natural que está dispuesto para la explanación de una carretera, por lo tanto, debe estar apto para soportar las cargas producidas por tránsito, y esto influye mucho para el diseño del espesor de la estructura del pavimento. La sub-rasante debe tener resistencia para soportar cargas vehiculares, compactación de la estructura del pavimento y soportar las cargas durante su vida útil. (Tiviano, 2017, pág. 10)

### Característica de la sub-rasante

La capa de la sub-rasante mínimo debe ser de 30 cm. Su grado de compactación al 95% debe tener mínimo 15% de valor relativo y una expansión máxima de 5%, la capa

de la sub-rasante por lo menos debe cumplir estas condiciones para luego proceder la compactación de la sub-base. (Tiviano, 2017, pág. 10)

### **Clasificación de la Sub-rasante según el CBR**

Cuando el cbr del suelo este definido se clasifica por categorías:

**Tabla 8.** *Categorías de Sub-rasante.*

<b>Categorías de Sub rasante</b>	<b>CBR</b>
<b>S0:</b> Sub rasante inadecuado	CBR < 3%
<b>S1:</b> Sub rasante pobre	De CBR >3% A CBR < 6%
<b>S2:</b> Sub rasante regular	De CBR >6% A CBR < 10%
<b>S3:</b> Sub rasante buena	De CBR >10% A CBR < 20%
<b>S4:</b> Sub rasante muy Buena	De CBR >20% A CBR < 30%
<b>S5:</b> Sub rasante Excelente	CBR > 30%

Fuente: Manual de Carreteras “suelos, geología, geotecnia y pavimentos”. (MTC, 2013, pág. 247)

### **Estabilización de suelos**

Es el mejoramiento de las propiedades físicas de un suelo a través de procedimientos mecánicos e incorporación de productos químicos, naturales o sintéticos. La estabilización mayormente se hace en los suelos que tienen la subrasante inadecuada o pobre, las estabilizaciones más comunes son: estabilización con cemento, cal, asfalto y otros productos. (MTC, 2013, pág. 113)

Tenemos tres tipos de estabilización de suelos:

#### **Estabilización mecánica**

La estabilización mecánica del suelo tiene como objetivo mejorar la resistencia del suelo sin cambiar su estructura y composición, para lo cual se realiza una compactación para reducir el volumen de los vacíos que se encuentran en el interior del suelo. (MTC, 2013, pág. 113)

#### **Estabilización física**

La estabilización física presenta como método de tratamiento a la mezcla de suelos logrando un mejoramiento y produciendo cambios físicos en el mismo, este

tratamiento es muy factible, pero a pesar de obtener una mezcla diferente este debe ser compactado para obtener una masa duradera, en suelos granulares se debe mezclar con suelos de diferentes características como por ejemplo sus partículas deben ser más finas para aumentar su cohesión y que sus partículas no se muevan libremente, en cambio en suelos arcillosos se debería adicionar suelos friccionantes y así poder aprovechar la fricción interna de un suelo y la cohesión de las arcillas. (Tiviano, 2017, pág. 12)

### **Estabilización química**

Defiere al empleo de sustancias químicas ya estudiadas con el fin de producir una reacción con minerales propios de los suelos a combinarse. Existen diferentes minerales y sustancias que se puede utilizar entre las más comunes tenemos:

El uso de cal disminuye la plasticidad de los suelos arcillosos con un índice de plasticidad igual o mayor a 10. Las estabilizaciones con cal son recomendables para cualquier tipo de estructuras viales, aeropuertos, ferrocarriles y edificaciones, su ventaja es optimizar el tiempo de ejecución y su bajo costo.

El uso de Cemento Portland ayuda a aumentar la resistencia de los suelos y se utiliza como recomendación para mezclarlos con suelos arenosos o gravas finas.

Para materiales triturados que se requieran ser utilizados en el pavimento es aconsejable combinarlos con productos asfálticos. El cloruro de sodio y el cloruro de calcio brindan una impermeabilización y disminuye los polvos de los suelos, recomendables para suelos arcillosos y limosos.

Para carpetas asfálticas los materiales a utilizar son las escorias de fundición, polímeros y hule de neumáticos éstos han logrado aumentar su resistencia significativamente, impermeabilizar su estructura y prolongar su vida útil. (Tiviano, 2017, pág. 13).

## **Pino radiata**

Nombre común: Pino radiata

Nombre científico: Pinus radiata

Familia: pináceas

Tamaño: 15 a 50 metros de altura

Diámetro: 300 a 1700 m.s.n.m.

Temperatura del cultivo: 0 a 30 °C.

Las plantaciones de pino y eucalipto se comenzaron en el año 2008 en el centro poblado de Chinchobamba del Distrito de San Juan – Sihuas -Ancash que está ubicado en la coordenada E:0216724 y N:9040053 con una capacidad total de 600,000 plantaciones/año. (SERFOR, 2016)

Según Ramírez (2003) nos afirma que “el clima considerado para el crecimiento de esta planta es donde haya bajas precipitaciones, sin nevadas ni heladas y una temperatura entre 0° a 30°C, el mejor suelo para su desarrollo son los suelos limosos y arenosos”.

## **Composición química de hojas de pino**

La composición química de las hojas depende mucho de diferentes factores como: la especie, la época del año, las condiciones de crecimiento, el clima, el tipo de suelo, los tratamientos silviculturales y el lugar, también las horas del día la cual está relacionado con la actividad fotosintética, máxima en momento de mayor iluminación y respiración. (Cordero & Orea, 2004)

### **Marucha (Donax Obesulus)**

Nombre común: Marucha (Donax obesulus).

Nombre científico: Donax SP

Familia: Moluscos

Tamaño: 6 a 34 mm

Profundidad: 0-12 m.

Temperatura del cultivo: 15-20 °C

El mar peruano es uno de los más productivos del mundo, tiene una gran biodiversidad y biomasa de recursos marinos que es utilizada con fines industriales y de consumo humano.

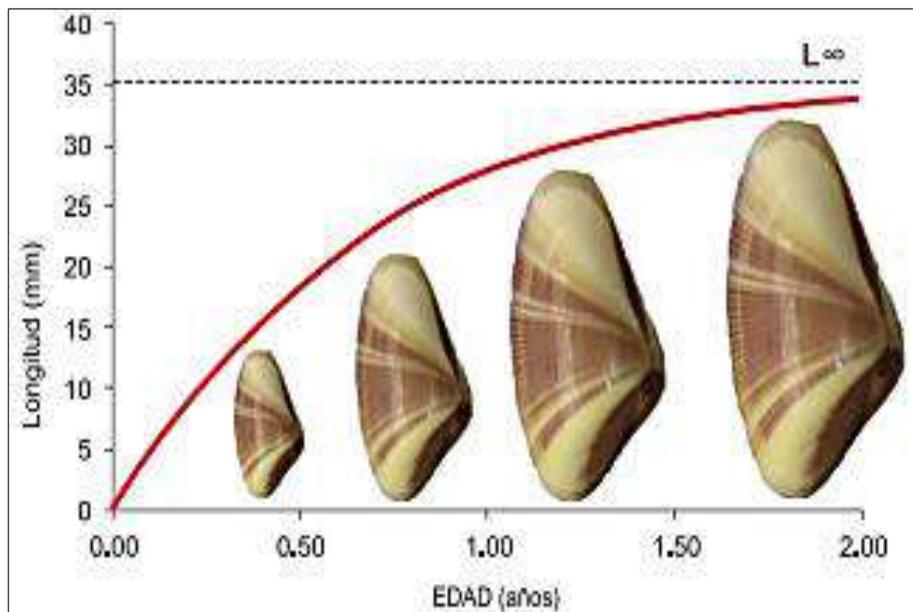
La marucha es un bivalvo que se saca mayormente en las playas arenosas de Vesique, Atahualpa y Anoncillo en la Bahía de Samanco.

En IMARPE-Chimbote, se hacen monitoreos biológicos desde octubre del 2002, lo que permite identificar picos reproductivos en las estaciones de primavera y verano.

Esta especie debido a su abundancia genera oportunidades de trabajo para la extracción y por otro lado la alimentación de la población por su bajo precio en el mercado.

### **Estructuras por tallas en prospecciones y evaluaciones poblaciones**

El rango de la talla de los muestreos realizados durante la exploración (2001-2003) y evaluaciones poblaciones (2006-2008) estuvo comprendido de 2 a 34 mm. (Berrú & Uribe, 2014)



**Figura 9.** Relación talla-edad de las maruchas de la bahía de Sanmanco. (Berrú & Uribe, 2014)

### **Descripción y estrategias de la pesquería**

La extracción de las maruchas realiza un grupo de pescadores llamadas marucheros, donde este grupo de 20 personas han formado una asociación llamado “Astramar”.

La herramienta utilizada para la extracción es conocida como marucheros que consiste en una rastra de acero inoxidable que varía de 37 a 40 cm de ancho por 20 cm de altura y una base de platina con dientes de acero inoxidable de 12 cm.

### **Justificación de la investigación**

Esta investigación se realiza con la finalidad de evaluar la capacidad de soporte del suelo de la carretera del Centro Poblado de Chinchobamba con la adición de 5% de ceniza de hojas de pino y 10% de ceniza de marucha (*donax obesulus*).

La localidad de Chinchobamba carece de canteras para poder adquirir materiales adecuados para la mejora de la subrasante de las carreteras, debido a esta necesidad se busca algunas alternativas para mejorar la capacidad de soporte (CBR) de la subrasante que se utiliza como la capa de rodadura.

Según las investigaciones que ya fueron desarrollados sobre la estabilización de un

suelo arcilloso con las cenizas volantes han dado buenos resultados en diferentes países como en Estado Unidos, Europa y Brasil. Por tanto, con esta investigación se quiere poner en práctica con la finalidad de mejorar las propiedades del suelo arcilloso ya que la ceniza de hoja de pino posee componentes químicos como oxido de calcio y oxido de silicio, por otro lado, la ceniza de marucha contiene oxido de calcio, la cual al ser mezclado con el agua son capaces de formar una masa sedimentaria, de tal manera que mejora la resistencia al corte de la subrasante.

Al utilizar la ceniza de hoja de pino y ceniza de marucha para mejorar la capacidad de soporte de la carretera del Centro Poblado de Chinchobamba los productores de la zona podrán sacar sus productos con facilidad y además la población podrá acceder con mayor rapidez a servicios de salud y educación.

Por la presencia de la carretera mejorada disminuirán los costos de transporte de carga y pasajeros. También se podrá ahorrar tiempo en el desplazamiento entre localidades aledañas.

## **Problema**

El Instituto Nacional de Defensa Civil (Indeci), a través del Centro de Operaciones de Emergencia Nacional (COEN) presentó un balance preliminar de los daños producidos por los huaicos, a causa de las lluvias intensas a nivel nacional. En Ancash el Niño costero dejó un saldo de 1782 kilómetros de carretera entre destruida y afectada, así como 1546 kilómetros de caminos rurales entre afectados y destruidos. (INDECI, 2017).

La localidad de Chinchobamba presenta problemas en sus carreteras y no existen referencias de haber utilizado cenizas para mejorar la capacidad de soporte del suelo; también se sabe que no existen canteras cercanas para que puedan adquirir materiales granulares y si llevan de las canteras lejanas esto genera mucha inversión, por ello la trocha carrozable presenta baches ocasionando desgastes en los vehículos que transitan por el tramo.

Los pueblos aledaños tienen gran dificultad de movilizarse debido al mal estado de la carretera, la cual dificulta los productos de la zona para ser llevados a los mercados

locales encareciendo y dificultado a la población a poder adquirirlo.

Al investigar la problemática de las carreteras que existen en la localidad y en busca de las soluciones más factible se logró investigar que las cenizas de hojas de pino tienen propiedades similares del cemento, de la misma manera la ceniza de marucha contiene bastante calcio la cual es muy importante para la mejorar la resistencia del suelo arcilloso, en la actualidad tanto como las hojas de pinos y conchas de maruchas están desperdiciando sus propiedades al desconocer los múltiples usos que se puede rescatar, los cuales nos llevaron analizar una considerable cantidad de alternativa en posibles soluciones sobre cómo aprovechar las materias primas.

Por lo cual formulamos la siguiente pregunta:

**¿En qué medida mejorará la capacidad de soporte del suelo de la carretera del Centro Poblado de Chinchobamba-Sihuas al adicionar 5% de ceniza de hojas de pino y 10% de ceniza de marucha?**

## **Conceptuación y operacionalización de las variables**

**Variable dependiente:** Capacidad de soporte

### **Definición conceptual**

La capacidad de soporte es la resistencia que tiene ante las deformaciones cuando se aplican las cargas del tráfico. La capacidad de soporte del suelo depende de su densidad alcanzada y humedad; cuando el suelo está en estado seco tiene mayor resistencia comparando con el suelo saturado, esto debido a la relación que a mayor humedad menor capacidad de soporte del suelo. (Tiviano, 2017, pág. 32)

### **Definición operacional**

Se elaboran probetas sin la adición de las materias primas, de igual manera con la adición de 5% de ceniza de hojas de pino y 10% de ceniza de marucha para que sean sometidos al ensayo de CBR los cuales nos proporcionaran la resistencia al corte de suelo para generar valores cuantitativos y los resultados nos pueden dar un valor promedio.

La expresión que define al CBR, es el siguiente:

$$\text{CBR} = (\text{carga unitaria del ensayo} / \text{carga unitaria patrón}) * 100 (\%)$$

#### **Indicadores:**

- Capacidad de soporte (%)
- Densidad Máxima Seca (g/cm<sup>3</sup>)
- Límites de Atterberg (%)
- Contenido de humedad (%)

**Variable independiente:** % de ceniza de hojas de pino y ceniza de marucha

#### **Definición conceptual**

La técnica consiste en adicionar los porcentajes de la ceniza de hojas de pino y ceniza de marucha a un suelo natural con el objetivo de lograr una sola capa homogénea (mezcla de suelo).

#### **Definición operacional**

Adición de los porcentajes de 5% de ceniza de hoja de pino y 10% de ceniza de marucha respecto al peso de la muestra (suelo).

#### **Indicadores:**

- Porcentajes de adición (gr)

#### **Hipótesis**

El suelo de la carretera del Centro Poblado de Chinchobamba – Sihuas, aumentara su capacidad de soporte al adicionar el 5% de ceniza de hoja de pino y 10% de ceniza de maruchas (*donax obesulus*).

#### **Objetivos**

##### **Objetivo general**

Determinar la capacidad de soporte del suelo de la carretera del Centro Poblado de Chinchobamba-Sihuas con la adición de 5% de ceniza de hojas de pino y 10% de ceniza de marucha (*donax obesulus*).

### **Objetivos específicos**

- a. Determinar el tipo de suelo del Centro Poblado de Chinchobamba-Sihuas mediante el ensayo de granulometría y límites de atterberg.
- b. Determinar el grado de la temperatura de calcinación de las hojas de pino y marucha mediante el ensayo de análisis térmico diferencial (ATD).
- c. Determinar la composición química de la ceniza de hojas de pino y ceniza de marucha mediante el ensayo de Fluorescencia (Rayos X).
- d. Determinar el grado de alcalinidad (pH) de la ceniza de hoja de pino, ceniza de marucha y la mezcla del suelo con las cenizas.
- e. Determinar el grado de compactación del suelo patrón y experimental mediante el ensayo del proctor modificado.
- f. Determinar la capacidad de soporte del suelo patrón, experimental y comparar resultados mediante los gráficos estadísticos.

## II. Metodología

### Tipo y diseño de investigación

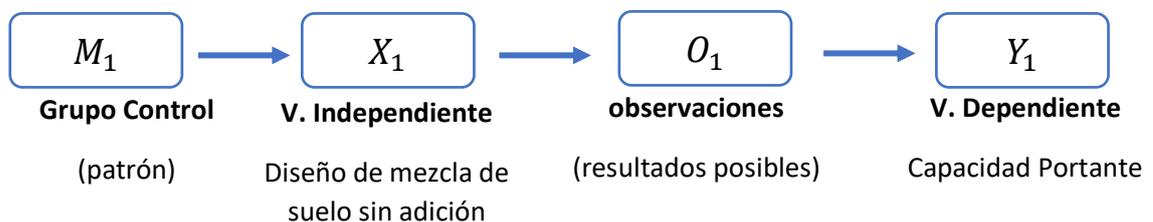
#### Tipo de investigación

El tipo de investigación propuesta fue aplicada, cuantitativa y de nivel explicativo porque se analizó el comportamiento de la capacidad de soporte del suelo a consecuencia de la adición de 5% de ceniza de hoja de pino y 10% de ceniza de marucha (*donax obesulus*).

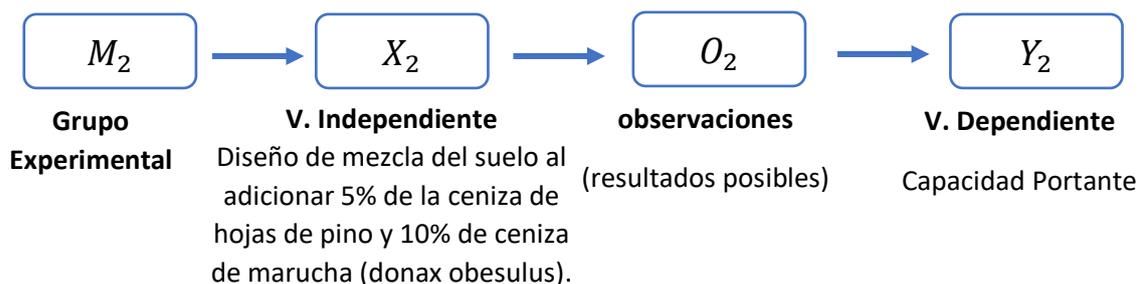
#### Diseño de investigación

El diseño de esta investigación fue experimental de nivel **Cuasi-Experimental**, porque se evaluaron las dos muestras mediante ensayos, donde se obtuvo los resultados de los dos grupos de estudio denominados: **Grupo Control** el cual fue realizado con muestras del suelo natural y el **Grupo Experimental** el cual se realizó con la manipulación de la variable independiente, adicionando el 5% de la ceniza de hojas de pino y 10% de ceniza de marucha (*donax obesulus*).

El estudio en su mayor parte se concentró en el laboratorio de Suelos de la Universidad San Pedro, donde como investigadora estuve en contacto con cada uno de los ensayos realizados, donde obtuve resultados de acuerdo al descrito en los objetivos.



*Figura 10.* esquema de diseño de investigación (patrón).



*Figura 11.* esquema de diseño de investigación (experimental).

Donde:

**M1:** Grupo Control (muestra de diseño de mezcla del suelo natural).

**M2:** Grupo Experimental (muestra de diseño de mezcla del suelo modificado al agregar el 5% de la ceniza de hojas de pino y 10% de ceniza de marucha).

**X1:** variable independiente (diseño de mezcla de suelo natural).

**X2:** Variable independiente (diseño de mezcla del suelo modificado al agregar 5% de la ceniza de hojas de pino y 10% de ceniza de marucha).

**Y1:** variable dependiente (capacidad portante (CBR) en diseño de mezcla de suelo natural).

**Y2:** Variable dependiente (capacidad portante (CBR) en diseño de mezcla del suelo modificado al agregar el 5% de la ceniza de hojas de pino y 10% de ceniza de marucha).

**O1:** Observaciones (resultados posibles) en el grupo control.

**O2:** Observaciones (resultados posibles) en el grupo experimental.

## **Población y muestra**

### **Población**

La población es el área del suelo de la carretera comprendido entre la localidad de Chullin y Chinchobamba.

### **Muestra**

La muestra es el suelo extraído de las 3 calicatas según la RD 037-2008-MTC/14 y el Manual de Ensayo de Materiales.

### **Unidades muestrales**

La muestra fue constituida por 18 probetas de suelo (CBR); 9 probetas convencionales y 9 probetas con la adición de 5% de ceniza de hoja de pino y 10% de ceniza de marucha.

La longitud de la carretera para la investigación fue de dos kilómetros (2 KM), donde se extrajeron las muestras de la C1, C2 y C3 en las progresivas 0+000 km, 1+000 km

y 2+000 km respectivamente, de los cuales se extrajeron 02 muestras por cada calicata para los ensayos respectivos (granulometría, contenido de humedad, límite de atterberg, proctor modificado (5 capas de 25 golpes) y CBR de 12,25 y 56 golpes).

## Técnicas e instrumentos

**Tabla 9.** *Técnicas e instrumentos.*

TECNICA	INSTRUMENTO
Observación Científica	- Guía de observación resumen. - Fichas técnicas de laboratorio

Fuente: elaboración propia.

Para esta investigación se utilizó como instrumento: Una guía de observación que nos permitió elaborar sistemas de organización y clasificación de la información de los diversos ensayos y las fichas técnicas de laboratorio donde se plasmó los resultados de los ensayos realizaos.

## Procesamiento y análisis de información

Una vez obtenida la información necesaria que nos permitió para la ejecución operativa de nuestro proceso de investigación, se organizó y se clasificó sistemáticamente, para lo cual se recurrió a la aplicación de los métodos estadísticos descriptivos.

### Métodos Descriptivos:

Dentro de los métodos descriptivos para clasificar sistemáticamente la información tenemos las tablas de distribución y asimismo para visualizar mejor el comportamiento de las variables de estudio se construirán gráficos como: Gráfico de barras, Gráfico de Sectores Circulares y Gráfico de dispersión.

## Procedimientos

- **Procedimiento de extracción de suelo**

### Ubicación

Para esta investigación se tomó dos kilómetros (2Km) de longitud de la carretera Chullin - Centro Poblado de Chinchobamba del Distrito de San Juan – Sihuas – Ancash.

Teniendo las siguientes coordenadas:

Coordenada del punto de inicio: E: 216832.96 m y N: 9040782.39 m

Coordenada del punto de fin: E: 216569.56 m y N: 9040229.63 m.



*Figura 12.* Ubicación del tramo de la carretera en investigación.

### Calicatas

Se realizó tres (03) calicatas a una profundidad de 1.50 m de las cuales se extrajo la muestra de suelo un aproximado de 100 kg / calicata.

#### Calicata N° 01

Está ubicada en la progresiva 0 + 000 y coordenadas: E: 216832.96 m y N: 9040782.39 m. Se limpió la superficie del terreno, con las dimensiones de 1.00m x 1.00m. se procedió a excavar hasta llegar a una profundidad de 1.50 m, en el cual se observa que el suelo tiene dos capas: la primera capa tiene 80 cm de color amarillo húmedo y la segunda capa tiene 70cm de color marrón oscuro. Ver anexo (figura 47 y 48)

### **Calicata N° 02**

Está ubicada en la progresiva 1 + 000 y coordenadas: E: 216628.61 m y N: 9040618.76 m. se limpió la superficie del terreno, con las dimensiones de 1.00m x 1.00m. Se procedió a excavar hasta llegar a una profundidad de 1.50 m, en la cual se observa que el suelo tiene tres capas: la primera capa tiene 0.6 m es de color marrón oscuro, la segunda capa 0.5m es de color amarillo naranjado y la tercera capa es de 0.4m es de color amarillo. Ver anexo (figura 49 y 50)

### **Calicata N° 03**

Está ubicada en la progresiva 2 + 000 y coordenadas: E: 216569.56 m y N: 9040229.63 m. Se limpió la superficie del terreno, con las dimensiones de 1.00 m x 1.00 m Se procedió a excavar hasta llegar a una profundidad de 1.50 m, en la cual se observa que el suelo tiene tres capas: la primera capa tiene 0.40 m es de color marrón oscuro, la segunda capa 0.50 m es de color amarillo claro y 0.60 cm de color amarillo con rayas azules. Ver anexo (figura 51 y 52)

### **Secado de la muestra**

La muestra se dejó secar al sol por tres días. Ver anexo (figura 53)

- **Procedimiento de recolección, pre-calcinación y calcinación de hojas de pino.**

### **Procedimiento de recolección hojas de pino**

#### **Ubicación**

La ubicación de las plantaciones de pino radiata de donde se sacaron las hojas para la investigación está ubicada en el caserío de cilindre del Distrito San Juan - Provincia de Sihuas – Departamento de Ancash.

Coordenada de las plantaciones de pino: 0212243 E y 9039970 N.

El lugar de las plantaciones se encuentra a 1 hora del Centro Poblado de Chinchobamba.



*Figura 13.* Ubicación de las plantaciones de donde se extrajo las hojas de pino.

### **Recolección de las hojas**

Se recolectó las hojas de pino por tres días obteniendo 6 sacos por día, después de recolectar fueron llevadas al Centro Poblado de Chinchobamba para su respectivo secado, dejándola secar por 3 días a la temperatura del ambiente (al sol) por lo que las hojas se recolectaron en la época de invierno. Luego de que las hojas estaban en estado seco se volvió a colocar en los respectivos sacos. Ver anexo (figura 54 y 55)

### **Procedimiento de pre-calcinación**

- ✓ La pre-calcinación de las hojas de pino se desarrolló en el Centro Poblado de Chinchobamba, en la cual se utilizó una olla grande de barro y papel periódico para el encendido.
- ✓ Primero se encendió una hoja del papel periódico, luego se pasó el fuego al otro papel periódico con la cual se encendió directamente las hojas que están ubicados dentro de la olla.
- ✓ Cuando las hojas ya estaban prendidas de fuego se aumentó de poco a poco sin dejar que el fuego se apague.

para ello es muy importante saber en qué lado se debe colocar la olla para que el viento nos pueda ayudar con la pre-calcinación y no dejar que el humo se quede atrapado en la ceniza.

- ✓ Una vez precalcinadas la muestra de un aproximado de 2kg de hojas de pino se dejó enfriar por 24 horas aproximadas.

- ✓ Cuando la ceniza de la pre-calcinación ya estaba fría, se recogió la muestra en una bolsa hecha de papel de azúcar.

El procedimiento de pre-calcinación ver anexo (figura 56)

### **Procedimiento de la calcinación**

- ✓ Cuando la muestra ya estaba precalcinada se llevó a la mufla de la universidad San Pedro para su respectiva calcinación de acuerdo a la temperatura del ATD (410 °C) y un tiempo aproximado una hora y media según los antecedentes. Ver anexo (figura 57)

- **Procedimiento de recolección y calcinación de maruchas.**

La marucha (*donax obesulus*) para esta investigación se obtuvo directamente del muelle de la ciudad de Chimbote que está ubicado en el Distrito de Chimbote – Santa – Ancash.

Las coordenadas de ubicación de la extracción de maruchas: E: 763700.47 m y N: 8995848.26 m.

- ✓ Las maruchas obtenidas del muelle se llevaron al domicilio para su respectivo proceso de limpieza.
- ✓ Primero se procedió a sacar la valva dejando libre las conchas.
- ✓ Una vez que las maruchas estaban libres de valvas se procedió a lavar con bastante agua fría y se dejó remojado por tres días (cambiando el agua a diario) para eliminar el olor que tienen los moluscos.
- ✓ Cumplido los tres días se sacó del agua para secarlo en la sombra.
- ✓ Cuando estas conchas estaban secas se llevó a la mufla de la Universidad San Pedro para su respectiva calcinación a una temperatura de 800°C por 2 horas.

Para observar el procedimiento, ver anexo (figura 58, 59 y 60)

- **Procedimiento del ensayo de granulometría por tamizado.**

- ✓ Se llevo 3 kg de la muestra de cada una de las calicatas al laboratorio de Mecánica de Suelos.
- ✓ Se procedió a cuartear cada muestra de las 3 calicatas por separado y se obtuvo una cantidad aproximada para el ensayo de granulometría.
- ✓ La muestra fue pesada en una balanza analítica con calibración de 0.1g.

- ✓ luego se procedió al lavado con el tamiz N°200 hasta que el agua este transparente.
- ✓ Una vez que la muestra ya está bien lavada, se colocó en el horno por 24 horas a una temperatura de 105+-110°C.
- ✓ Cumplido las 24 horas se retiró del horno y se dejó enfriar para luego ser tamizado por las respectivas mallas.

Para observar el procedimiento, ver anexo (figura 61 hasta figura 65)

- **Procedimiento del ensayo de contenido de humedad**

- ✓ Se obtuvo una muestra del cuarteo para el ensayo de granulometría en un recipiente (tara) para pesarlo en una balanza analítica de calibración de 0.1 g.
- ✓ Se procedió a pesar la muestra y se dejó secar en el horno por 24 horas o también se puede hacer en una cocina industrial hasta que la muestra este en estado seco (cambie de color).
- ✓ Una vez que cumplió las 24 h en el horno se sacó la muestra y se dejó enfriar para poder pesar.

Para observar el procedimiento, ver anexo (figura 66 y 67)

- **Procedimiento del ensayo límites de atterberg**

- ✓ Se tomó una muestra del cuarteado para los ensayos de granulometría y contenido de humedad, se tamizó la muestra por la malla N° 40 una cantidad de 150 gr. Para límite líquido y 20 gr. para el límite plástico.
- ✓ En una tara o recipiente se procedió el mezclado con pequeña cantidad de agua destilada controladas con una jeringa hasta que la mezcla esté homogénea.
- ✓ Cuando la mezcla ya estaba plástica se colocó una pequeña cantidad de masa en la copa Casagrande y se niveló la superficie con una espátula teniendo en cuenta el espesor de un centímetro (1 cm). Luego se partió con el acanalador por el centro de la copa para corta en dos partes iguales, luego se dio golpes hasta que se cierra la ranura.
- ✓ Cuando la ranura ya estaba junta se cortó en líneas horizontales y verticales obteniendo 6 pedazos, se tomaron dos pedazos del medio para pesar y colocar en el horno por 24 horas.

- ✓ Una vez cumplido las 24 horas se retiró del horno y se dejó enfriar por unos minutos para pesar en estado seco.
- ✓ El límite plástico se realizó formando barritas con la yema de los dedos hasta que este obtenga un espesor aproximado de 3mm, donde la barrita estaba a punto de quebrarse; las barritas se cortaron en pedacitos con una longitud de 2 cm para colocarlos en un recipiente y dejarlo en el horno por 24 horas. Cumplido las 24 horas se sacó del horno y se procedió a pesar en estado seco.

Para observar el procedimiento, ver anexo (figura 68 hasta 72)

- **Procedimiento para el ensayo de análisis térmico diferencial (ATD).**

- ✓ Cuando las muestras estaban secas se trituró en un mortero hasta llegar a la máxima finura del material.
- ✓ Se tamizó por la malla N°200 los 20 g.
- ✓ Se almacenó en un recipiente esterilizado para llevar a la Universidad Nacional de Trujillo para su respectivo ensayo de análisis térmico diferencial (ATD).

Para observar el procedimiento, ver anexo (figura 73, 74 y 75)

- **Procedimiento para el ensayo de Fluorescencia (Rayos X).**

- ✓ Cuando los materiales ya estaban calcinados se tamizó por la malla N°200.
- ✓ Se peso una muestra de 20 g y se almaceno en una bolsa polietileno para llevar a la Universidad Nacional de Ingeniería que se encuentra en la Ciudad de Lima.

Para observar el procedimiento, ver anexo (figura 76)

- **Procedimiento para el ensayo del pH.**

- ✓ Cuando los materiales ya estaban calcinados (cenizas) se tamizó por la malla N°200.
- ✓ Se pesó una muestra de 20 g y se almaceno en una bolsa polietileno para llevar al laboratorio de Colecbi que se encuentra en la Ciudad de Nuevo Chimbote.

- **Procedimiento para el ensayo de proctor modificado.**

- ✓ De cada calicata se pesó 4 muestras de 3 kilos para el patrón y 4 muestras de 3 kilos para el experimental.

- ✓ Se mezcló el suelo con agua. El porcentaje del agua es respecto al peso de la muestra del suelo. En la primera muestra se agregó el 5% de agua y luego se aumentó el 3% más de agua que de la muestra anterior.
- ✓ Se amasó y se pasó por la malla N° 4 para obtener una mezcla homogénea y luego se dividió en cinco partes iguales.
- ✓ En el molde del Proctor Modificado se echaron 5 capas iguales y en cada capa se dio 25 golpes.
- ✓ Se retiró el collar y se aplanó la parte superior. Cuando este aplanado se retiró la base y se pesó solo la muestra compactada más el molde.
- ✓ De cada probeta se sacó una muestra la cual se llevó al horno a una temperatura de 105 a 110 °C por 24 horas, después del secado se retiró del horno y se pesó la muestra en estado seco.

Para observar el procedimiento, ver anexo (figura 77 hasta figura 82)

- **Procedimiento del ensayo cbr patrón**

- ✓ Después de extraer las muestras de las calicatas, secarlo al sol y luego tritularlo hasta obtener partículas pequeñas se procedió a tamizar por la malla N°04 de cada una de las calicatas.
- ✓ Una vez que estaba tamizado por la malla N° 04 se procedió a pesar 3 muestras de 6 kilos para patrón y 3 muestras de 6 kilos para el experimental por calicata.
- ✓ Se cortó papel (filtro) de forma circular con un diámetro del molde para separar el disco espaciador de la muestra.
- ✓ El porcentaje de agua que se utilizó es la diferencia de humedad óptima de proctor modificado menos la humedad natural del suelo.
- ✓ Se amasó la muestra con el porcentaje de agua obtenido de la diferencia de las humedades y se separó en cinco partes igual.
- ✓ Se colocó el disco espaciador en el molde y encima el filtro.
- ✓ Se procedió a la compactación, para cada calicata se hizo tres probetas para el patrón y 3 probetas para el experimental de 56, 26 y 12 golpes de 5 capas para cada molde.

- ✓ Se retiró el collar del molde para nivelar la superficie. Después se retiró la base y el disco espaciador para pesar; luego se volteó la probeta y en su plataforma se colocó un filtro y encima se puso la sobrecarga.
- ✓ Se saturó las probetas durante 96 horas.
- ✓ Después del periodo de saturación de 96 horas se sacó las probetas del agua y se dejó escurrir durante 15 minutos, y luego se procedió realizar el ensayo de penetración. Se tomó dos lecturas de 30 segundos y los restantes a cada un minuto.
- ✓ Se sacó una muestra de cada probeta y luego se pesó para llevar al horno para el secado durante 24 horas; Cumplido las 24 h se sacó y se pesó la muestra para el cálculo del grado de saturación.
- **Procedimiento del CBR experimental con la adición de las cenizas.**
  - ✓ Cuando las muestras del suelo estaban pesadas, se procedió a pesar las materias primas en los porcentajes adecuados para adicionar.
  - ✓ Cuando las muestras de suelo, ceniza de hojas de pino y ceniza de marucha ya estaban pesadas según los porcentajes respectivamente se procedió a cuartear las tres muestras en una bandeja grande.
  - ✓ Después de cuartear las 3 muestras se realizó la mezcla del suelo con las cenizas en estado seco hasta obtener una muestra homogénea.
  - ✓ Cuando la muestra estaba homogénea se procedió adicionar agua obtenido del Proctor Modificado menos la humedad del suelo (Humedad Optimo-Humedad del Suelo).
  - ✓ Después se siguió los pasos detallados para el CBR patrón (suelo sin adición).

Para observar el procedimiento, ver anexo (figura 83 hasta figura 88)

### III. RESULTADOS

En este capítulo se muestra toda la información recopilada a lo largo de esta investigación, de manera que se enfoca en lo expuesto en los objetivos específicos expuestos anteriormente, se ordena en forma de tablas de manera resumida para una mejor comprensión de las variables que intervienen en el proceso.

- **Ensayo de contenido de humedad natural**

En el laboratorio de mecánica de suelo de la Universidad San Pedro se realizaron los ensayos de contenido de humedad natural.

**Tabla 10.** *Contenido de humedad natural de las tres calicatas en estudio.*

Ensayo N°	Unidad	C-1	C-2	C-3
Peso de Tara + MH	gr	478.0	626.5	641.5
Peso de Tara + MS	gr	423.0	581.0	595.5
Peso de Tara	gr	64.0	65.0	62.0
Peso del agua	gr	55.0	45.5	46.0
Muestra Seca	gr	359.0	516.0	533.5
<b>Contenido de Humedad</b>	<b>%</b>	<b>15.32</b>	<b>8.82</b>	<b>8.62</b>

Fuente: Elaboración propia 2020. Laboratorio de la Universidad San Pedro.

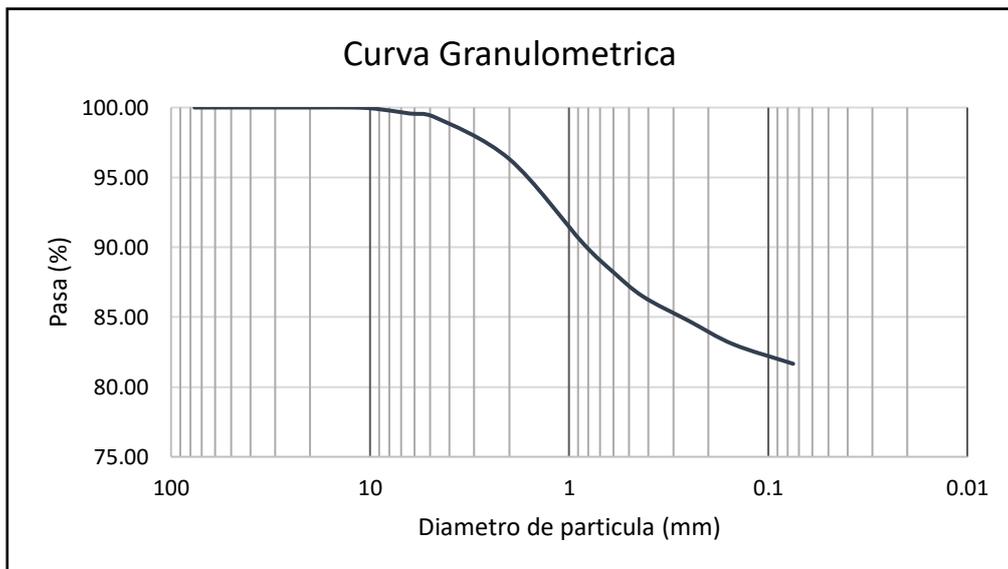
- **Análisis granulométrico**

El siguiente ensayo se realizó en el laboratorio de suelos de la Universidad San Pedro, para saber el tipo de material según la distribución de sus partículas de cada una de las calicatas.

**Tabla 11.** Cuadro de análisis granulométrico por tamizado de la calicata N°01.

Peso Seco Inicial	450.0	gr.			
Peso Seco Lavado	82.5	gr.			
P. Perdido por Lavado	367.5	gr.			
Tamiz (Abertura)					
N°	(mm)	Peso Retenido (gr)	Retenido Parcial (%)	Retenido Acumulado (%)	Pasante (%)
2 1/2"	76.20	0.0	0.0	0.0	100.0
2"	50.80	0.0	0.0	0.0	100.0
1 1/2"	37.50	0.0	0.0	0.0	100.0
1"	22.50	0.0	0.0	0.0	100.0
3/4"	19.00	0.0	0.0	0.0	100.0
1/2"	12.50	0.0	0.0	0.0	100.0
3/8"	9.50	0.4	0.1	0.1	99.9
1/4"	6.30	1.6	0.4	0.4	99.6
N° 4	4.75	1.1	0.3	0.7	99.3
N° 10	2.00	13.5	3.0	3.7	96.3
N° 20	0.850	27.2	6.1	9.7	90.3
N° 30	0.600	9.2	2.1	11.8	88.2
N° 40	0.425	7.9	1.8	13.5	86.5
N° 60	0.250	7.9	1.7	15.3	84.7
N° 100	0.150	7.5	1.7	16.9	83.1
N° 200	0.075	6.3	1.4	18.3	81.7
<200		367.5	81.7	100.0	0.0
Total		450.0			100.0

Fuente: Elaboración propia 2020.laboratorio de la Universidad San Pedro.



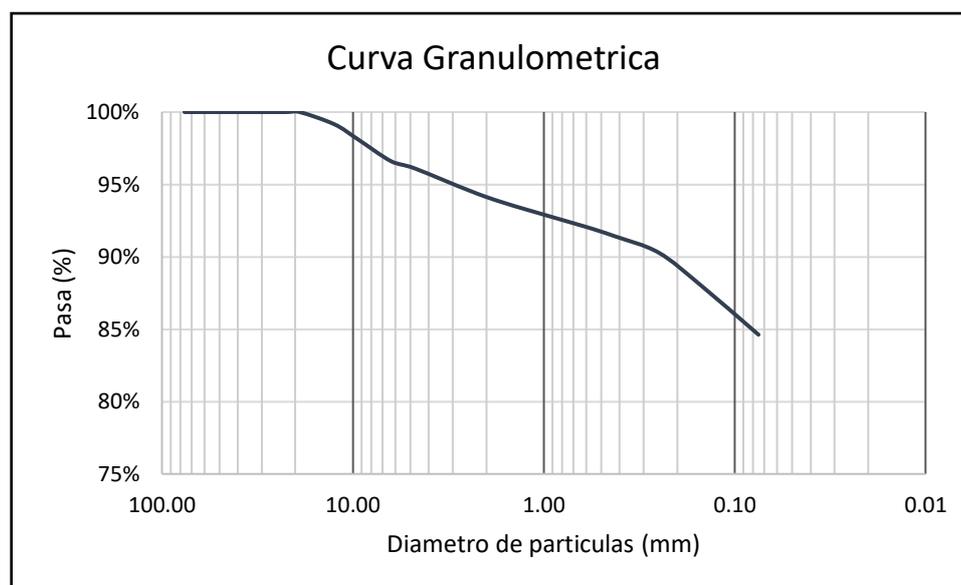
**Figura 14.** Curva de análisis granulométrico por tamizado de la calicata N° 01.

El material de la calicata 1 es un suelo fino porque el 81.66 % pasa por la malla #200.

**Tabla 12.** Cuadro de análisis granulométrico por tamizado de la calicata N°02.

Peso Seco Inicial	450.0	gr.			
Peso Seco Lavado (g)	69.3	gr.			
P. Perdido por Lavado (g)	380.8	gr.			
Tamiz (Abertura)		Peso Retenido (gr)	Retenido Parcial (%)	Retenido Acumulado (%)	Pasante (%)
N°	(mm)				
2 1/2"	76.20	0.0	0.0	0.0	100.0
2"	50.80	0.0	0.0	0.0	100.0
1 1/2"	37.50	0.0	0.0	0.0	100.0
1"	22.50	0.0	0.0	0.0	100.0
3/4"	19.00	0.0	0.0	0.0	100.0
1/2"	12.50	3.8	0.8	0.8	99.2
3/8"	9.50	4.5	1.0	1.8	98.2
1/4"	6.30	7.0	1.6	3.4	96.6
N° 4	4.75	2.2	0.5	3.9	96.1
N° 10	2.00	8.9	2.0	5.9	94.1
N° 20	0.850	6.7	1.5	7.4	92.6
N° 30	0.600	2.6	0.6	7.9	92.1
N° 40	0.425	2.9	0.6	8.6	91.4
N° 60	0.250	5.1	1.1	9.7	90.3
N° 100	0.150	10.2	2.3	12.0	88.0
N° 200	0.075	15.3	3.4	15.4	84.6
<200		380.8	84.6	100.0	0.0
Total		450.0			100.0

Fuente: Elaboración propia 2020.laboratorio de la Universidad San Pedro.



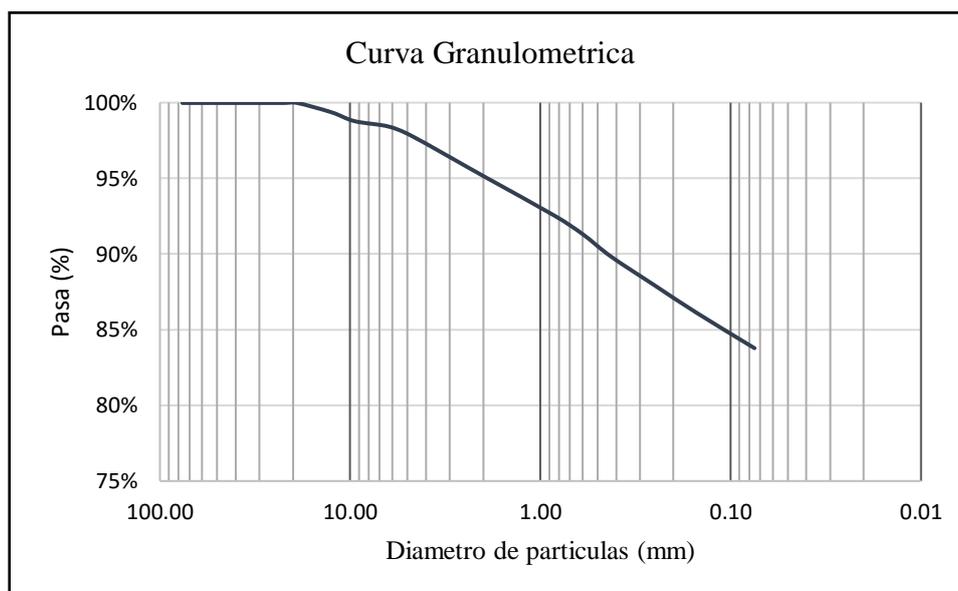
**Figura 15.** Curva de análisis granulométrico por tamizado calicata N° 02.

El material de la calicata 2 es un suelo fino porque el 81.66 % pasa por la malla #200.

**Tabla 13.** Cuadro de análisis granulométrico por tamizado de la calicata N°03.

Peso Seco Inicial	450.0	gr.			
Peso Seco Lavado (g)	73.0	gr.			
P. Perdido por Lavado (g)	377.0	gr.			
Tamiz (Abertura)		Peso Retenido (gr)	Retenido Parcial (%)	Retenido Acumulado (%)	Pasante (%)
N°	(mm)				
2 1/2"	76.20	0.0	0.0	0.0	100.0
2"	50.80	0.0	0.0	0.0	100.0
1 1/2"	37.50	0.0	0.0	0.0	100.0
1"	22.50	0.0	0.0	0.0	100.0
3/4"	19.00	0.0	0.0	0.0	100.0
1/2"	12.50	2.8	0.6	0.6	99.4
3/8"	9.50	2.6	0.6	1.2	98.8
1/4"	6.30	1.6	0.4	1.6	98.4
N° 4	4.75	2.8	0.6	2.2	97.8
N° 10	2.00	11.9	2.6	4.8	95.2
N° 20	0.850	11.7	2.6	7.4	92.6
N° 30	0.600	5.6	1.2	8.7	91.3
N° 40	0.425	6.7	1.5	10.2	89.8
N° 60	0.250	8.6	1.9	12.1	87.9
N° 100	0.150	8.2	1.8	13.9	86.1
N° 200	0.075	10.4	2.3	16.2	83.8
<200		377.0	83.8	100.0	0.0
Total			100.0		

Fuente: Elaboración propia 2020.laboratorio de la Universidad San Pedro.



**Figura 16.** Curva de análisis granulométrico por tamizado de la calicata 3.

El material de la calicata 3 es un suelo fino porque el 83.8 % pasa por la malla #200.

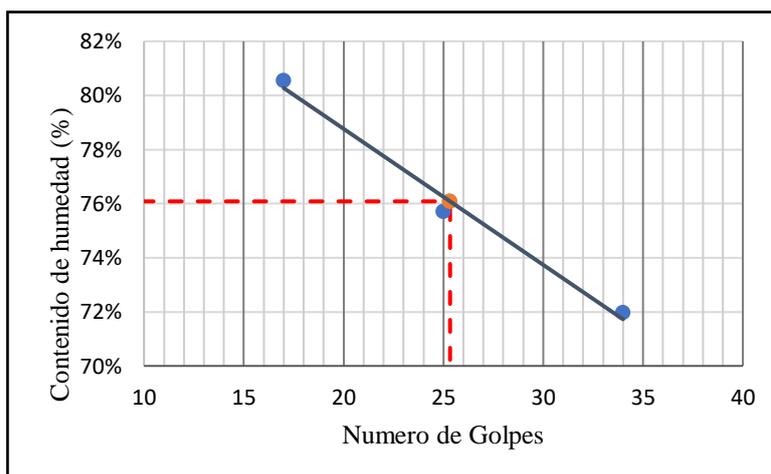
- **Ensayos de límites de atterberg**

Los ensayos de límites de atterberg se realizaron en laboratorio de suelos de la Universidad San Pedro.

**Tabla 14.** Cuadro de limite líquido y limite plástico de la calicata N° 01.

Muestra	C - 1			
Descripción	Limite líquido		Limite plástico	
Nro. De ensayo	1	2	3	
Peso tara + suelo húmedo (gr)	49.4	43.3	44.2	24.9
Peso tara + suelo seco (gr)	36.3	32.7	32.6	24.1
Peso de la tara (gr)	18.1	18.7	18.2	21.7
Peso del agua (gr)	13.1	10.6	11.6	0.8
Peso suelo seco (gr)	18.2	14.0	14.4	2.4
Contenido de humedad (%)	71.98	75.71	80.56	33.33
Nro. De golpes	34	25	17	
<b>Ll (promedio)</b>	<b>76.25</b>			

Fuente: Elaboración propia 2020.laboratorio de la Universidad San Pedro.



**Figura 17.** Limite liquido de la calicata N° 01.

El límite líquido promedio de la calicata N°01 es 76.25 % y el límite plástico es 33.33 % obteniendo un Índice Plástico de **42.92 %**.

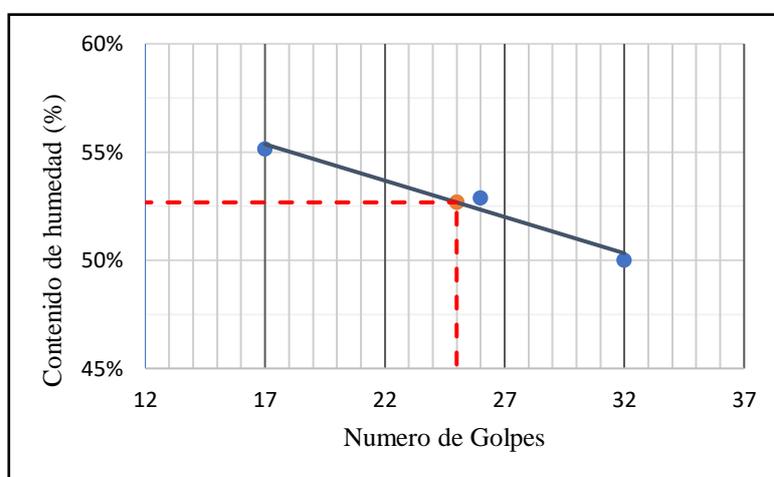
El suelo de la calicata N°01 según su índice de plasticidad es:

Un suelo arcilloso de alta plasticidad ya que su índice plástico es mayor de 20 %.

**Tabla 15.** Cuadro de limite líquido y limite plástico de la calicata N° 02.

Muestra	C - 2			
Descripción	Limite liquido			Limite plástico
Nro. de ensayo	1	2	3	
Peso tara + suelo húmedo (gr)	63.3	44.2	59.2	25.8
Peso tara + suelo seco (gr)	48.4	35.0	45.8	24.9
Peso de la tara (gr)	18.6	17.6	21.8	22.0
Peso del agua (gr)	14.9	9.2	13.4	0.9
Peso suelo seco (gr)	29.8	17.4	24.0	2.9
Contenido de humedad (%)	50.00	52.87	55.83	31.03
Nro. De golpes	32	26	17	
Ll (promedio)	52.67			

Fuente: Elaboración propia 2020.laboratorio de la Universidad San Pedro.



**Figura 18.** Limite líquido de la calicata N° 02.

El límite líquido promedio de la calicata N°02 es 52.26 % y el límite plástico es 31.03 % obteniendo un Índice Plástico de **21.87 %**.

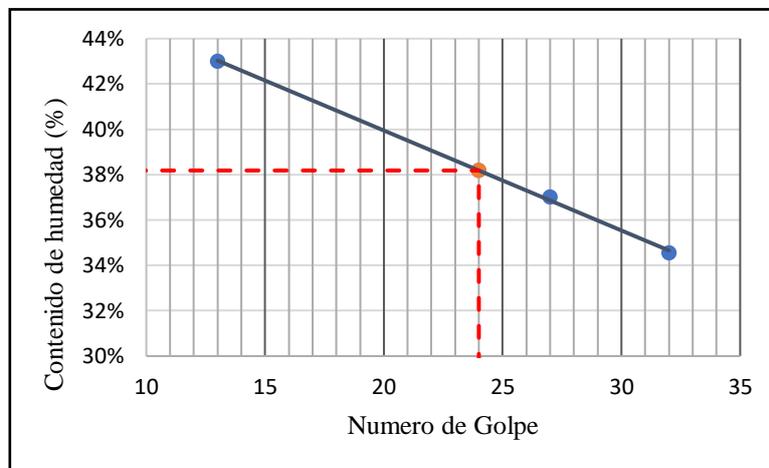
El suelo de la calicata N°02 según su índice de plasticidad es:

Un suelo arcilloso de alta plasticidad ya que su índice plástico es mayor de 20 %.

**Tabla 16.** Cuadro de limite líquido y limite plástico de la calicata N° 03.

Muestra	C - 3			
	Descripción	Limite líquido		Limite plástico
Nro. De ensayo		1	2	3
Peso tara + suelo húmedo (gr)	59.1	53.7	52.5	27.8
Peso tara + suelo seco (gr)	48.6	45	43.3	26.7
Peso de la tara (gr)	18.2	21.5	21.9	21.0
Peso del agua (gr)	10.5	8.7	9.2	1.1
Peso suelo seco (gr)	30.4	23.5	21.4	5.7
Contenido de humedad (%)	34.54	37.02	42.99	19.30
Nro. De golpes	32	27	13	
Ll (promedio)		37.74		

Fuente: limite liquido de la calicata N° 03.



**Figura 19.** Limite liquido de la calicata N°03.

El límite líquido promedio de la calicata N°03 es 37.74 % y el límite plástico es 19.3% obteniendo un Índice Plástico de **18.44 %**.

El suelo de la calicata N°03 según su índice de plasticidad es:

Un suelo arcilloso de media plasticidad ya que su índice plástico esta entre 20% y 7%.

❖ **Clasificación de suelos según el sistema AASHTO y SUCS**

Una vez obtenido los resultados de la granulometría y límite de atterberg se clasifico el tipo de suelo según el sistema AASHTO y SUCS para lo cual se utilizó el siguiente cuadro y gráfica.

**Tabla 17.** *Clasificación de suelos según AASHTO de la calicata 1 y 2.*

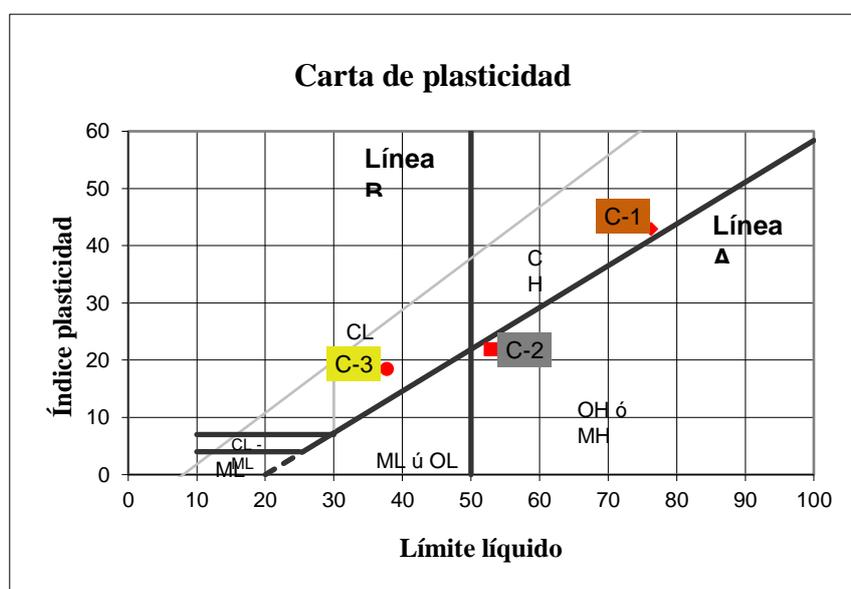
Clasificación General	Materiales granulares (35% o menos de la muestra que pasa la malla N° 200)							Materiales Limo-Arcilla (más del 35% de la muestra que pasa la malla N° 200)				
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7	
Sub - Grupo	A-1-a	A-1-b	A-3	A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7	A-4	A-5	A-6	A-7-5	A-7-6
<b>porcentaje que pasa las mallas</b>												
N° 10	50 máx.											
N° 40	30 máx.	50 máx.	51 máx.									
N° 200	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	36 mín.	36 mín.	36 mín.	36 mín.	36 mín.
<b>Característica de las partículas que pasan la malla N° 40</b>												
Límite Líquido				40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	41 mín.
Índice de plasticidad	NP			10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.	11 mín.
<b>Tipos Usuales de materiales componentes significativos</b>	Fragmentos de piedra grava y arena		Arena fina	Grava y arena limosa o arcillosa				Suelos limosos		Suelos arcillosos		

Fuente: elaboración propia.

**Tabla 18.** Clasificación de suelos según AASHTO de la calicata 3.

Clasificación General	Materiales granulares (35% o menos de la muestra que pasa la malla N° 200)							Materiales Limo-Arcilla (mas del 35% de la muestra que pasa la malla N° 200)				
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7	
Sub - Grupo	A-1-a	A-1-b	A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7	A-4	A-5	A-6	A-7-5	A-7-6	
<b>porcentaje que pasa las mallas</b>												
N° 10	50 máx.											
N° 40	30 máx.	50 máx.	51 máx.									
N° 200	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	36 mín.	36 mín.	36 mín.	36 mín.	36 mín.
<b>Características de las partículas que pasa la malla N° 40</b>												
Limite Liquido				40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	41 mín.
Índice de plasticidad	NP			10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.	11 mín.
<b>Tipos Usuales de materiales componentes significativos</b>	Fragmentos de piedra grava y arena		Arena fina	Grava y arena limosa o arcillosa				Suelos limosos		Suelos arcillosos		

Fuente: elaboración propia.



**Figura 20.** Clasificación de suelos según SUCS de la C-1, C-2 y C-3.

**Tabla 19.** Cuadro de resumen de la clasificación de suelos

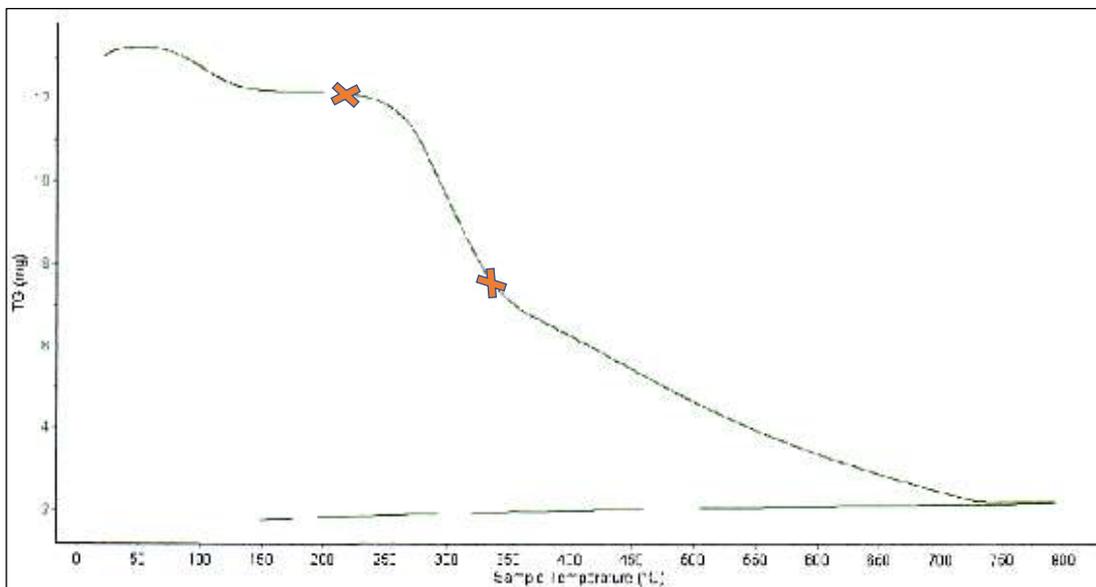
Descripción	% que pasa la malla #200	Limite liquido	Limite plástico	Índice de plasticidad	Clasificación del suelo	
					AASHTO	SUCS
Calicata 1	81.7	76.25	33.33	42.92	A-7-5 Suelo arcilloso	CH Arcilla de alta plasticidad
Calicata 2	84.6	52.9	31.03	21.87	A-7-5 Suelo arcilloso	MH Limo de alta plasticidad
Calicata 3	83.8	37.74	19.3	18.44	A-6 Suelo arcilloso	CL Arcilla de media plasticidad

Fuente: Elaboración propia.

- **Análisis térmico diferencial (ATD)**

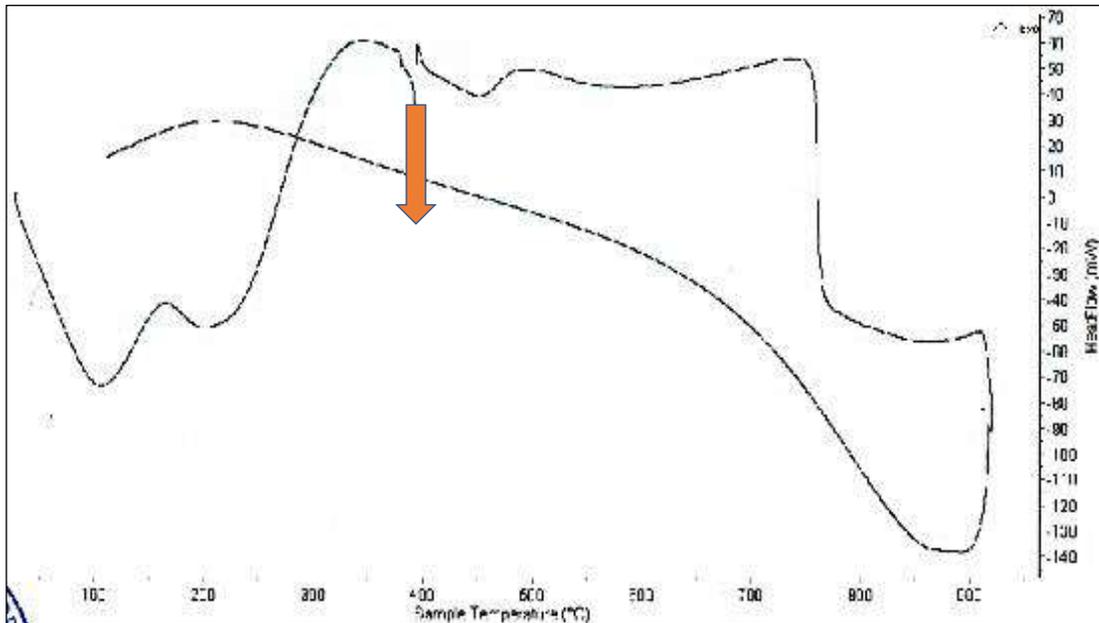
### Hojas de pino

En la figura 21 se observa la curva del análisis termo gravimétrico de las hojas de pino donde se puede ver que entre las temperaturas de 220°C a 340°C experimenta mayor pérdida de masa y después se ve que la pérdida de masa va lenta hasta llegar a la temperatura máxima. Este material llega a perder aproximadamente el 88% de su masa.



**Figura 21.** Curva de pérdida de masa – Análisis Termo gravimétrico de hojas de pino.

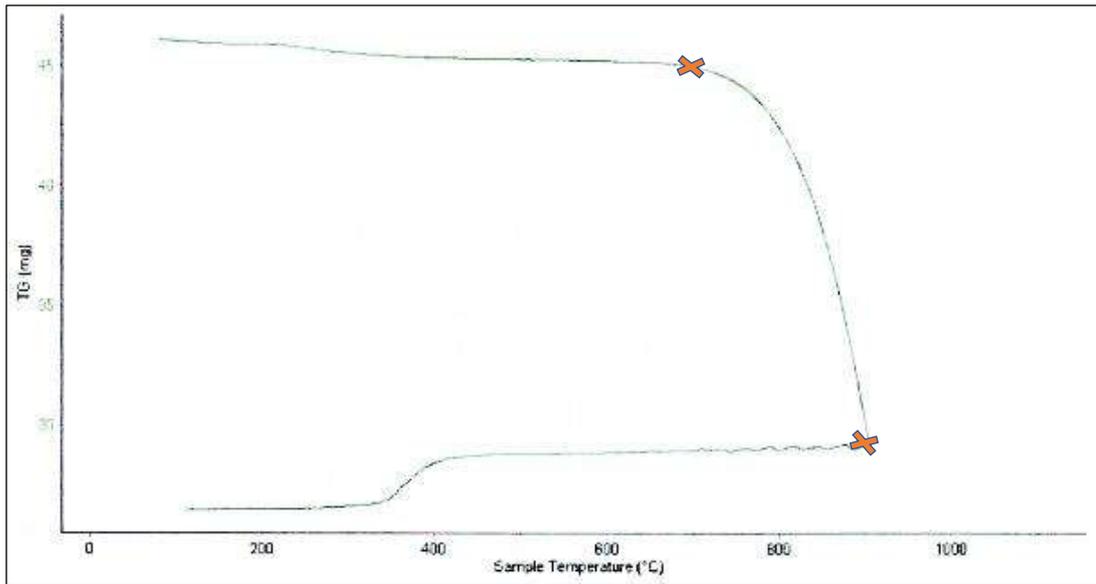
En la figura 22 se observa la curva calorimétrica de hojas de pino, donde se puede ver los primeros picos entre las temperaturas de 100°C a 200°C y los picos más altos entre los 390°C a 450°C. Finalmente en la temperatura 750°C se da una gran absorción donde esto significa que el material ha sufrido un cambio en su estructura y su característica.



**Figura 22.** Curva calorimétrica ATD de la marucha.

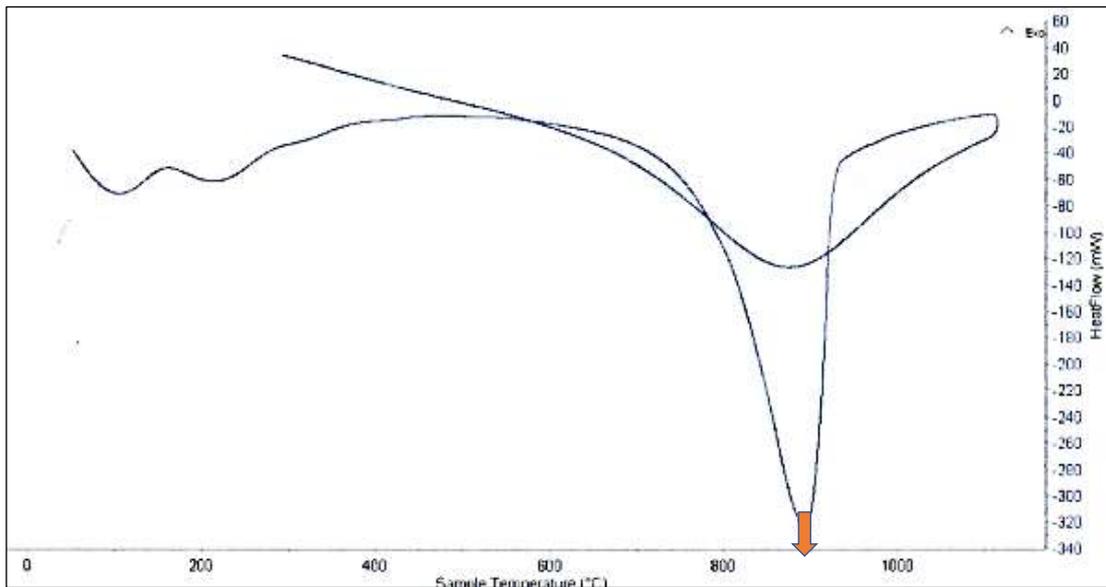
### **Marucha (*donax obesulus*)**

En la figura 23 se observa el análisis termo gravimétrico de la marucha donde se puede ver que el material presenta una estabilidad hasta llegar a los 700°C, partir de esta temperatura recién comienza a caer bruscamente la masa del material, llegando a perder aproximadamente 36% de su masa total.



**Figura 23.** Curva de pérdida de masa – Análisis Termo gravimétrico de marucha.

En la figura 24 se observa la curva del análisis granulométrico, donde se puede ver los primeros picos que están entre 100°C a 210°C y posteriormente se da el pico mas alto en 890°C, esta temperatura representa el cambio de su característica y su estructura del material.



**Figura 24.** Curva calorimétrica ATD de la marucha.

- **Análisis de composición química de las cenizas (ceniza de hojas de pino y ceniza de marucha)**

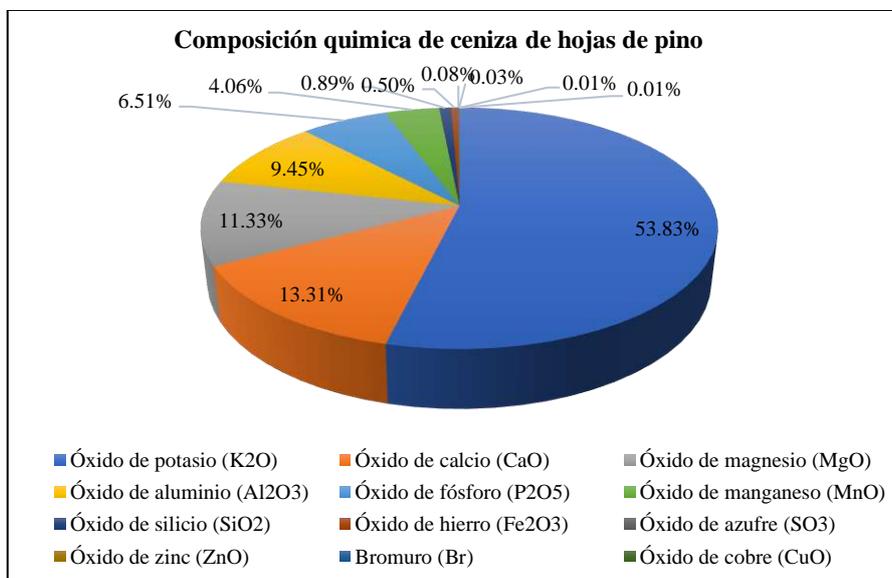
### Composición química de las cenizas de hojas de pino

**Tabla 20.** *Composición química de la ceniza de hojas de pino.*

Compuesto	Resultado (%)	Método utilizado
Óxido de potasio, K <sub>2</sub> O	53,829	
Óxido de calcio, CaO	13,31	
Óxido de magnesio, MgO	11,33	
Óxido de aluminio, Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9,45	
Óxido de fósforo, P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	6,51	
Óxido de manganeso, MnO	4,06	Espectrometría de Fluorescencia de Rayos X (1)
Óxido de silicio, SiO <sub>2</sub>	0,89	
Óxido de hierro, Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,50	
Óxido de azufre, SO <sub>3</sub>	0,08	
Óxido de zinc, ZnO	0,03	
Bromuro, Br-	0,01	
Óxido de cobre, CuO	0,01	

Fuente: Laboratorio Labicer de Universidad Nacional de Ingeniería.

En la figura 25 se observa los componentes químicos de la ceniza de hojas de pino expresado en óxidos en la cual vemos los componentes principales del cemento como el calcio de 13.31%, aluminio de 9.45%, silicio de 0.89% y hierro de 0.50%. Por otro lado, el porcentaje del potasio es mayor por lo que no se realizó el proceso de lixiviación para reducir el porcentaje de potasio de las hojas.



**Figura 25.** Composición química de las cenizas de hojas de pino.

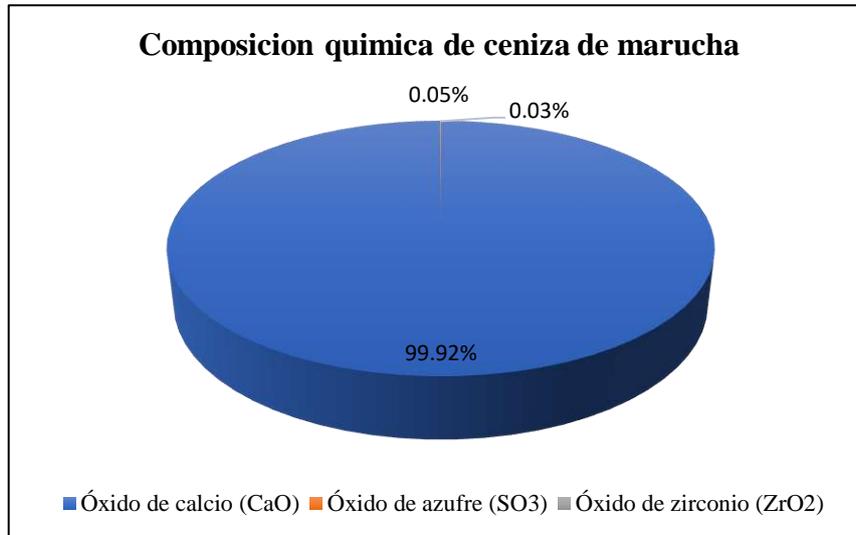
### Composición química de la ceniza de marucha (*donax obesulus*).

**Tabla 21.** *Composición química de la ceniza de marucha (donax obesulus).*

Compuesto	Resultado (%)	Método utilizado
Óxido de calcio, CaO	99,92	Espectrometría de Fluorescencia de Rayos X(1)
Óxido de azufre, SO <sub>3</sub>	0,05	
Óxido de zirconio, ZrO <sub>2</sub>	0,03	

Fuente: Laboratorio Labicer de Universidad Nacional de Ingeniería.

En la figura 26 se observa la composición química de la marucha (*donax obesulus*), donde se ve el componente mayor del material es el calcio con 99.92%, donde este material es recomendable para la estabilización de suelos arcillosos.



**Figura 26.** Composición química de ceniza de marucha.

- **Ensayo del pH**

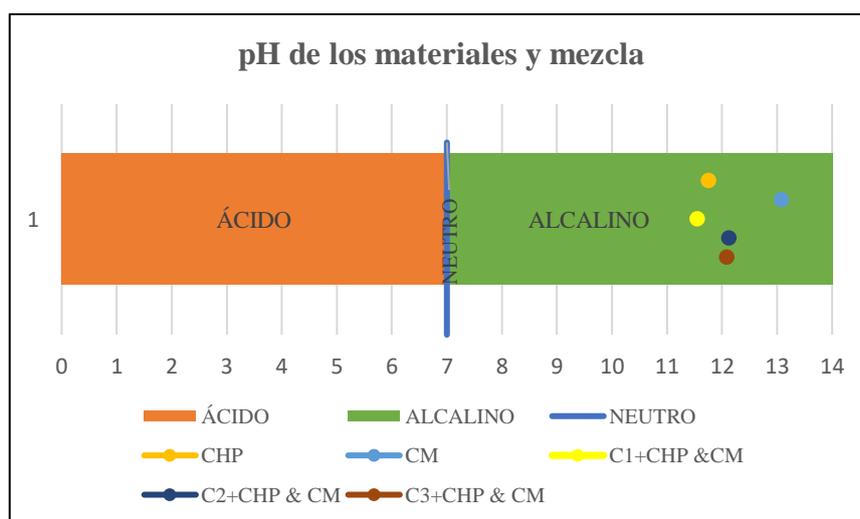
**Tabla 22.** Cuadro del pH de las muestras.

Descripción	pH
Ceniza de hojas de pino	11.77
Ceniza de marucha	13.09
Mezcla de la C-1 con la adición de 5% CHP y 10% de CM	11.56
Mezcla de la C-2 con la adición de 5% CHP y 10% de CM	12.14
Mezcla de la C-3 con la adición de 5% CHP y 10% de CM	12.10

Fuente: laboratorio Colecbi.

En la figura 27 se observa los valores de potencial de hidrogeno (pH) de la ceniza de hojas de pino 11.77, ceniza de marucha 13.09 y de las mezcla de suelo natural con las cenizas de acuerdo al porcentaje adicionado en su peso; el resultado del pH de las mezclas fueron 11.56 la c1, 12.14 la c2 y 12.10 la c3 donde se puede decir que según su pH la calicata 2 va obtener mayor resistencia por lo que tiene mayor alcalinidad comparando con las demás calicatas en estudio.

En general se puede decir que todos los materiales que han sido utilizados para esta investigación son alcalinos porque sus valores del pH son mayores a 7.



**Figura 27.** pH de las cenizas y la mezcla del suelo con las cenizas.

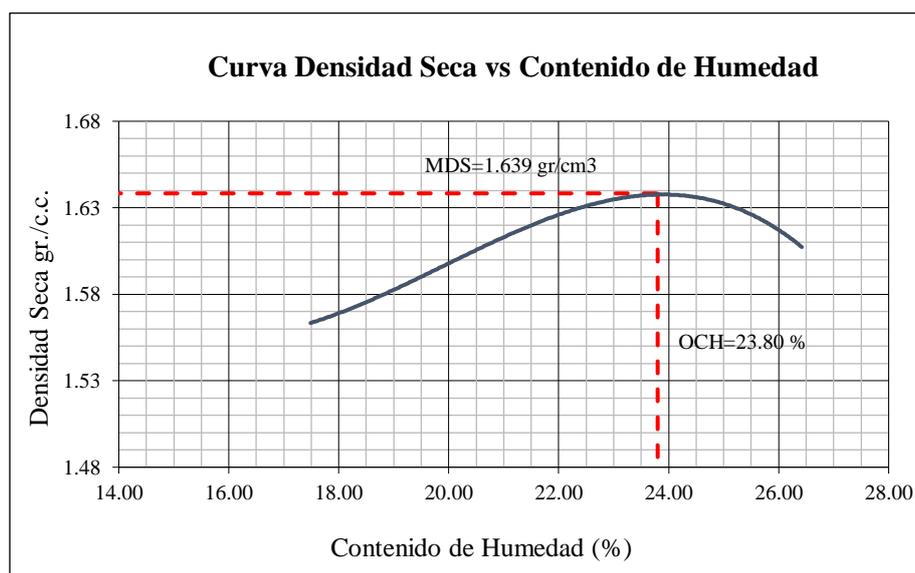
- **Ensayo del proctor modificado**

Las figuras posteriores nos muestran las máximas densidades secas y contenidos de humedad óptima las cuales nos facilitaron para realizar el ensayo del CBR,

**Tabla 23.** Cuadro del proctor modificado patrón de la calicata N° 01.

Método Compactación	"A"	Numero de golpes 25			
Energía de Compactación Estándar	27.7 Kg.cm/cm3				
Peso de muestra húmeda + molde	Gr.	3695	3789	3869	3878.5
Peso del molde	Gr.	1969	1969	1969	1969
Peso de la muestra húmeda	Gr.	1726	1820	1900	1909.5
Volumen del molde	Cm3	939.7	939.7	939.7	939.7
Densidad húmeda	Gr/cm3.	1.837	1.937	2.022	2.032
Tara	N°	1	2	3	4
Peso muestra húmeda + tara	Gr.	415.00	435.00	543.00	431.50
Peso muestra seca + tara	Gr.	383.00	380.00	480.00	385.00
Peso del agua	Gr.	32.00	55.00	63.00	46.50
Peso de la tara	Gr.	200	112.5	212	209
Peso de la muestra seca	Gr.	183	267.5	268	176
Contenido de humedad	%	17.5	20.6	23.5	26.4
Densidad seca	Gr/cm3.	1.563	1.606	1.637	1.607

**Fuente:** Elaboración propia.



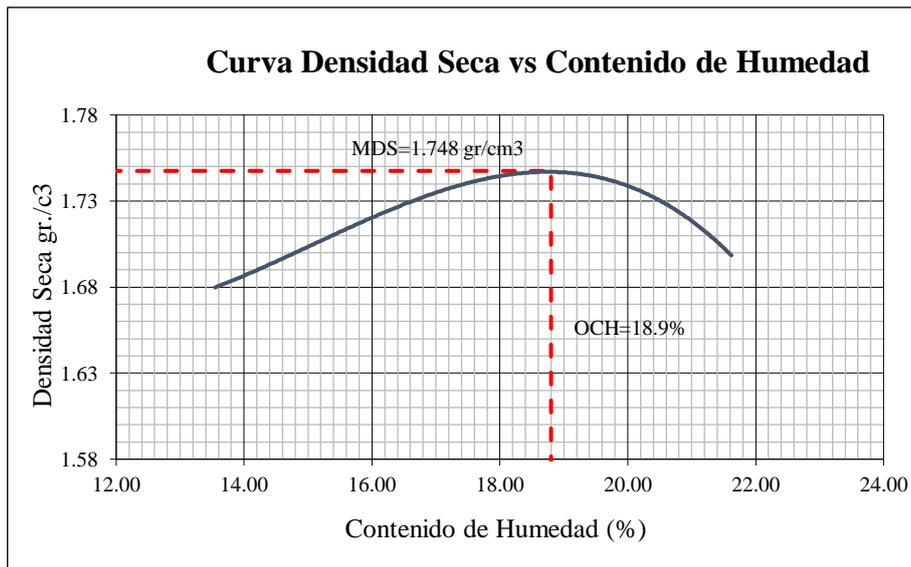
**Figura 28.** Curva del proctor modificado de la calicata N° 01.

El suelo patrón de la calicata N°01 obtuvo una densidad seca máxima de 1.639 gr/cm<sup>3</sup> con un contenido de humedad óptima de 23.80%. Por lo que es un suelo arcilloso de alta plasticidad el suelo necesitó mayor cantidad de agua para que obtenga una mayor densidad.

**Tabla 24.** Cuadro del proctor modificado patrón de la calicata N°02.

Método Compactación	"A"	Numero de golpes 25			
Energía de Compactación Estándar	27.7 Kg.cm/cm3				
Peso de muestra húmeda + molde	Gr.	3761	3859.5	3923	3910
Peso del molde	Gr.	1969	1969	1969	1969
Peso de la muestra húmeda	Gr.	1792.3	1890.5	1953.5	1941
Volumen del molde	Cm3.	939.7	939.7	939.7	939.7
Densidad húmeda	Gr/cm3.	1.907	2.012	2.079	2.066
Tara	N°	1	2	3	4
Peso muestra húmeda + tara	Gr.	292.50	288.00	308.00	310.00
Peso muestra seca + tara	Gr.	265.00	255.00	269.00	270.00
Peso del agua	Gr.	27.50	33.00	39.00	40.00
Peso de la tara	Gr.	62	54.5	64	85
Peso de la muestra seca	Gr.	203	200.5	205	185
Contenido de humedad	%	13.5	16.5	19.0	21.6
Densidad seca	Gr/cm3.	1.680	1.727	1.747	1.698

Fuente: elaboración propia.



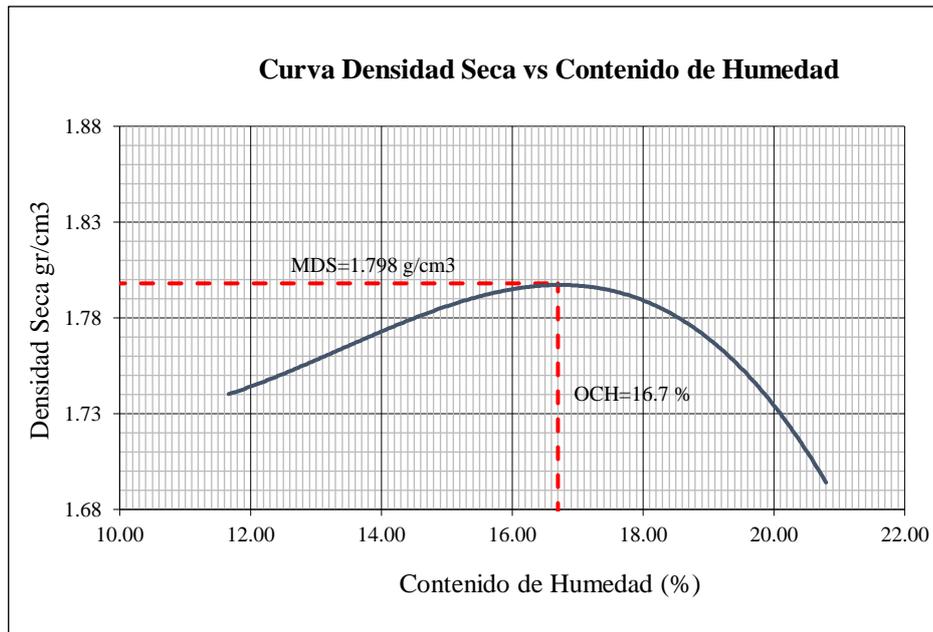
**Figura 29.** Curva del proctor modificado patrón de la calicata N°02.

El suelo patrón de la calicata N°02 obtuvo una densidad seca máxima de 1.748 gr/cm3 con un contenido de humedad óptima de 18.90%. Por lo que es un suelo limoso de alta plasticidad el suelo necesitó mayor cantidad de agua para que obtenga una mayor densidad.

**Tabla 25.** Cuadro del proctor modificado patrón de la calicata N° 03

Método Compactación	"A"	Numero de golpes 25			
Energía de Compactación Estándar		27.7 Kg.cm/cm3			
Peso de muestra húmeda + molde	Gr.	3795	3892	3953	3892
Peso del molde	Gr.	1969	1969	1969	1969
Peso de la muestra húmeda	Gr.	1826	1923	1984	1923
Volumen del molde	Cm3	939.7	939.7	939.7	939.7
Densidad húmeda	Gr/cm3	1.943	2.046	2.111	2.046
Tara	N°	1	2	3	4
Peso muestra húmeda + tara	Gr.	448.00	476.00	313.00	402.00
Peso muestra seca + tara	Gr.	420.00	440.50	274.00	339.50
Peso del agua	Gr.	28.00	35.50	39.00	62.50
Peso de la tara	Gr.	180	200	60	39
Peso de la muestra seca	Gr.	240	240.5	214	300.5
Contenido de humedad	%	11.7	14.8	18.2	20.8
Densidad seca	Gr/cm3	1.740	1.783	1.786	1.694

Fuente: Elaboración propia



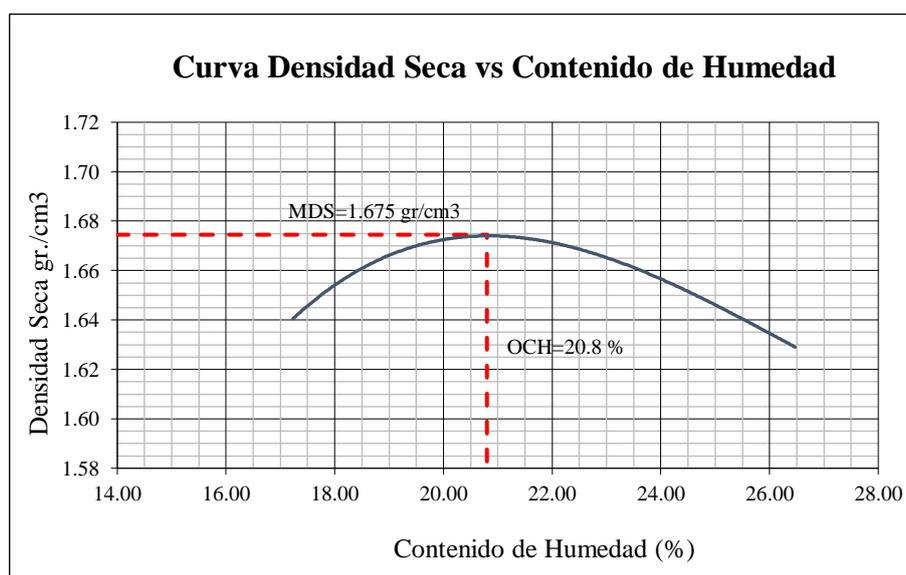
**Figura 30.** Curva del proctor modificado patrón de la calicata N°3.

El suelo patrón de la calicata N°03 obtuvo una densidad seca máxima de 1.798 gr/cm<sup>3</sup> con un contenido de humedad óptima de 16.70%. Por lo que es un suelo arcilloso de media plasticidad el suelo necesitó menos cantidad de agua en comparación de las calicatas 01 y 02 para que obtenga una mayor densidad seca.

**Tabla 26.** Cuadro del proctor modificado experimental de la calicata N°01.

Método Compactación	"A"	Numero de golpes 25			
Energía de Compactación Estándar		27.7 Kg.cm/cm3			
Peso de muestra húmeda + molde	Gr.	3775	3855	3895	3905
Peso del molde	Gr.	1969	1969	1969	1969
Peso de la muestra húmeda	Gr.	1806	1886	1926	1936
Volumen del molde	Cm3	939.7	939.7	939.7	939.7
Densidad húmeda	Gr/cm3	1.922	2.007	2.050	2.060
Tara	N°	1	2	3	4
Peso muestra húmeda + tara	Gr.	508.00	310.00	325.00	300.00
Peso muestra seca + tara	Gr.	462.00	270.00	277.00	255.00
Peso del agua	Gr.	46.00	40.00	48.00	45.00
Peso de la tara	Gr.	195	70	70	85
Peso de la muestra seca	Gr.	267	200	207	170
Contenido de humedad	%	17.2	20.0	23.2	26.5
Densidad seca	Gr/c.c.	1.640	1.673	1.664	1.629

Fuente: Elaboración propia.



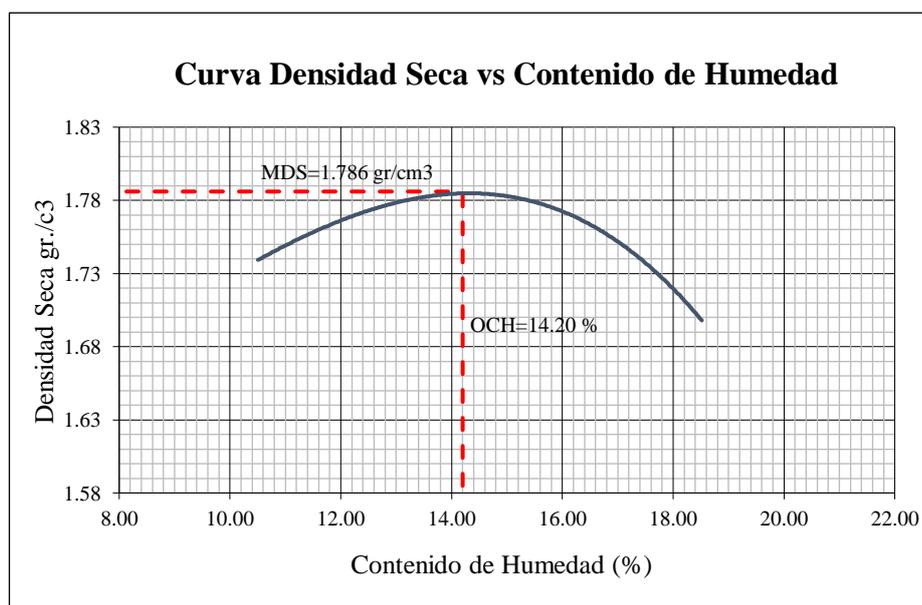
**Figura 31.** Curva del proctor modificado experimental de la calicata N°01.

El proctor modificado del suelo experimental de la calicata N°01 llegó a obtener una densidad seca máxima de 1.675 gr/cm3 con un contenido de humedad optima de 20.80%. Comparando con el suelo patrón de la calicata 01 ha aumentado su densidad y disminuyendo el contenido de humedad, así formando una aglomeración entre el suelo y las cenizas añadidas.

**Tabla 27.** Cuadro del proctor modificado experimental de la calicata N°02.

Método Compactación	"A"	Numero de golpes 25			
Energía de Compactación Estándar		27.7 Kg.cm/cm3			
Peso de muestra húmeda + molde	Gr.	3775	3860	3901	3860
Peso del molde	Gr.	1969	1969	1969	1969
Peso de la muestra húmeda	Gr.	1806	1891	1932	1891
Volumen del molde	Cm3	939.7	939.7	939.7	939.7
Densidad húmeda	Gr/cm3	1.922	2.012	2.056	2.012
Tara	N°	1	2	3	4
Peso muestra húmeda + tara	Gr.	475.00	565.00	505.00	520.00
Peso muestra seca + tara	Gr.	450.00	524.00	459.00	470.00
Peso del agua	Gr.	25.00	41.00	46.00	50.00
Peso de la tara	Gr.	212	210	170	200
Peso de la muestra seca	Gr.	238	314	289	270
Contenido de humedad	%	10.5	13.1	15.9	18.5
Densidad seca	Gr/cm3	1.739	1.779	1.774	1.698

Fuente: Elaboración propia.



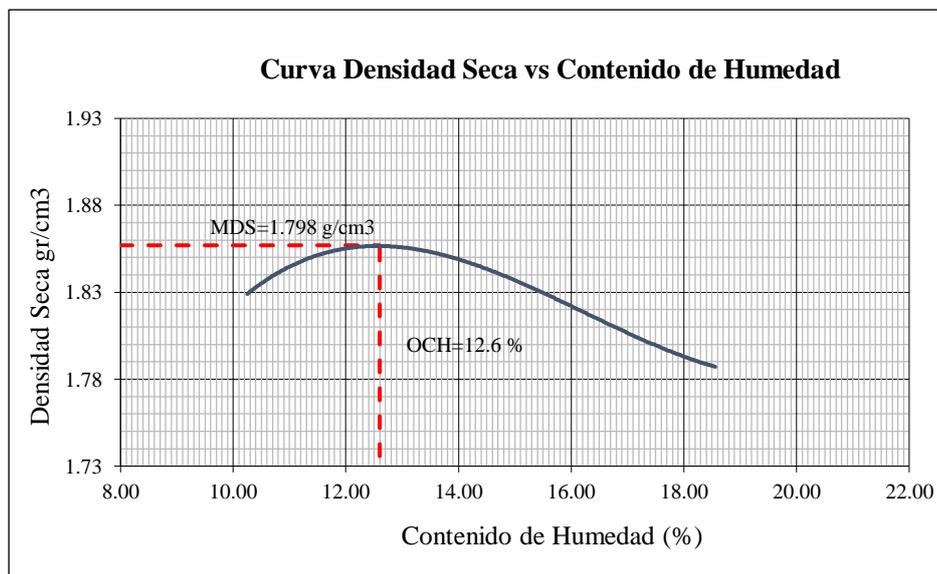
**Figura 32.** Curva del proctor modificado experimental de la calicata N°02.

El proctor modificado del suelo experimental de la calicata N°02 llegó a obtener una densidad seca máxima de 1.786 gr/cm<sup>3</sup> con un contenido de humedad óptima de 14.20%. Comparando con el suelo patrón de la calicata 02 ha aumentado su densidad y disminuyó el contenido de humedad, así obteniendo una mayor resistencia del suelo con menor contenido de agua.

**Tabla 28.** Cuadro del proctor modificado experimental de la calicata N°03.

Método Compactación	''A''	Numero de golpes 25			
Energía de Compactación Estándar		27.7 Kg.cm/cm3			
Peso de muestra húmeda + molde	Gr.	3865	3940	3955	3960
Peso del molde	Gr.	1969	1969	1969	1969
Peso de la muestra húmeda	Gr.	1896	1971	1986	1991
Volumen del molde	Cm3	939.7	939.7	939.7	939.7
Densidad húmeda	Gr/cm3	2.018	2.097	2.113	2.119
Tara	N°	1	2	3	4
Peso muestra húmeda + tara	Gr.	260.50	360.00	345.00	295.00
Peso muestra seca + tara	Gr.	240.00	326.00	307.00	259.00
Peso del agua	Gr.	20.50	34.00	38.00	36.00
Peso de la tara	Gr.	40	65	65	65
Peso de la muestra seca	Gr.	200	261	242	194
Contenido de humedad	%	10.3	13.0	15.7	18.6
Densidad seca	Gr/cm3	1.829	1.856	1.827	1.787

Fuente: Elaboración propia.



**Figura 33.** Curva del proctor modificado experimental de la calicata N°03.

El proctor modificado del suelo experimental de la calicata N°03 llegando a obtener una densidad seca máxima de 1.798 gr/cm<sup>3</sup> con un contenido de humedad óptima de 12.60%. al comparar con el suelo patrón de la calicata 03 ha aumentado su densidad seca y ha reducido el contenido de humedad, donde el resultado obtuvo una mayor resistencia con poca humedad de agua.

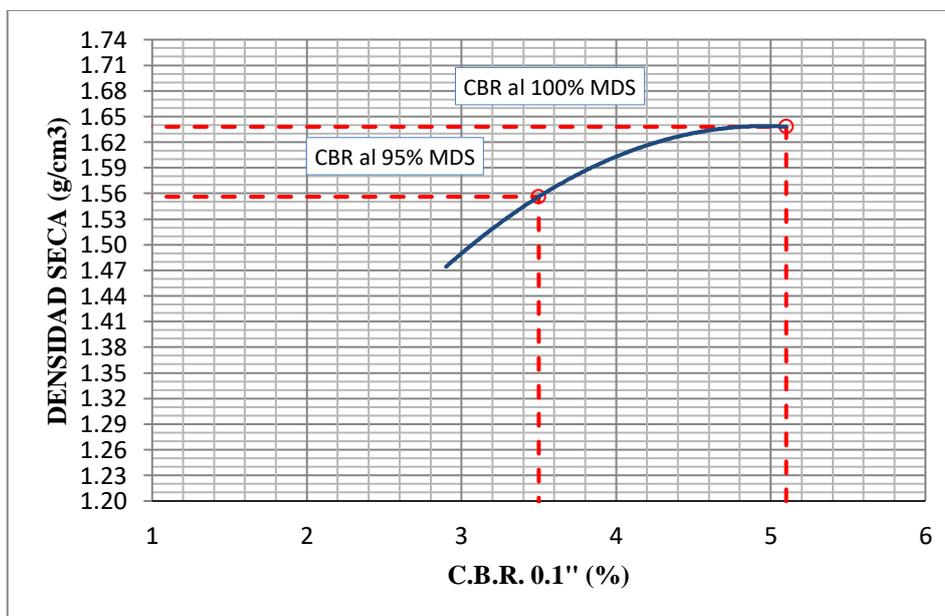
- **Ensayo del CBR**

**Tabla 29.** Ensayo de penetración del patrón de la calicata N°01.

PENETRACION						
FACTOR ANILLO: CARGA (Kgf.) = LEC.DIALx4.2491345+27.9201						
MOLDE	1 ( 56 GOLPES)		2 ( 25 GOLPES)		3 (12 GOLPES)	
PEN.(mm)	LEC. DIAL	CARGA (Kgf.)	LEC. DIAL	CARGA (Kgf.)	LEC. DIAL	CARGA (Kgf.)
0.000	0	0.0	0	0.0	0	0.00
0.635	3	40.7	1	32.2	0	27.9
1.270	5	49.17	2	36.4	0	27.9
1.905	7	57.7	3	40.7	1	32.2
2.540	9	66.2	4	44.9	2	36.4
3.810	11	74.7	5	49.2	3	40.7
5.080	13	83.2	6	53.4	4	44.9
6.350	15	91.7	7	57.7	5	49.2
7.620	17	100.2	8	61.9	6	53.4
10.160	19	108.7	9	66.2	7	57.7
12.700	21	117.2	10	70.4	8	61.9
<b>CARGA (%)</b>	<b>66.2 Kgf. (%)</b>		<b>44.9 Kgf. (%)</b>		<b>36.4 Kgf. (%)</b>	

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 34 se observa el cbr a 0.1''; donde el CBR al 100%, 95% y 90% tienen valores de 5.10%, 3.5% y 2.9% respectivamente; por tanto, según el manual del MTC se clasifica como la sub rasante malo.



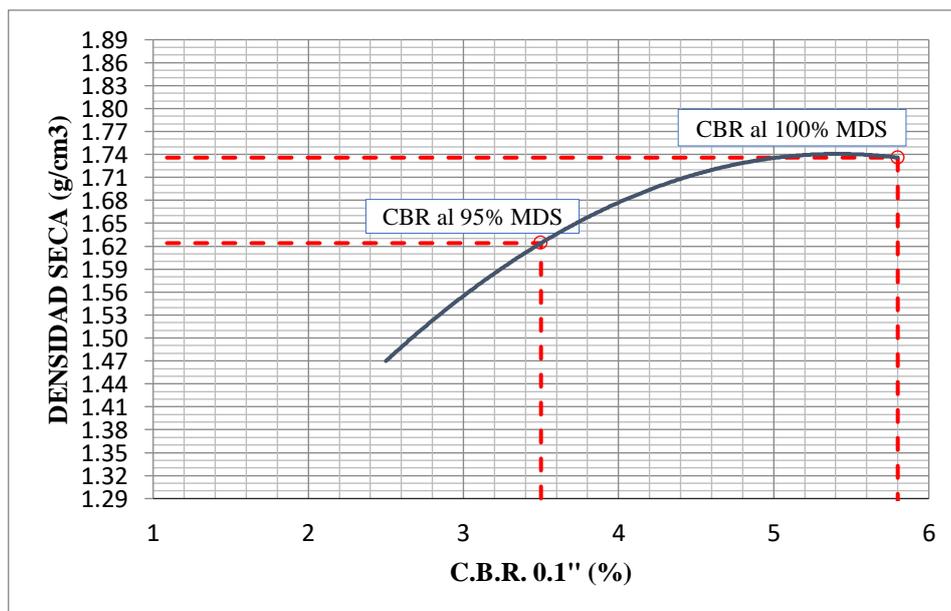
**Figura 34.** Curva del CBR 0.1'' vs densidad seca del patrón de la calicata N°01.

**Tabla 30.** Ensayo de penetración del patrón de la calicata N°02.

PENETRACION						
FACTOR ANILLO: CARGA (Kgf.) = LEC.DIALx4.2491345+27.9201						
MOLDE	1 ( 56 GOLPES)		2 ( 25 GOLPES)		3 (12 GOLPES)	
PEN.(mm)	LEC. DIAL	CARGA (Kgf.)	LEC. DIAL	CARGA (Kgf.)	LEC. DIAL	CARGA (Kgf.)
0.000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00
0.635	2.0	36.4	1.0	32.2	0.0	27.9
1.270	5.0	49.17	2.0	36.4	0.5	30.0
1.905	8.0	61.9	3.0	40.7	1.0	32.2
2.540	11.0	74.7	4.0	44.9	1.5	34.3
3.810	14.0	87.4	5.0	49.2	2.0	36.4
5.080	17.0	100.2	6.0	53.4	2.5	38.5
6.350	20.0	112.9	7.0	57.7	3.0	40.7
7.620	23.0	125.7	8.0	61.9	3.5	42.8
10.160	26.0	138.4	9.0	66.2	4.0	44.9
12.700	29.0	151.1	10.0	70.4	4.5	47.0
<b>CARGA (%)</b>	<b>74.7 Kgf. (%)</b>		<b>44.9 Kgf. (%)</b>		<b>34.3 Kgf. (%)</b>	

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 35 se observa el cbr a 0.1''; donde el CBR al 100%, 95% y 90% tienen valores de 5.10%, 3.5% y 2.9% respectivamente; por tanto, según el manual del MTC se clasifica como la sub rasante malo.



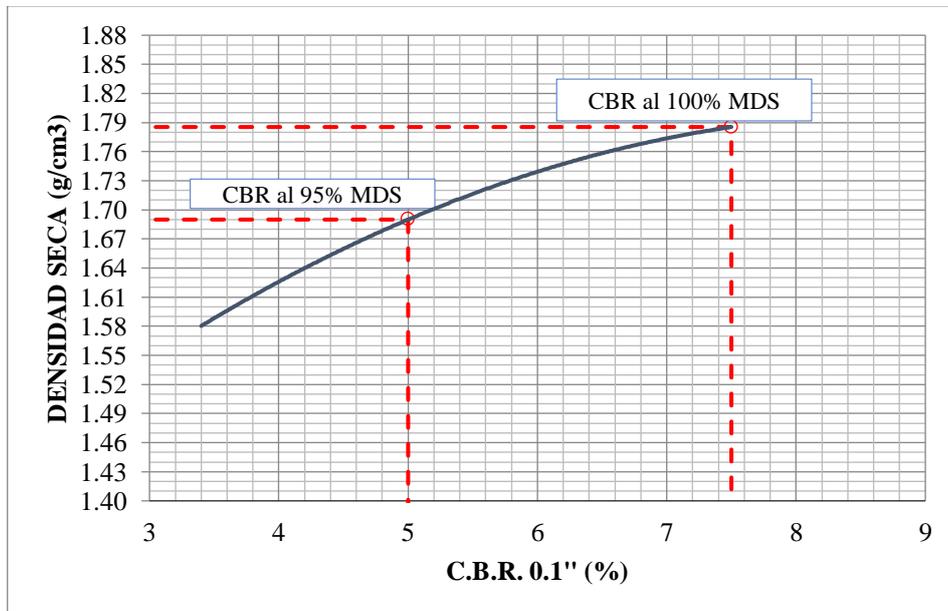
**Figura 35.** Curva del CBR 0.1'' vs densidad seca del patrón de la calicata N°02.

**Tabla 31.** Ensayo de penetración del patrón de la calicata N°03.

PENETRACION						
FACTOR ANILLO: CARGA (Kgf.) = LEC.DIALx4.2491345+27.9201						
MOLDE	1 ( 56 GOLPES)		2 ( 25 GOLPES)		3 (12 GOLPES)	
PEN.(mm)	LEC. DIAL	CARGA (Kgf.)	LEC. DIAL	CARGA (Kgf.)	LEC. DIAL	CARGA (Kgf.)
0.000	0	0.0	0	0.0	0	0.00
0.635	4	44.9	3	40.7	1	32.2
1.270	8	61.91	4	44.9	2	36.4
1.905	12	78.9	6	53.4	3	40.7
2.540	16	95.9	8	61.9	4	44.9
3.810	20	112.9	10	70.4	5	49.2
5.080	24	129.9	12	78.9	6	53.4
6.350	28	146.9	14	87.4	7	57.7
7.620	32	163.9	16	95.9	8	61.9
10.160	36	180.9	18	104.4	9	66.2
12.700	40	197.9	20	112.9	10	70.4
<b>CARGA (%)</b>	<b>95.9 Kgf. (%)</b>		<b>61.9 Kgf. (%)</b>		<b>44.9 Kgf. (%)</b>	

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 36 se observa el cbr a 0.1''; donde el CBR al 100%, 95% y 90% tienen valores de 7.5%, 5.0% y 3.4% respectivamente; por tanto, según el manual del MTC el cbr al 100% se clasifica como la sub rasante regular mientras que al 95% y 90% se clasifican como la subrasante mala.



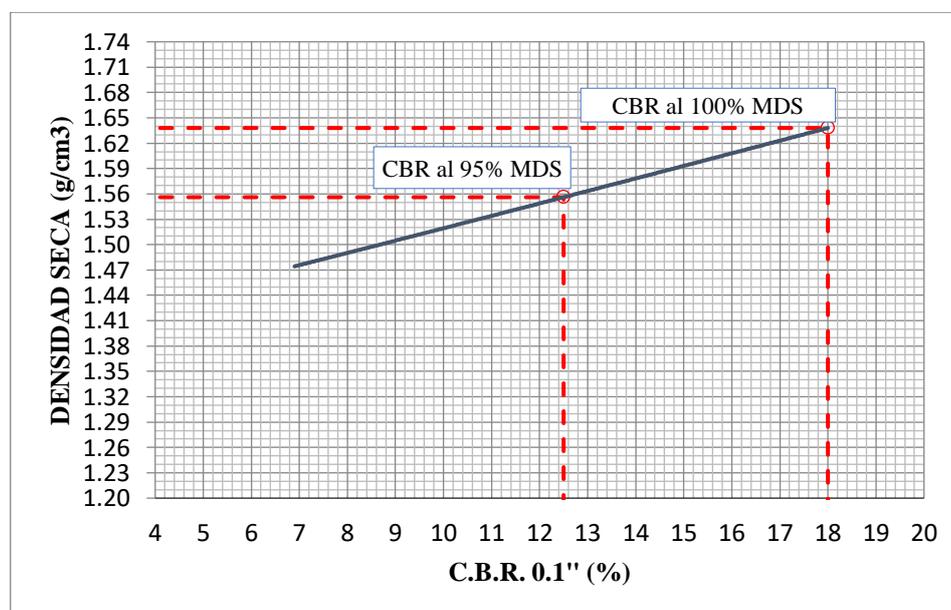
**Figura 36.** Curva del CBR 0.1'' vs densidad seca del patrón de la calicata N°03.

**Tabla 32.** Ensayo de penetración del experimental de la calicata N 01.

PENETRACION						
FACTOR ANILLO: CARGA (Kgf.) = LEC.DIALx4.2491345+27.9201						
MOLDE	1 ( 56 GOLPES)		2 ( 25 GOLPES)		3 (12 GOLPES)	
PEN.(mm)	LEC. DIAL	CARGA (Kgf.)	LEC. DIAL	CARGA (Kgf.)	LEC. DIAL	CARGA (Kgf.)
0.000	0	0.0	0	0.0	0	0.00
0.635	7	57.7	4	44.9	3	40.7
1.270	15	91.66	8	61.9	6	53.4
1.905	29	151.1	16	95.9	10	70.4
2.540	45	219.1	24	129.9	13	83.2
3.810	61	287.1	31	159.6	17	100.2
5.080	74	342.4	40	197.9	20	112.9
6.350	86	393.3	47	227.6	23	125.7
7.620	100	452.8	56	265.9	28	146.9
10.160	115	516.6	64	299.9	31	159.6
12.700	129	576.1	75	346.6	35	176.6
<b>CARGA (%)</b>	<b>219.1</b>	<b>Kgf. (%)</b>	<b>129.9</b>	<b>Kgf. (%)</b>	<b>83.2</b>	<b>Kgf. (%)</b>

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 37 se observa el cbr a 0.1''; donde el CBR al 100%, 95% y 90% tienen valores de 18%, 12.1% y 6.9% respectivamente; por tanto, según el manual del MTC el cbr al 100% y 95% se clasifican como la sub rasante Bueno mientras que al 90% se clasifican como la subrasante regular.



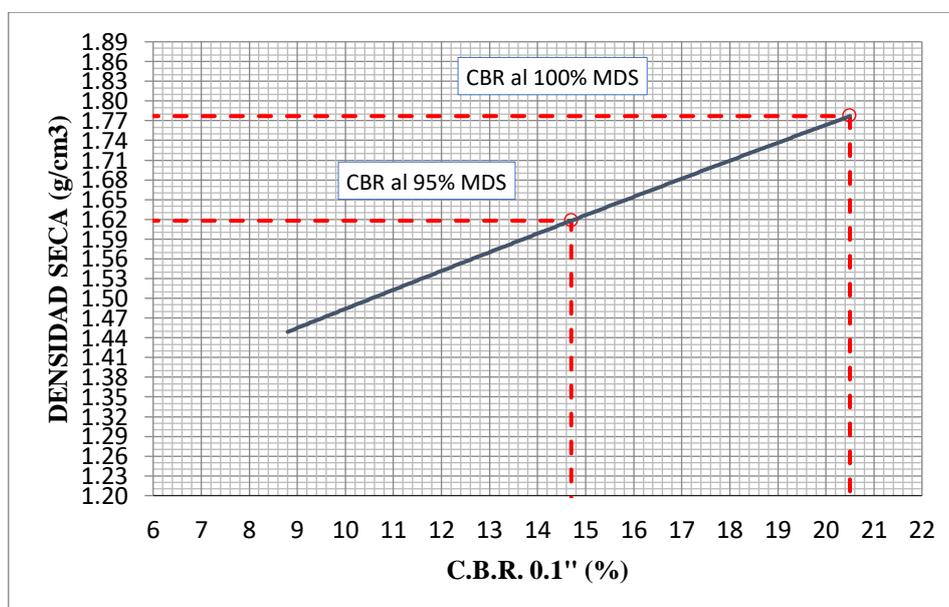
**Figura 37.** Curva del CBR 0.1'' vs densidad seca del experimental de la calicata N°01

**Tabla 33.** Ensayo de penetración del experimental de la calicata N 02.

PENETRACION						
FACTOR ANILLO: CARGA (Kgf.) = LEC.DIALx4.2491345+27.9201						
MOLDE	1 ( 56 GOLPES)		2 ( 25 GOLPES)		3 (12 GOLPES)	
PEN.(mm)	LEC. DIAL	CARGA (Kgf.)	LEC. DIAL	CARGA (Kgf.)	LEC. DIAL	CARGA (Kgf.)
0.000	0	0.0	0	0.0	0	0.00
0.635	9	66.2	6	53.4	3	40.7
1.270	18	104.40	10	70.4	6	53.4
1.905	37	185.1	21	117.2	12	78.9
2.540	52	248.9	32	163.9	18	104.4
3.810	68	316.9	40	197.9	24	129.9
5.080	87	397.6	51	244.6	30	155.4
6.350	105	474.1	62	291.4	36	180.9
7.620	125	559.1	72	333.9	42	206.4
10.160	144	639.8	82	376.3	48	231.9
12.700	162	716.3	93	423.1	54	257.4
<b>CARGA (%)</b>	<b>248.9</b>	<b>Kgf. (%)</b>	<b>163.9</b>	<b>Kgf. (%)</b>	<b>104.4</b>	<b>Kgf. (%)</b>

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 38 se observa el cbr a 0.1''; donde el CBR al 100%, 95% y 90% tienen valores de 20.5%, 14.7% y 8.8% respectivamente; por tanto, según el manual del MTC el cbr al 100% se clasifican como la sub rasante Muy Bueno, al 95% subrasante bueno y al 90% se clasifican como la subrasante regular.



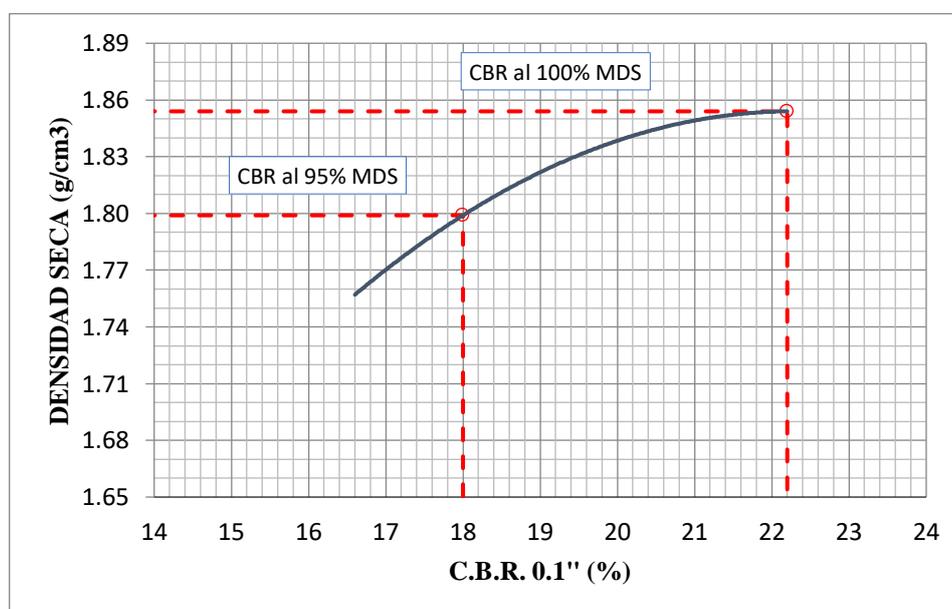
**Figura 38.** Curva del CBR 0.1'' vs densidad seca del experimental de la calicata N°02.

**Tabla 34.** Ensayo de penetración del experimental de la calicata N 03.

PENETRACION						
FACTOR ANILLO: CARGA (Kgf.) = LEC.DIALx4.2491345+27.9201						
MOLDE	1 ( 56 GOLPES)		2 ( 25 GOLPES)		3 (12 GOLPES)	
PEN.(mm)	LEC. DIAL	CARGA (Kgf.)	LEC. DIAL	CARGA (Kgf.)	LEC. DIAL	CARGA (Kgf.)
0.000	0	0.0	0	0.0	0	0.00
0.635	11	74.7	8	61.9	6	53.4
1.270	20	112.90	16	95.9	12	78.9
1.905	39	193.6	32	163.9	25	134.1
2.540	58	274.4	48	231.9	38	189.4
3.810	79	363.6	65	304.1	51	244.6
5.080	98	444.3	81	372.1	64	299.9
6.350	117	525.1	97	440.1	77	355.1
7.620	135	601.6	113	508.1	90	410.3
10.160	154	682.3	129	576.1	103	465.6
12.700	174	767.3	145	644.0	116	520.8
<b>CARGA (%)</b>	<b>274.4 Kgf. (%)</b>		<b>231.9 Kgf. (%)</b>		<b>189.4 Kgf. (%)</b>	

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 39 se observa el cbr a 0.1''; donde el CBR al 100%, 95% y 90% tienen valores de 22.2%, 21.9% y 16.6% respectivamente; por tanto, según el manual del MTC el cbr al 100% y 95% se clasifican como la sub rasante Muy Bueno, mientras que al 90% se clasifica como la subrasante bueno.



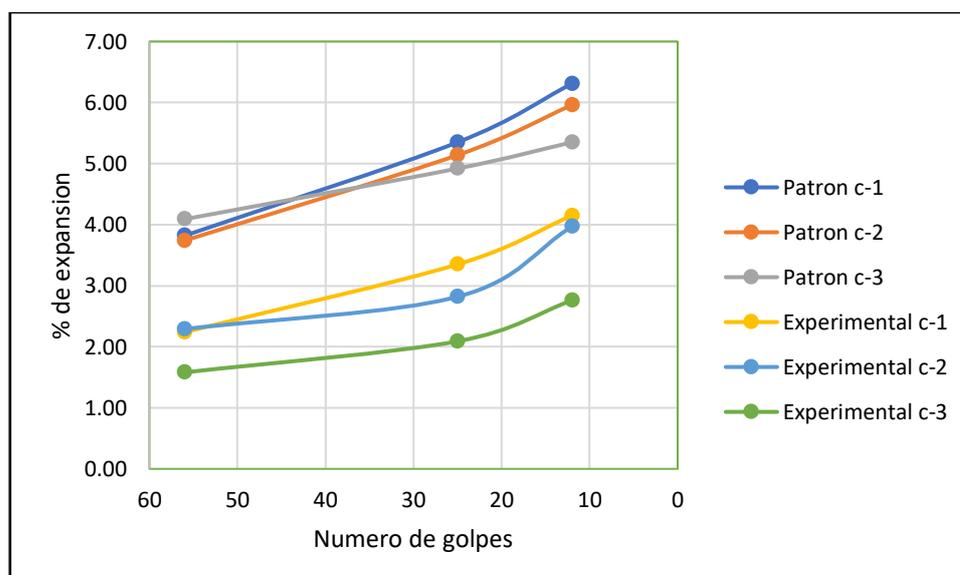
**Figura 39.** Curva del CBR 0.1'' vs densidad seca del experimental de la calicata N°03.

**Tabla 35.** Porcentaje de expansión de las muestras ensayadas respecto a la altura inicial antes de la saturación.

Descripción	% de expansión		
	#1 (56 golpes)	#2 (25 golpes)	#3 (12 golpes)
Suelo natural de la calicata N°01	3.82	5.35	6.31
Suelo natural de la calicata N°02	3.74	5.14	5.96
Suelo natural de la calicata N°03	4.09	4.92	5.35
Mezcla del suelo + 5% de ceniza de hojas de pino y 10% ceniza de marucha de la calicata N°1	2.24	3.35	4.15
Mezcla del suelo + 5% de ceniza de hojas de pino y 10% ceniza de marucha de la calicata N°2	2.29	2.82	3.97
Mezcla del suelo + 5% de ceniza de hojas de pino y 10% ceniza de marucha de la calicata N°3	1.58	2.09	2.76

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 40 se observa el comportamiento de la expansión de las muestras ensayadas tanto del suelo natural como de la muestra al ser adicionada con la ceniza de hojas de pino y ceniza de marucha; se observa que el suelo natural tiene mayor expansión que al ser combinado con las cenizas. La mezcla del suelo con las cenizas tiene menor expansión respecto al suelo natural donde las cenizas proporcionan partículas finas sin plasticidad por lo cual esto hace que disminuya su expansión.



**Figura 40.** Porcentaje de la expansión de las muestras ensayadas respecto a la altura antes de la saturación.

#### IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

En este capítulo se analiza cada uno de los resultados obtenidos de los ensayos realizados para determinar la capacidad de soporte del suelo en sus diferentes tipos de suelos.

La calicata 1 según el AASHTO es un suelo A-7-5 (suelo arcilloso), según el SUC es un suelo arcilloso de alta plasticidad y su color es marrón oscuro; la calicata 2 según el AASHTO es un suelo A-7-5 (suelo arcilloso), según el SUC es un suelo limoso de alta plasticidad y su color es amarillo claro y la calicata 3 según el AASHTO es un suelo A-6 (suelo arcilloso), según el SUC es un suelo arcilloso de media plasticidad y su color es amarillo.

Según los resultados de la ceniza de hojas de pino se puede decir que dependen mucho del equipo que se emplea para determinar la composición química de los elementos, para esta investigación las cenizas de hojas de pino fueron ensayados en la universidad nacional de ingeniería en la ciudad de lima con el equipo de Espectrometría de fluorescencia de Rayos X en cambio el cuadro de composición química en referencia de **Sánchez** (2018) que fue utilizado para su “resistencia de un concreto  $f'_c=210$  kg/cm<sup>2</sup> con sustitución de cemento en 4% y 7% por cenizas de hojas de pino” fue ensayada con el equipo de espectroscopia de energía dispersiva (EDS), por esta razón notamos que los resultados expresados en óxidos son totalmente diferentes por lo que algunos elementos suben y otras suelen a bajar considerablemente.

El pH de la ceniza de hojas de pino que fueron activadas en una temperatura de 380 °C fue 11.77 y la ceniza de marucha a los 800°C obtuvo un pH 13.09, por otro lado, la mezcla de la ceniza con el suelo natural se obtuvieron resultados mayores de 7 donde esto quiere decir que los materiales utilizados para esta investigación son alcalinos.

La ceniza de hojas de pino y la ceniza de marucha para la adición al suelo natural fueron partículas pequeñas pasados por la malla #200, llegando a ocupar las áreas más pequeñas y por la hidratación del calcio reduce la humedad respecto al suelo natural, llegando a disminuir en 3.0% la C1, 4.7% la C2 y 4.1% la C3 respecto al patrón y a la

vez aumentando su densidad seca en 2.20% de la C1, 2.17% de la C2 y 3.28% de la C3.

Los valores del CBR en 0.1” en su máxima densidad seca al 100%, tiene como resultados los siguientes valores del patrón de la calicata 01 es 5.10 %, calicata 02 es 5.80 % y la calicata 03 es 7.50 %, mientras que los valores de CBR del experimental es 18.00 % de la calicata 01, 20.50 % de la calicata 02 y 22.20 % de la calicata 03. Según Falen & Cubas (2016) en su investigación “Evaluación de las cenizas de carbón para la estabilización de suelos mediante activación alcalina y aplicación en carreteras no pavimentadas” nos dicen que al utilizar la ceniza de carbón en un suelo arcilloso mejora la capacidad de soporte por que la ceniza de carbón es un material cementante por lo que posee óxido de silicio, mientras que Espinoza & Honores (2018) en su investigación “Estabilización de suelos arcillosos con conchas de abanico y cenizas de carbón con fines de pavimentación” llegan a concluir que al adicionar en mayores porcentajes la ceniza de concha de abanico y ceniza de carbón ayuda estabilizar el suelo; Por lo tanto, el porcentaje del CBR experimental de esta investigación aumentó en 12.9 % la calicata 01, 14.7% la calicata 02 y 14.7% la calicata 03 respecto a los valores del CBR patrón, porque las cenizas empleadas a esta investigación contiene un valor alto de óxido de calcio y oxido de silicio que son materiales cementantes al mezclarse con el agua.

Los valores del CBR patrón de la calicata 1 y 2 son menores a 6% y se clasifica como la “SUBRASANTE POBRE”, mientras que el valor del cbr patrón de la calicata 03 esta entre 6% y 10%, por tanto, se clasifica como la Subrasante “REGULAR”. El valor del CBR experimental de la calicata 01 esta entre 10% y 20%, por tanto, se clasifica como la Subrasante “BUENO”, mientras que los valores del CBR experimental de la calicata 02 y 03 están entre 20% y 30% y se clasifica como la subrasante “MUY BUENO”.

Los resultados obtenidos de la expansión después de sumergir las 96 horas y tomando como base la altura inicial antes de sumergir tenemos los siguientes porcentajes de disminución; la C-1 el 1.58%, C-2 el 1.45% y el C-3 es 2.51%.

## V. CONCLUSIONES

La ceniza de hojas de pino y la ceniza de marucha según su pH son materiales alcalinos por lo que presentan valores mayores de 7 y estos materiales al ser adicionado a los suelos arcillosos disminuyen su índice de plasticidad.

Se cumplió la hipótesis planteada inicialmente porque la resistencia del suelo de la carretera del centro poblado de Chinchobamba al ser adicionada en 5% de ceniza de hojas de pino y 10% de ceniza de marucha aumento su resistencia en un promedio de 14.10% respecto al suelo natural.

Respecto a los resultados del CBR del suelo estabilizado ha mejorado sus propiedades del suelo natural y basándonos en el Manual de Carreteras –“Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos” los suelos que tienen valores del CBR entre 10 y 20 son considerados como la sub rasante “BUENA” y de 20 a 30 son subrasante “MUY BUENA”.

## VI. RECOMEDACIONES

Habiendo trabajado con los porcentajes de 5% de ceniza de hojas de pino y 10% ceniza de marucha mis resultados fueron aceptables, se recomienda que se haga nuevos análisis con otros porcentajes.

Recolectar las hojas de pino en época de verano porque esto es un factor muy importante para la composición química del material.

Promover y profundizar la investigación ya que no cuenta con antecedentes en la región, donde esto puede servir en el futuro como un material estabilizador para sub bases o bases de las pavimentaciones.

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Berrú, P., & Uribe, R. (2014). Sinopsis biológico-pesquera de la marucha *Donax obesulus* Reeve, 1854 en el litoral de Áncash (bahía Samanco), 2001-2009. *IMARPE*. Recuperado el 22 de febrero del 2020 de <http://biblioimarpe.imarpe.gob.pe/handle/123456789/2318>
- Braja, D. (2001). *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica (4ta Ed.)*. México: International Thomson Editores S.A.
- Braja, D. (2013). *Fundamentos de ingeniería geotécnica (2da Ed.)*. Mexico: International Thomson Editores, S.A.
- Cordero, E., & Orea, U. (2004). *La composición química del follaje*. Cuba: recuperado de <https://www.monografias.com/trabajos15/composicion-follaje/composicion-follaje.shtml>.
- Crespo, C. (2004). *Mecánica de Suelos y Cimentaciones*. Mexico: Editorial Limusa S.A.
- Díaz, A. (2015). *Manual de procedimientos de ensayos de suelos y memoria de cálculo (Trabajo de Grado)*. Bogotá: Recuperado de <https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/6239/MANUAL%20DE%20PROCEDIMIENTOS%20DE%20ENSAYOS%20DE%20SUELOS.pdf?sequence=1>.
- Espinoza, T., & Honores, G. (2018). *Estabilización de suelos arcillosos con conchas de abanico y cenizas de carbón con fines de pavimentación (Tesis para obtener el título profesional)*. Chimbote: Recuperado de <http://repositorio.uns.edu.pe/handle/UNS/3349>.
- Falen, J., & Cubas, K. (2016). *Evaluación de las cenizas de carbón para la estabilización de suelos mediante activación alcalina y aplicación en carreteras no pavimentadas (Tesis de Grado)*. Pimentel: Recuperado de <http://repositorio.uss.edu.pe/handle/uss/3134>.

- INDECI. (26 de Enero de 2017). *Boletín Estadísticos Virtual de la Gestión Reactiva*. (P. 21, Productor) Obtenido de <https://peru21.pe/lima/huaicos-peru-130-kilometros-carreteras-afectadas-momento-65409-noticia/>
- Morales, D. (2015). *Valoración de las cenizas de carbón para la estabilización de suelos mediante activación alcalina y su uso en vías no pavimentadas (Tesis para obtener título profesional)*. Medellín: Recuperado de <https://repository.udem.edu.co/handle/11407/1236>.
- MTC. (2013). *Manual de carreteras "Suelos, geología, geotecnia y pavimentos"*. Lima: Biblioteca Nacional.
- MTC. (2016). *Manual de ensayo de materiales*. Lima: Biblioteca Nacional.
- Omil, B. (2007). *Gestión de cenizas como fertilizante y enmendante (Tesis para obtener el doctorado)*. Lugo: Recuperado de [https://minerva.usc.es/xmlui/bitstream/handle/10347/2374/9788497509640\\_content;jsessionid=00CF4470D09A07074A4A14901E1A1EBC?sequence=1](https://minerva.usc.es/xmlui/bitstream/handle/10347/2374/9788497509640_content;jsessionid=00CF4470D09A07074A4A14901E1A1EBC?sequence=1).
- Quezada, S. (2017). *Estudio comparativo de la estabilización de suelos arcillosos con valvas de moluscos para pavimentación*. Piura.
- Quiroga, A., & Bono, A. (2012). *Manual de fertilidad y evaluación de suelos*. Argentina: EEA INTA Anguil.
- Ramirez, J. (2003). *Efecto de la fertilización en las plantaciones de pinus radiata en lasso-COTOPAXI (Tesis para obtener el título profesional)*. Recuperado de <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/2039>.
- RNE. (2017). *Reglamento Nacional de Edificaciones*. Lima: Megabyte S.A.C.
- Sánchez, H. (2018). *Resistencia de un concreto  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$  con sustitución de cemento en 4% y 7% por cenizas de hojas de pino "pinus" (Tesis para obtener el título profesional)*. Chimbote-Perú.

SERFOR. (2016). Servicio nacional forestal y de fauna silvestre - SERFOR. *Estado situacional de los viveros forestales en los departamentos de Ancash, Junín, Pasco, Huánuco y Ucayali*, 16-18.

Tiviano, E. (2017). *Análisis comparativo de la resistencia al corte y estabilización de suelos arenosos finos y arcillosos combinados con ceniza de carbón*. Ecuador.

## **VIII. AGRADECIMIENTO**

Primero agradecer a Dios por darme una vida saludable, por iluminarme y darme muchas bendiciones para poder lograr uno de mis grandes anhelos.

Segundo agradecer a mi asesor ing. Segundo Urrutia Vargas por brindarme su apoyo y comprensión durante el desarrollo de mi investigación.

Tercero, agradecer a mi familia y amigos por apoyarme incondicionalmente en esta etapa de mi vida.

## IX. ANEXOS Y APENDICES

### PANEL FOTOGRÁFICO



**Figura 41.** Vista panorámica del tramo en estudio.



**Figura 43.** Visualización de las capas de la calicata 01.



**Figura 42.** Ubicación de la calicata 01 en la progresiva 0+000 km.



**Figura 44.** Ubicación de la calicata 02 en la progresiva 1+000.



**Figura 45.** Visualización de las capas de la calicata 02.



**Figura 47.** Visualización de las capas de la calicata 03.



**Figura 46.** Ubicación de la calicata 03 en la progresiva 2+000.



**Figura 48.** Secado de las muestras alteradas.



**Figura 49.** Recolección de las hojas de pino.



**Figura 51.** Pre-calcinación de las hojas de pino en la olla de barro.



**Figura 50.** secado de las hojas de pino a temperatura del medio ambiente.



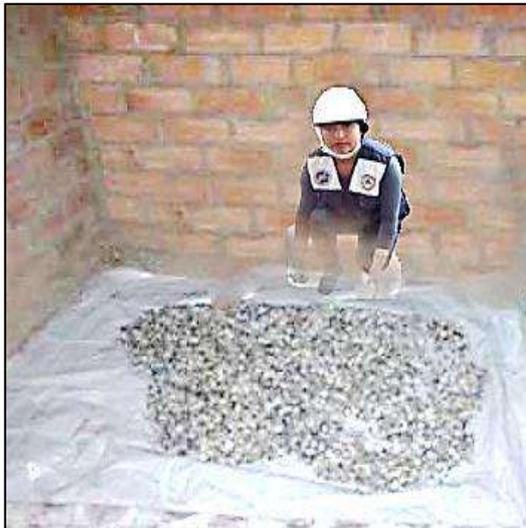
**Figura 52.** Calcinación de las hojas de pino precalcinadas en el horno a una temperatura de 410°C.



**Figura 53.** Recolección de las maruchas del puerto de Chimbote.



**Figura 55.** Calcinación de las maruchas en el horno a una temperatura de 890°C.



**Figura 54.** Secado de las maruchas en la sombra.



**Figura 56.** Cuarteo de las muestras alteradas para el ensayo de granulometría y contenido de humedad.



**Figura 57.** Pesado de las muestras para el ensayo de granulometría.



**Figura 59.** Secado de la muestra lavada en el horno durante 24 horas.



**Figura 58.** lavado de la muestra por la malla #200 para el ensayo de granulometría.



**Figura 60.** tamizado de la muestra en estado seco para el ensayo de granulometría.



**Figura 61.** pesado de la muestra para el ensayo de contenido de humedad.



**Figura 63.** tamizado de la muestra por la malla #4 para el ensayo de límites de atterberg.



**Figura 62.** Sacado de la muestra después de 24 horas de secado para luego ser pesado en estado seco.



**Figura 64.** mezclado de la muestra con agua para el ensayo de limite líquido y limite plástico.



**Figura 65.** ensayo de limite liquido en la copa Casagrande.



**Figura 67.** pesado de las muestras del límite líquido y plástico, antes y después del secado en el horno.



**Figura 66.** formación de la barra para el ensayo limite plástico



**Figura 68.** Trituración de los materiales para el ensayo del ATD.



**Figura 69.** tamizado del material triturado por la malla #200 para el ensayo de ATD.



**Figura 71.** Tamizado de las cenizas por la malla #200 para el ensayo de Fluorescencia.



**Figura 70.** Pesado del material tamizado para el ensayo del ATD.



**Figura 72.** Pesado de la muestra total para el ensayo del proctor modificado y CBR.



**Figura 73.** tamizado del material por la malla #4 para el ensayo de proctor modificado y CBR.



**Figura 75.** tamizado de la mezcla por la malla #4 para homogenizar el material.



**Figura 74.** Pesado de la muestra para el ensayo de proctor modificado.



**Figura 76.** separación de la mezcla en 5 partes iguales.



**Figura 77.** compactación del proctor modificado.



**Figura 79.** mezclado del suelo con las cenizas en estado seco.



**Figura 78.** cuarteado de las muestras para los ensayos experimentales.



**Figura 80.** compactación del CBR.



**Figura 81.** lectura de la altura de expansión.



**Figura 83.** ensayo de penetración.



**Figura 82.** escurrimiento de las probetas durante 15 min. antes del ensayo de penetración.



**CONTENIDO DE HUMEDAD**

(ASTM D-2216)

**SOLICITA** : BACH.MORI ROSALES CLEDY ROXANA  
**PROYECTO** : CAPACIDAD DE SOPORTE DEL SUELO DE LA CARRETERA DEL CENTRO POBLADO DE CHINCHOBAMBA -SIHUAS CON LA ADICION DE 5% DE CENIZA DE HOJAS DE PINO Y 10% DE CENIZA DE MARUCHA (DONAX OBESULUS)  
**MATERIAL** : C-1 - C-2 Y C-3  
**LUGAR** : SIHUAS - SANTA - ANCASH  
**FECHA** : 05/03/2020

ENSAYO N°	C-1	C-2	C-3
Peso de tara + MH	478.00	626.50	641.50
Peso de tara + MS	423.00	581.00	595.50
Peso de tara	64.00	65.00	62.00
Peso del agua	55.00	45.50	46.00
MS	359.00	516.00	533.50
Contenido de humedad (%)	15.32	8.82	8.62

**NOTA** : La muestra fue traída y realizado por el interesado en este Laboratorio.



UNIVERSIDAD SAN PEDRO  
FACULTAD DE INGENIERIA  
Lab. Mecánica de Suelos y Ensayo de Materiales

**Mg. Miguel Solár Jara**  
JEFE



**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO  
(ASTM D422)**

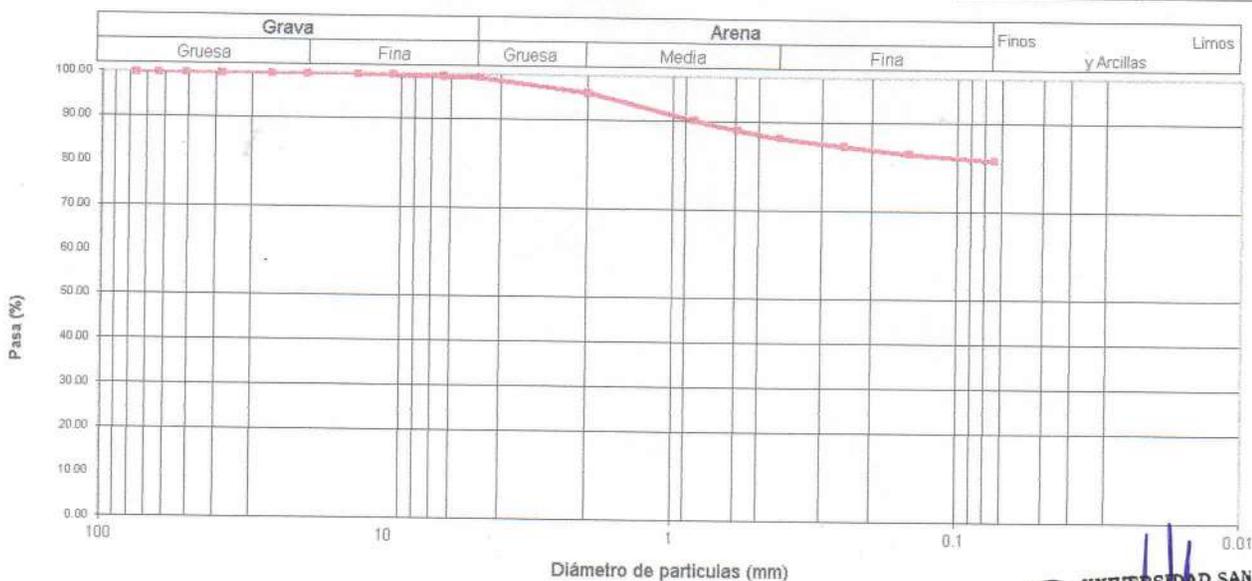
SOLICITA : BACH.MORI ROSALES CLEDY ROXANA  
 TESIS : CAPACIDAD DE SOPORTE DEL SUELO DE LA CARRETERA DEL CENTRO POBLADO DE CHINCHOBAMBA -SIHUAS  
 CON LA ADICION DE 5% DE CENIZA DE HOJAS DE PINO Y 10% DE CENIZA DE MARUCHA (DONAX OBESULUS)  
 LUGAR : SIHUAS - SANTA - ANCASH  
 FECHA : 05/03/2020

Peso Seco Inicial	450	gr.
Peso Seco Lavado	82.5	gr.
Peso perdido por lavado	367.5	gr.

CALICATA : 1
MUESTRA : M - 1
PROF: 1.50

Tamiz(Apertura)	Peso Retenido(gr.)	Retenido Parcial(%)	Retenido Acumulado(%)	Pasante (%)	Clasificació AASHTO
Nº 2 1/2" (76.20)	0.0	0.0	0.0	100.0	Material limoso-arenoso Pobre a malo como subgrado A-7-5 Suelo arcilloso
2" (50.80)	0.0	0.0	0.0	100.0	
1 1/2" (37.50)	0.0	0.0	0.0	100.0	
1" (22.50)	0.0	0.0	0.0	100.0	
3/4" (19.00)	0.0	0.0	0.0	100.0	
1/2" (12.50)	0.0	0.0	0.0	100.0	
3/8" (9.50)	0.4	0.1	0.1	99.9	Valor del índice de grupo (IG): 40 Clasificación (S.U.C.S.) Suelo de partículas finas. Arcilla alta plasticidad con arena CH
1/4" (6.30)	1.6	0.4	0.4	99.6	
Nº 4 (4.75)	1.1	0.3	0.7	99.3	Pasa tamiz Nº 4 (%) : 99.3
Nº 10 (2.00)	13.5	3.0	3.7	96.3	Pasa tamiz Nº 200 (%) : 81.7
Nº 20 (0.850)	27.2	6.0	9.7	90.3	D60 (mm) :
Nº 30 (0.600)	9.2	2.1	11.8	88.2	D30 (mm) :
Nº 40 (0.425)	7.9	1.8	13.5	86.5	D10 (mm) :
Nº 60 (0.250)	7.9	1.7	15.3	84.7	Cu
Nº 100 (0.150)	7.5	1.7	16.9	83.1	Cc
Nº 200 (0.075)	6.3	1.4	18.3	81.7	Limite líquido LL : 76.25
< 200	367.5	81.7	100.0	0.0	Limite plástico LP : 33.33
Total	450.0			100.0	Índice plasticidad IP : 42.92

**CURVA GRANULOMÉTRICA**



UNIVERSIDAD SAN PEDRO  
 FACULTAD DE INGENIERÍA  
 Lab. Mecánica de Suelos y Ensayo de Materiales  
**Mg. Miguel Solar Jara**  
 JEFE



**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO  
(ASTM D422)**

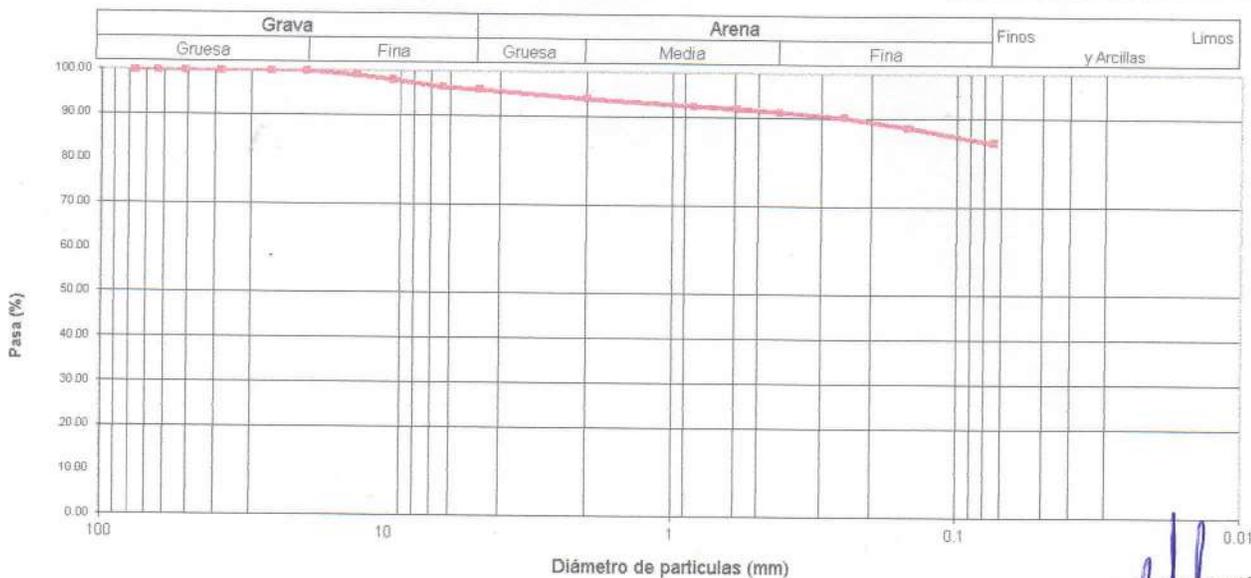
SOLICITA : BACH.MORI ROSALES CLEDY ROXANA  
 TESIS : CAPACIDAD DE SOPORTE DEL SUELO DE LA CARRETERA DEL CENTRO POBLADO DE CHINCHOBAMBA -SIHUAS  
 CON LA ADICION DE 5% DE CENIZA DE HOJAS DE PINO Y 10% DE CENIZA DE MARUCHA (DONAX OBESULUS)  
 LUGAR : SIHUAS - SANTA - ANCASH  
 FECHA : 05/03/2020

Peso Seco Inicial	450	gr.
Peso Seco Lavado	69.3	gr.
Peso perdido por lavado	380.8	gr.

CALICATA : 2
MUESTRA : M - 1
PROF: 1.50

Tamiz(Apertura)		Peso Retenido(gr.)	Retenido Parcial(%)	Retenido Acumulado(%)	Pasante (%)	Clasificació AASTO
Nº	(mm)					
2 1/2"	76.20	0.0	0.0	0.0	100.0	Material limoso-arenoso Pobre a malo como subgrado A-7-5 Suelo arcilloso
2"	50.80	0.0	0.0	0.0	100.0	
1 1/2"	37.50	0.0	0.0	0.0	100.0	
1"	22.50	0.0	0.0	0.0	100.0	
3/4"	19.00	0.0	0.0	0.0	100.0	
1/2"	12.50	3.8	0.9	0.9	99.1	Valor del Índice de grupo (IG): 21
3/8"	9.50	4.5	1.0	1.8	98.2	Clasificación (S.U.C.S.)
1/4"	6.30	7.0	1.6	3.4	96.6	Suelo de partículas finas.
Nº 4	4.75	2.2	0.5	3.9	96.1	Limo alta plasticidad con arena MH
Nº 10	2.00	8.9	2.0	5.9	94.1	Pasa tamiz Nº 4 (%) : 96.1
Nº 20	0.850	6.7	1.5	7.4	92.6	Pasa tamiz Nº 200 (%) : 84.6
Nº 30	0.600	2.6	0.6	7.9	92.1	D60 (mm) :
Nº 40	0.425	2.9	0.6	8.6	91.4	D30 (mm) :
Nº 60	0.250	5.1	1.1	9.7	90.3	D10 (mm) :
Nº 100	0.150	10.2	2.3	12.0	88.0	Cu
Nº 200	0.075	15.3	3.4	15.4	84.6	Cc
< 200		380.8	84.6	100.0	0.0	Limite líquido LL : 52.9
Total		450.0			100.0	Limite plástico LP : 31.03
						Índice plasticidad IP : 21.87

**CURVA GRANULOMÉTRICA**



UNIVERSIDAD SAN PEDRO  
 FACULTAD DE INGENIERIA  
 Lab. Mecánica de Suelos y Ensayo de Materiales  
**Mg. Miguel Solar Jara**  
 JEFE



**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO  
(ASTM D422)**

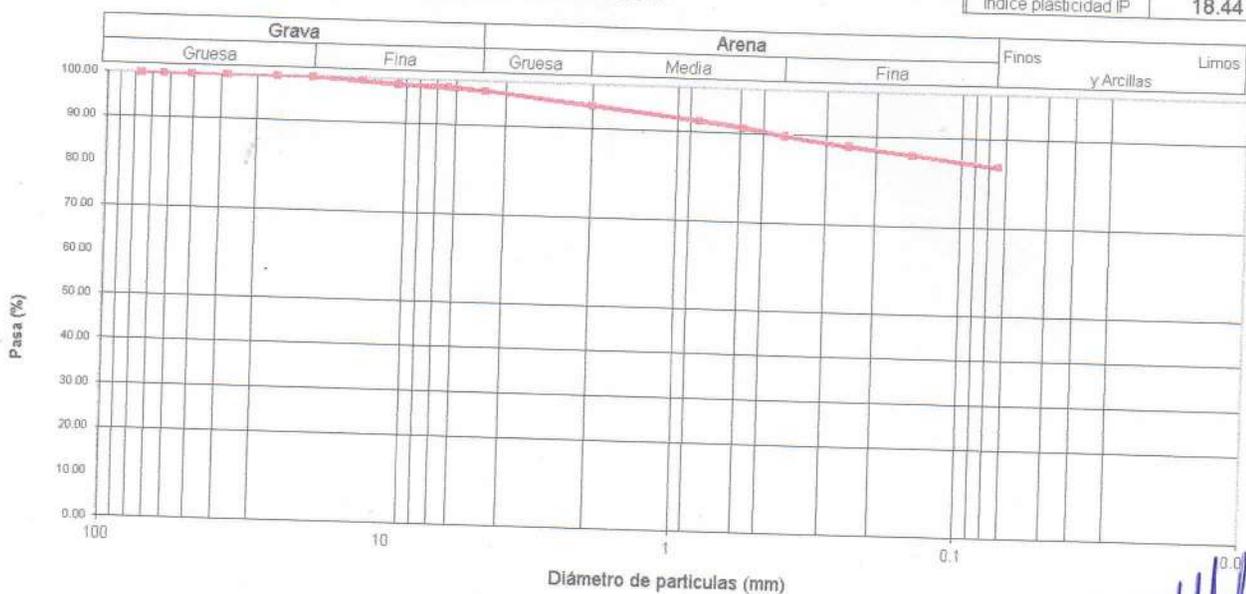
SOLICITA : BACH.MORI ROSALES CLEDY ROXANA  
 TESIS : CAPACIDAD DE SOPORTE DEL SUELO DE LA CARRETERA DEL CENTRO POBLADO DE CHINCHOBAMBA -SIHUAS  
 CON LA ADICION DE 5% DE CENIZA DE HOJAS DE PINO Y 10% DE CENIZA DE MARUCHA (DONAX OBESULUS)  
 LUGAR : SIHUAS - SANTA - ANCASH  
 FECHA : 05/03/2020

Peso Seco Inicial	450	gr.
Peso Seco Lavado	73.0	gr.
Peso perdido por lavado	377.0	gr.

CALICATA : 3
MUESTRA : M - 1
PROF: 1.50

Tamiz(Apertura)		Peso Retenido(gr.)	Retenido Parcial(%)	Retenido Acumulado(%)	Pasante (%)	Clasificació AASHTO
Nº	(mm)					
2 1/2"	76.20	0.0	0.0	0.0	100.0	Material limoso-arenoso Pobre a malo como subgrado A-6 Suelo arcilloso
2"	50.80	0.0	0.0	0.0	100.0	
1 1/2"	37.50	0.0	0.0	0.0	100.0	
1"	22.50	0.0	0.0	0.0	100.0	
3/4"	19.00	0.0	0.0	0.0	100.0	
1/2"	12.50	2.8	0.6	0.6	99.4	
3/8"	9.50	2.6	0.6	1.2	98.8	
1/4"	6.30	1.6	0.4	1.6	98.4	
Nº 4	4.75	2.8	0.6	2.2	97.8	
Nº 10	2.00	11.9	2.6	4.8	95.2	
Nº 20	0.850	11.7	2.6	7.4	92.6	Valor del índice de grupo (IG): 15
Nº 30	0.600	5.6	1.2	8.7	91.3	<b>Clasificación (S.U.C.S.)</b>
Nº 40	0.425	6.7	1.5	10.2	89.8	Suelo de partículas finas.
Nº 60	0.250	8.6	1.9	12.1	87.9	Arcilla media plasticidad con arena CL
Nº 100	0.150	8.2	1.8	13.9	86.1	Pasa tamiz Nº 4 (%) : 97.8
Nº 200	0.075	10.4	2.3	16.2	83.8	Pasa tamiz Nº 200 (%) : 83.8
< 200		377.0	83.8	100.0	0.0	D60 (mm) :
Total		450.0			100.0	D30 (mm) :
						D10 (mm) :
						Cu
						Cc
						Limite líquido LL 37.74
						Limite plástico LP 19.3
						Indice plasticidad IP 18.44

**CURVA GRANULOMÉTRICA**

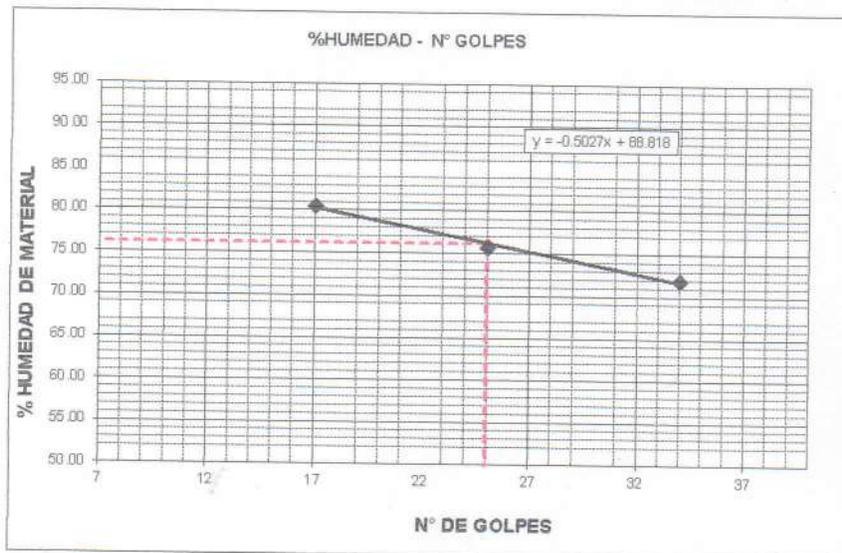




**LIMITE LIQUIDO Y LIMITE PLASTICO**  
(MTC E-110,E-111,ASTM D-4318 y MTC E-110, AASHTO T89, T90)

SOLICITA : BACH.MORI ROSALES CLEDY ROXANA  
 TESIS : APACIDAD DE SOPORTE DEL SUELO DE LA CARRETERA DEL CENTRO POBLADO DE CHINCHOBAMBA -SIHUAS  
 CON LA ADICION DE 5% DE CENIZA DE HOJAS DE PINO Y 10% DE CENIZA DE MARUCHA (DONAX OBESULUS)  
 MUESTRA : SUELO NATURAL CALICATA -1  
 LUGAR : SIHUAS - SANTA - ANCASH  
 FECHA : 05/03/2020

Nro. DE ENSAYO	LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLASTICO		
	1	2	3	1	2	3
PESO TARA + SUELO HUMEDO (gr.)	49.40	43.30	44.20	24.90	24.90	24.90
PESO TARA + SUELO SECO (gr.)	36.30	32.70	32.60	24.10	24.10	24.10
PESO DE LA TARA (gr.)	18.10	18.70	18.20	21.70	21.70	21.70
PESO DEL AGUA (gr.)	13.10	10.60	11.60	0.80	0.80	0.80
PESO SUELO SECO (gr.)	18.20	14.00	14.40	2.40	2.40	2.40
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	71.98	75.71	80.56	33.33	33.33	33.33
Nro. DE GOLPES	34	25	17	33.33		



LIMITE LIQUIDO		
(MTC E-110,ASTM D-4318 y AASHTO T89)		
LL :	%	76.25

LIMITE PLASTICO		
(MTC E-111,ASTM D-4318 y AASHTO T90)		
LP :	%	33.33

INDICE DE PLASTICIDAD		
ASTM D-438		
IP :	%	42.92

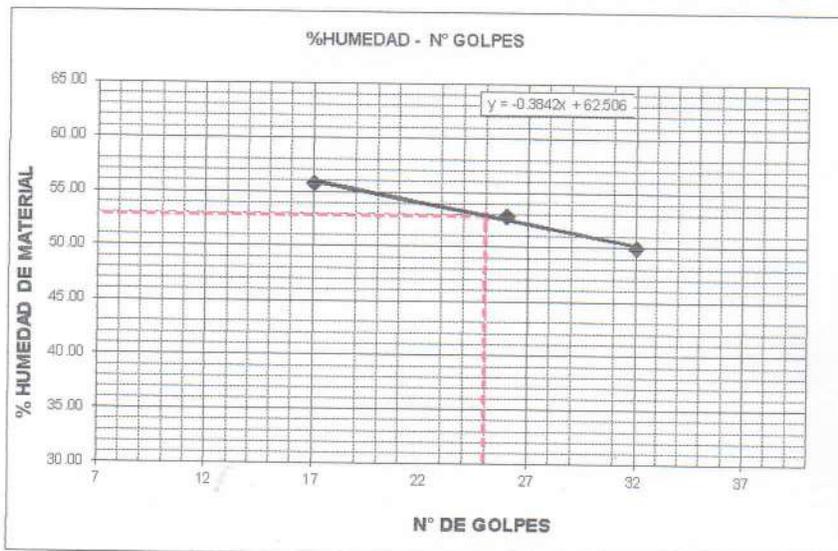
  
 UNIVERSIDAD SAN PEDRO  
 FACULTAD DE INGENIERIA  
 Lab. Mecánica de Suelos y Ensayo de Materiales  
**Mg. Miguel Solar Jara**  
 JEFE



**LIMITE LIQUIDO Y LIMITE PLASTICO**  
(MTC E-110,E-111,ASTM D-4318 y MTC E-110, AASHTO T89, T90)

SOLICITA : BACH.MORI ROSALES CLEDY ROXANA  
 TESIS : APACIDAD DE SOPORTE DEL SUELO DE LA CARRETERA DEL CENTRO POBLADO DE CHINCHOBAMBA -SIHUAS  
 CON LA ADICION DE 5% DE CENIZA DE HOJAS DE PINO Y 10% DE CENIZA DE MARUCHA (DONAX OBESULUS)  
 MUESTRA : SUELO NATURAL CALICATA -2  
 LUGAR : SIHUAS - SANTA - ANCASH  
 FECHA : 05/03/2020

Nro. DE ENSAYO	LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLASTICO		
	1	2	3	1	2	3
PESO TARA + SUELO HUMEDO (gr.)	63.30	44.20	59.20	25.80	25.80	25.80
PESO TARA + SUELO SECO (gr.)	48.40	35.00	45.80	24.90	24.90	24.90
PESO DE LA TARA (gr.)	18.60	17.60	21.80	22.00	22.00	22.00
PESO DEL AGUA (gr.)	14.90	9.20	13.40	0.90	0.90	0.90
PESO SUELO SECO (gr.)	29.80	17.40	24.00	2.90	2.90	2.90
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	50.00	52.87	55.83	31.03	31.03	31.03
Nro. DE GOLPES	32	26	17	31.03		



LIMITE LIQUIDO		
(MTC E-110,ASTM D-4318 y AASHTO T89)		
LL :	%	52.90

LIMITE PLASTICO		
(MTC E-111,ASTM D-4318 y AASHTO T90)		
LP :	%	31.03

INDICE DE PLASTICIDAD		
ASTM D-438		
IP :	%	21.87

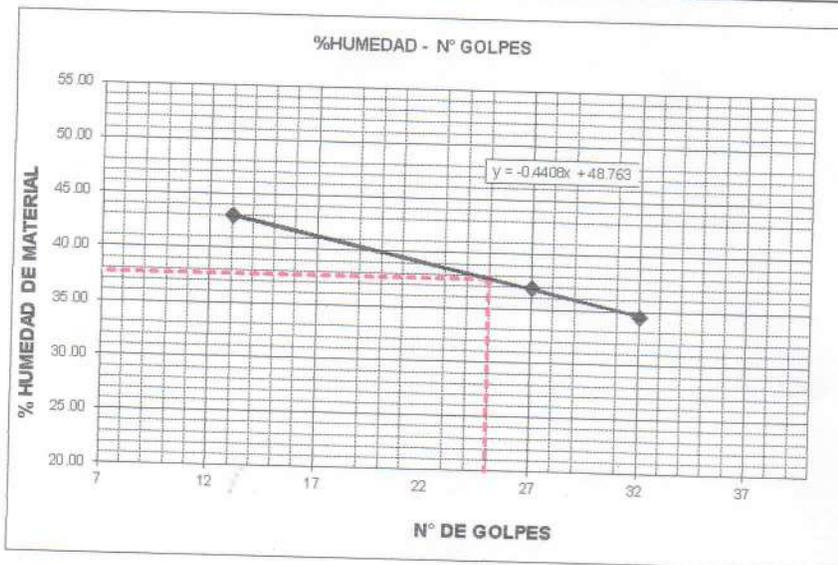
  
**Mg. Miguel Solar Jara**  
 JEFE



**LIMITE LIQUIDO Y LIMITE PLASTICO**  
(MTC E-110,E-111,ASTM D-4318 y MTC E-110, AASHTO T89, T90)

SOLICITA : BACH.MORI ROSALES CLEDY ROXANA  
 TESIS : APACIDAD DE SOPORTE DEL SUELO DE LA CARRETERA DEL CENTRO POBLADO DE CHINCHOBAMBA -SIHUAS  
 CON LA ADICION DE 5% DE CENIZA DE HOJAS DE PINO Y 10% DE CENIZA DE MARUCHA (DONAX OBESULUS)  
 MUESTRA : SUELO NATURAL CALICATA -3  
 LUGAR : SIHUAS - SANTA - ANCASH  
 FECHA : 05/03/2020

Nro. DE ENSAYO	LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLASTICO		
	1	2	3	1	2	3
PESO TARA + SUELO HUMEDO (gr.)	59.10	53.70	52.50	27.80	27.80	27.80
PESO TARA + SUELO SECO (gr.)	48.60	45.00	43.30	26.70	26.70	26.70
PESO DE LA TARA (gr.)	18.20	21.50	21.90	21.00	21.00	21.00
PESO DEL AGUA (gr.)	10.50	8.70	9.20	1.10	1.10	1.10
PESO SUELO SECO (gr.)	30.40	23.50	21.40	5.70	5.70	5.70
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	34.54	37.02	42.99	19.30	19.30	19.30
Nro. DE GOLPES	32	27	13	19.30		



LIMITE LIQUIDO	
(MTC E-110,ASTM D-4318 y AASHTO T89)	
LL : %	37.74

LIMITE PLASTICO	
(MTC E-111,ASTM D-4318 y AASHTO T90)	
LP : %	19.30

INDICE DE PLASTICIDAD	
ASTM D-438	
IP : %	18.44

UNIVERSIDAD SAN PEDRO  
 FACULTAD DE INGENIERIA  
 Lab. Mecánica de Suelos y Ensayo de Materiales  
 Mg. Miguel Solar Jara  
 JEFE



Trujillo, 31 de enero del 2020

**INFORME N° 19 - ENE-20**

**Solicitante:** Mori Rosales Cledy Roxana – Universidad San Pedro

**RUC/DNI:** .....

**Supervisor:** .....

**1. MUESTRA:** Hoja de pino (1. gr)

N° de Muestras	Código de Muestra	Cantidad de muestra ensayada	Procedencia
1	HP-19E	13.5 mg	.....

**2. ENSAYOS A APLICAR**

- Análisis térmico por calorimetría diferencial de barrido DSC/ Análisis térmico Diferencial DTA.
- Análisis Termogravimétrico TGA.

**3. EQUIPO EMPLEADO Y CONDICIONES**

- Analizador Térmico simultáneo TG\_DTA\_DSC Cap. Máx.: 1600°C SetSys\_Evolution, cumple con normas ASTM ISO 11357, ASTM E967, ASTM E968, ASTM E793, ASTM D3895, ASTM D3417, ASTM D3418, DIN 51004, DIN 51007, DIN 53765.
- Tasa de calentamiento: 20 °C/min
- Gas de Trabajo - Flujo: Nitrógeno, 10 ml/min
- Rango de Trabajo: 25 – 900 °C.
- Masa de muestra analizada: 13.5 mg.

**Jefe de Laboratorio:** Ing. Danny Chávez Novoa

**Analista responsable:** Ing. Danny Chávez Novoa



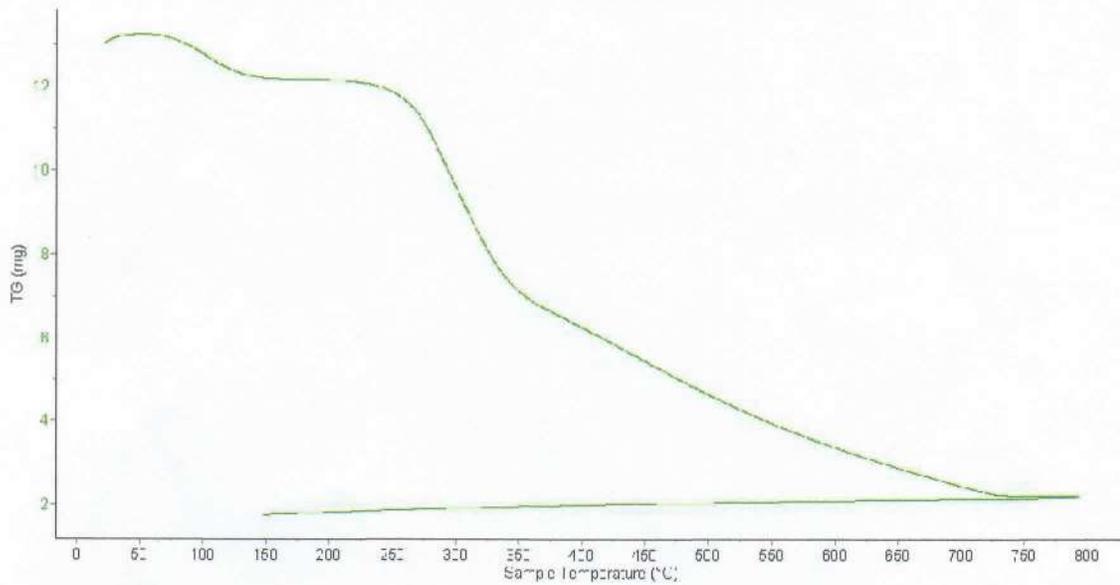


Trujillo, 31 de enero del 2020

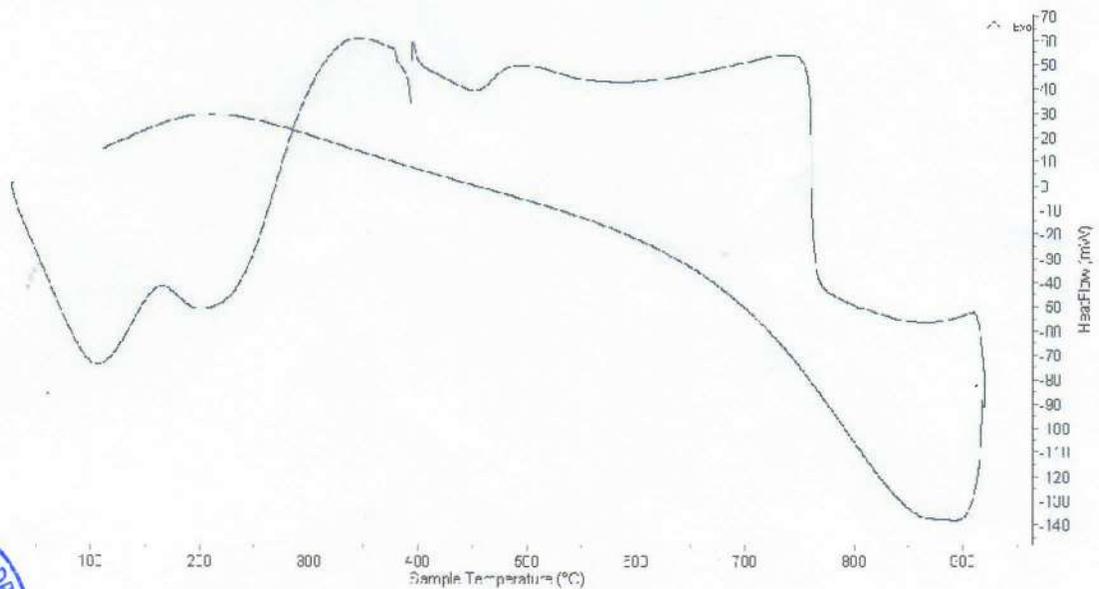
**INFORME N° 19 - ENE-20**

**4. Resultados:**

**I- Curva de pérdida de masa - Análisis Termo gravimétrico.**



**II- Curva Calorimétrica ATD**



*[Handwritten Signature]*



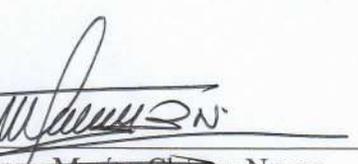
Trujillo, 31 de enero del 2020

**INFORME N° 19 - ENE-20**

**5. CONCLUSION:**

1. Según el análisis Termo gravimétrico se percibe algunas caídas de la masa, donde las más importante son descensos que constituye pérdida de masa en la muestra, notándose una mayor velocidad de pérdida en el rango de 220 a 340°C y se aprecia que en las otras regiones se presenta un ritmo de pérdida más lenta de la masa. El material llega a perder aproximadamente 88% cuando alcanza la máxima temperatura de ensayo.
2. De acuerdo al análisis calorimétrico, la curva muestra algunos picos endotérmicos a baja temperatura, las primeras a aproximadamente 100°C y a 200 ° C y otras a mayor temperatura, en torno a 390 y 450°C; finalmente se da una gran absorción a 750°C. Estas absorciones térmicas podrían significar algún cambio estructural y cambio en las características del material.

Trujillo, 31 de enero del 2020

  
  
Ing. Danny Mestas Chávez Novoa  
Jefe de Laboratorio de Polímeros  
Departamento Ingeniería de Materiales - UNT



Trujillo, 03 de febrero del 2020

INFORME N° 30 - FEB-20



Solicitante: Cledy Roxana Mori Rosales – Universidad San Pedro

RUC/DNI: .....

Supervisor: .....

1. MUESTRA: Maruchas (Donax Obesulus) (1. gr)

N° de Muestras	Código de Muestra	Cantidad de muestra ensayada	Procedencia
1	MD-30F	46.7 mg	.....

2. ENSAYOS A APLICAR

- Análisis térmico por calorimetría diferencial de barrido DSC/ Análisis térmico Diferencial DTA.
- Análisis Termogravimétrico TGA.

3. EQUIPO EMPLEADO Y CONDICIONES

- Analizador Térmico simultáneo TG\_DTA\_DSC Cap. Máx.: 1600°C SetSys\_Evolution, cumple con normas ASTM ISO 11357, ASTM E967, ASTM E968, ASTM E793, ASTM D3895, ASTM D3417, ASTM D3418, DIN 51004, DIN 51007, DIN 53765.
- Tasa de calentamiento: 20 °C/min
- Gas de Trabajo - Flujo: Nitrógeno, 10 ml/min
- Rango de Trabajo: 25 – 1000 °C.
- Masa de muestra analizada: 46.7 mg.

Jefe de Laboratorio: Ing. Danny Chávez Novoa

Analista responsable: Ing. Danny Chávez Novoa



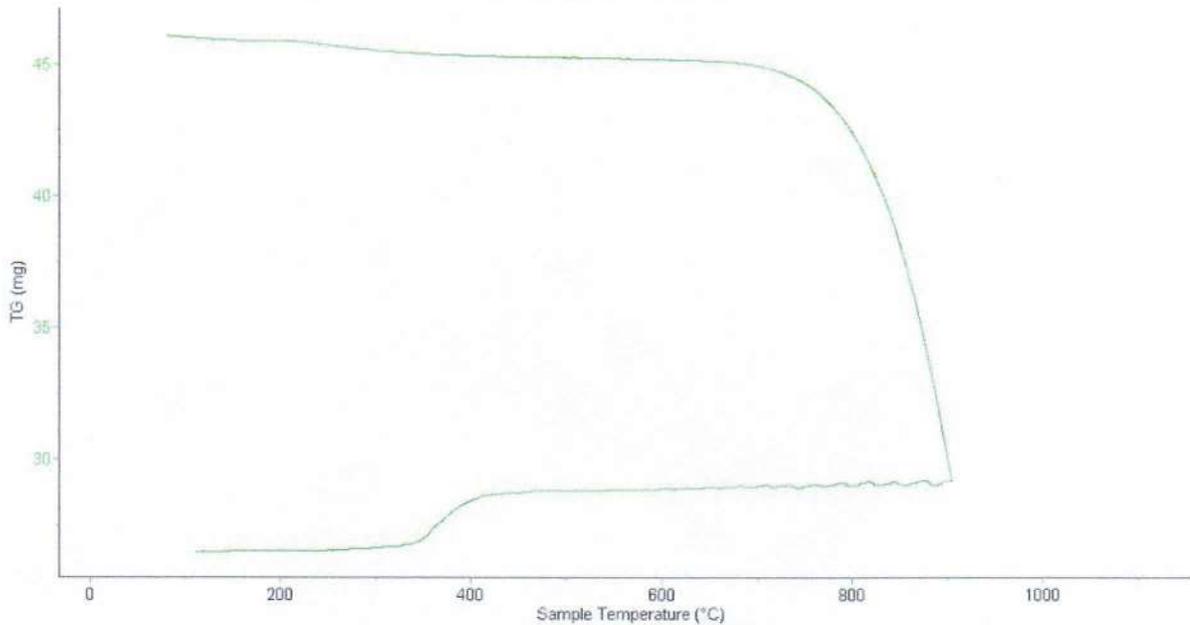


Trujillo, 03 de febrero del 2020

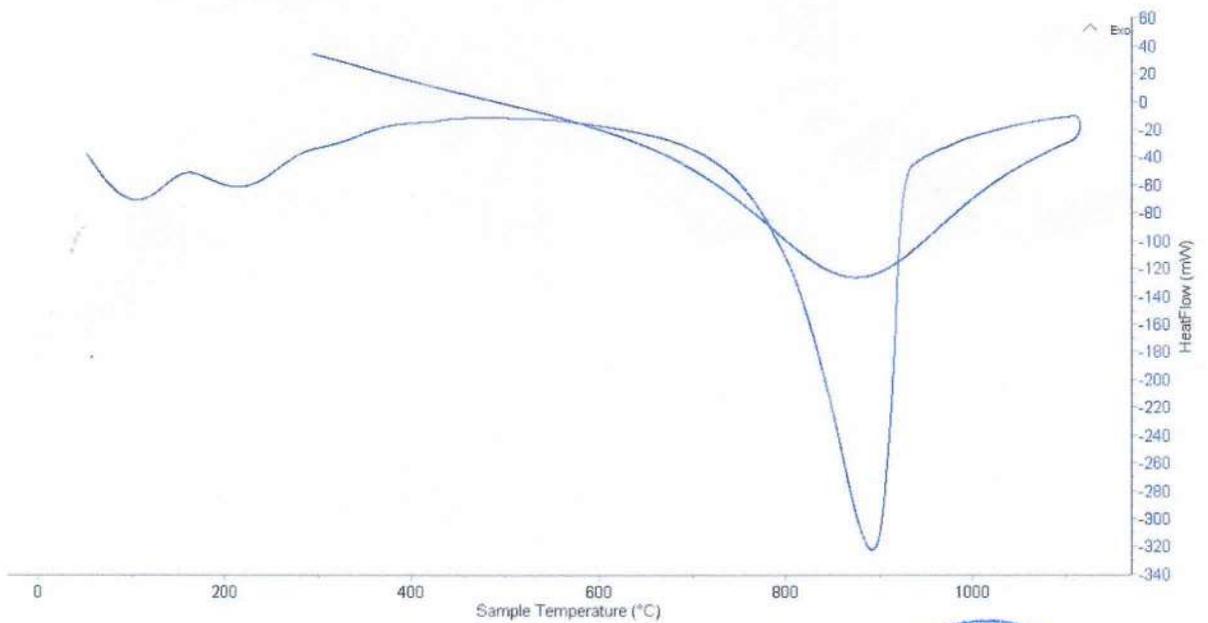
**INFORME N° 30 - FEB-20**

**4. Resultados:**

**I- Curva de pérdida de masa - Análisis Termo gravimétrico.**



**II- Curva Calorimétrica ATD**



Laboratorio de Polímeros Dpto. IMA  
JEFATURA  
UNT  
*[Signature]*



Trujillo, 03 de febrero del 2020

**INFORME N° 30 - FEB-20**

**5. CONCLUSION:**

1. Según el análisis Termo gravimétrico se muestra una estabilidad térmica muy importante hasta alcanzar los 700°C, a partir del cual recién comienza a caer, y de manera brusca, la masa del material, llegando a perder en total aproximadamente 36% de su masa inicial.
2. De acuerdo al análisis calorimétrico, se puede mostrar dos picos muy ligeros a 100 y 210°C aproximadamente, posteriormente se muestra un gran pico endotérmico que se da a 890°C, que podría representar cambios estructurales y de las características en el material.

Trujillo, 03 de febrero del 2020

  
JEFATURA  
Ing. Danny Mesías Chávez Novoa  
Jefe de Laboratorio de Polímeros  
Departamento Ingeniería de Materiales - UNT



**INFORME TÉCNICO N° 0205 – 20 – LABICER**

1. **DATOS DEL SOLICITANTE**
  - 1.1 NOMBRE DEL SOLICITANTE : CLEDY ROXANA MORI ROSALES
  - 1.2 DNI : 61705986
2. **CRONOGRAMA DE FECHAS**
  - 2.1 FECHA DE RECEPCIÓN : 07 / 02 / 2020
  - 2.2 FECHA DE ENSAYO : 11 / 02 / 2020
  - 2.3 FECHA DE EMISIÓN : 13 / 02 / 2020
3. **ANÁLISIS SOLICITADO** : COMPOSICIÓN QUÍMICA POR ESPECTROMETRÍA DE FLUORESCENCIA DE RAYOS X
4. **DATOS REFERENCIALES DE LA MUESTRA SEGÚN SOLICITANTE DEL ENSAYO**
  - 4.1 IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA : 01 MUESTRA DE CENIZA DE MARUCHA
  - 4.2 TESIS : CAPACIDAD DE SOPORTE DEL SUELO DE LA CARRETERA DEL CENTRO POBLADO DE CHINCHOBAMBA – SIHUAS CON LA ADICIÓN DE 5 % DE CENIZA DE HOJAS DE PINO Y 10 % DE CENIZA DE MARUCHA (DONAX OBESULUS)
5. **LUGAR DE RECEPCIÓN** : LABORATORIO LABICER - FACULTAD DE CIENCIAS
6. **CONDICIONES AMBIENTALES** : Temperatura: 22.3 °C; Humedad relativa: 65%
7. **EQUIPOS UTILIZADOS** : Espectrómetro de Fluorescencia de Rayos X. SHIMADZU, EDX 800HS.
8. **RESULTADOS**
  - 8.1 **ANÁLISIS DE COMPOSICIÓN QUÍMICA ELEMENTAL**

ELEMENTO	RESULTADO (%)	MÉTODO UTILIZADO
Calcio, Ca	99,77	Espectrometría de Fluorescencia de Rayos X <sup>(1)</sup>
Azufre, S	0,20	
Zirconio, Zr	0,03	

<sup>(1)</sup>Resultados del análisis elemental por espectrometría de fluorescencia de rayos X (Barrido del sodio al uranio).

8.2 **ANÁLISIS DE COMPOSICIÓN QUÍMICA EXPRESADO EN ÓXIDOS**

COMPUESTO	RESULTADO (%)	MÉTODO UTILIZADO
Óxido de calcio, CaO	99,92	Espectrometría de Fluorescencia de Rayos X <sup>(1)</sup>
Óxido de azufre, SO <sub>3</sub>	0,05	
Óxido de zirconio, ZrO <sub>2</sub>	0,03	

<sup>(1)</sup>Balance de resultados de óxidos calculados del análisis elemental.

9. **VALIDEZ DEL INFORME TÉCNICO**

Los resultados de este Informe técnico son válidos solo para la muestra proporcionada por el solicitante del servicio en las condiciones indicadas del presente informe técnico.

Bach. Kevih Sulca  
Analista  
LABICER –UNI



Otilia Acha de la Cruz  
Jefe de Laboratorio  
Firmado por:  
Ing. Sebastián Lazo Ochoa  
CIP 74236

(\*) El Laboratorio no se responsabiliza del muestreo ni de la procedencia de la muestra.

ANEXO

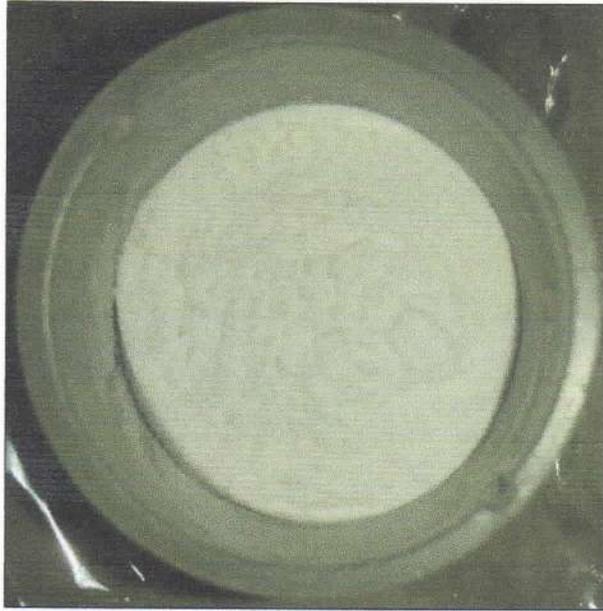


Figura 1. Muestra de ceniza de marucha.



Figura 2. Equipo de Espectrofotometría de Fluorescencia de Rayos X.



**INFORME TÉCNICO N° 0204 – 20 – LABICER**

1. **DATOS DEL SOLICITANTE**
  - 1.1 NOMBRE DEL SOLICITANTE : CLEDY ROXANA MORI ROSALES
  - 1.2 DNI : 61705986
2. **CRONOGRAMA DE FECHAS**
  - 2.1 FECHA DE RECEPCIÓN : 07 / 02 / 2020
  - 2.2 FECHA DE ENSAYO : 11 / 02 / 2020
  - 2.3 FECHA DE EMISIÓN : 13 / 02 / 2020
3. **ANÁLISIS SOLICITADO** : COMPOSICIÓN QUÍMICA POR ESPECTROMETRÍA DE FLUORESCENCIA DE RAYOS X
4. **DATOS REFERENCIALES DE LA MUESTRA SEGÚN SOLICITANTE DEL ENSAYO**
  - 4.1 IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA : 01 MUESTRA DE CENIZA DE HOJAS DE PINO
  - 4.2 TESIS : CAPACIDAD DE SOPORTE DEL SUELO DE LA CARRETERA DEL CENTRO POBLADO DE CHINCHOBAMBA – SIHUAS CON LA ADICIÓN DE 5 % DE CENIZA DE HOJAS DE PINO Y 10 % DE CENIZA DE MARUCHA (DONAX OBESULUS)
5. **LUGAR DE RECEPCIÓN** : LABORATORIO LABICER - FACULTAD DE CIENCIAS
6. **CONDICIONES AMBIENTALES** : Temperatura: 22.3 °C; Humedad relativa: 65%
7. **EQUIPOS UTILIZADOS** : Espectrómetro de Fluorescencia de Rayos X. SIHUAS, EDX 800HS.
8. **RESULTADOS**
  - 8.1 **ANÁLISIS DE COMPOSICIÓN QUÍMICA ELEMENTAL**



ELEMENTO	RESULTADO (%)	MÉTODO UTILIZADO
Potasio, K	31,36	Espectrometría de Fluorescencia de Rayos X <sup>(1)</sup>
Calcio, Ca	30,60	
Magnesio, Mg	10,68	
Aluminio, Al	9,46	
Fósforo, P	7,14	
Manganeso, Mn	6,90	
Silicio, Si	1,78	
Azufre, S	1,15	
Hierro, Fe	0,72	
Zinc, Zn	0,12	
Bromuro, Br	0,05	
Cobre, Cu	0,04	

<sup>(1)</sup>Resultados del análisis elemental por espectrometría de fluorescencia de rayos X (Barrido del sodio al uranio).

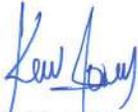
8.2 ANÁLISIS DE COMPOSICIÓN QUÍMICA EXPRESADO EN ÓXIDOS

COMPUESTO	RESULTADO (%)	MÉTODO UTILIZADO
Óxido de potasio, K <sub>2</sub> O	53,829	Espectrometría de Fluorescencia de Rayos X <sup>(1)</sup>
Óxido de calcio, CaO	13,31	
Óxido de magnesio, MgO	11,33	
Óxido de aluminio, Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9,45	
Óxido de fósforo, P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	6,51	
Óxido de manganeso, MnO	4,06	
Óxido de silicio, SiO <sub>2</sub>	0,89	
Óxido de hierro, Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,50	
Óxido de azufre, SO <sub>3</sub>	0,08	
Óxido de zinc, ZnO	0,03	
Bromuro, Br	0,01	
Óxido de cobre, CuO	0,01	

<sup>(1)</sup>Balace de resultados de óxidos calculados del análisis elemental.

9. VALIDEZ DEL INFORME TÉCNICO

Los resultados de este Informe técnico son válidos solo para la muestra proporcionada por el solicitante del servicio en las condiciones indicadas del presente informe técnico.



Bach. Kevin Sullca  
Analista  
LABICER -UNI



Otilia Acha de la Cruz  
Jefe de Laboratorio

Firmado por:  
Ing. Sebastián Lazo Ochoa  
CIP 74236

(\*) El Laboratorio no se responsabiliza del muestreo ni de la procedencia de la muestra.

## ANEXO

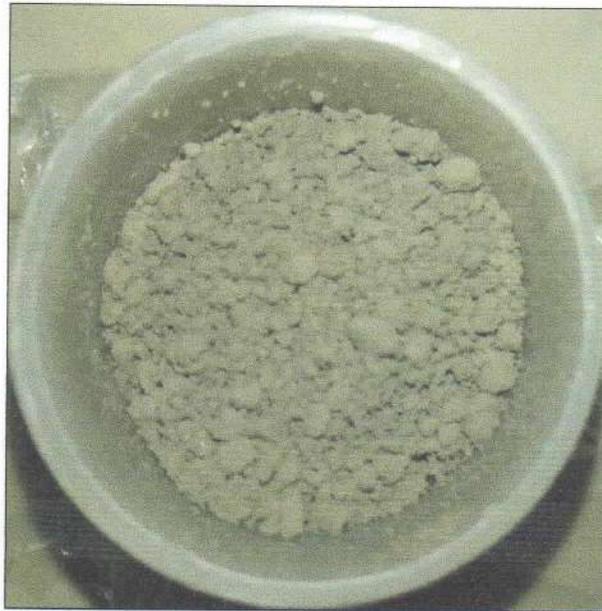


Figura 1. Muestra de ceniza de hojas de pino.



Figura 2. Equipo de Espectrofotometría de Fluorescencia de Rayos X.



**CORPORACIÓN DE LABORATORIOS DE ENSAYOS CLÍNICOS, BIOLÓGICOS E INDUSTRIALES**

**“COLECBI” S.A.C.**

REGISTRADO EN LA DIRECCIÓN GENERAL DE POLÍTICAS Y DESARROLLO PESQUERO - PRODUCE

**INFORME DE ENSAYO N° 20200210-011**

Pág. 1 de 1

SOLICITADO POR : **CLEDY ROXANA MORI ROSALES**  
 DIRECCIÓN : Av. Perú AA.HH. Esperanza Baja Mz I Lote 5 Chimbote.  
 NOMBRE DEL CONTACTO DEL CLIENTE : NO APLICA  
 PRODUCTO DECLARADO : **ABAJO INDICADO**  
 LUGAR DE MUESTREO : NO APLICA  
 MÉTODO DE MUESTREO : NO APLICA  
 PLAN DE MUESTREO : NO APLICA  
 CONDICIONES AMBIENTALES DURANTE EL MUESTREO : NO APLICA  
 FECHA DE MUESTREO : NO APLICA  
 CANTIDAD DE MUESTRA : 05 muestras  
 PRESENTACIÓN DE LA MUESTRA : En bolsa de polietileno, cerrada.  
 CONDICIÓN DE LA MUESTRA : En buen estado.  
 FECHA DE RECEPCIÓN : 2020-02-10  
 FECHA DE INICIO DEL ENSAYO : 2020-02-10  
 FECHA DE TÉRMINO DEL ENSAYO : 2020-02-11  
 LUGAR REALIZADO DE LOS ENSAYOS : Laboratorio Físico Químico.  
 CÓDIGO COLECBI : **SS 200210-9**

**RESULTADOS**

**“CAPACIDAD DE SOPORTE DEL SUELO DE LA CARRETERA CRUZ DEL CENTRO POBLADO DE CHINCHUBAMBA – SIHUAS CON LA ADICIÓN DE 5% DE CENIZA DE HOJAS DE PINO Y 10% DE CENIZA DE MARUCHA (DONAX OBESULUS).”**

MUESTRAS	ENSAYO
	pH
CENIZA DE HOJAS DE PINO	11,77
CENIZA DE MARUCHA (DONAX OBESULUS)	13,09
MEZCLA DE SUELO C-1 CON LA ADICIÓN DE 5% DE CENIZA HOJAS DE PINO Y 10% CENIZA DE MARUCHA	11,56
MEZCLA DE SUELO C-2 CON LA ADICIÓN DE 5% DE CENIZA HOJAS DE PINO Y 10% CENIZA DE MARUCHA	12,14
MEZCLA DE SUELO C-3 CON LA ADICIÓN DE 5% DE CENIZA HOJAS DE PINO Y 10% CENIZA DE MARUCHA	12,10

**METODOLOGIA EMPLEADA**

pH : Potenciométrico.

**NOTA:**

- Informe de ensayo emitido en base a resultados de nuestro Laboratorio sobre muestras :  
Proporcionadas por el Solicitante (X) Muestras por COLECBI S.A.C. ( )
- Los resultados presentados corresponden solo a la muestra/s ensayada/s.
- Estos resultados de ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.
- No afecta al proceso de Dirimencia por su perecibilidad y/o muestra única.
- El informe incluye diagrama, croquis o fotografías : SI ( ) NO (X )
- Cuando el informe de ensayo ya emitido se haga una corrección o modificación se emitirá un nuevo informe de ensayo completo que haga referencia al informe que reemplaza. Los cambios se identificarán con letra negrita y cursiva.

Fecha de Emisión: Nuevo Chimbote, Febrero 12 del 2020.

GVR/jms

A. Gustavo Varas Ramos  
Gerente de Laboratorios  
C.B.P. 326  
COLECBI S.A.C.

LC-MP-HRIE  
Rev. 06  
Fecha 2019-07-01

EL INFORME NO SE DEBE REPRODUCIR SIN LA APROBACIÓN DEL LABORATORIO, EXCEPTO EN SU TOTALIDAD

FIN DEL INFORME

**COLECBI S.A.C.**

Urb. Buenos Aires Mz. A - Lt. 7 1 Etapa - Nuevo Chimbote - Teléfono: 043 310752

Celular: 998392893 - 998393974 - Apartado 127

e-mail: [colecbi@speedy.com.pe](mailto:colecbi@speedy.com.pe) / [medioambiente\\_colecbi@speedy.com.pe](mailto:medioambiente_colecbi@speedy.com.pe)

Web: [www.colecbi.com](http://www.colecbi.com)



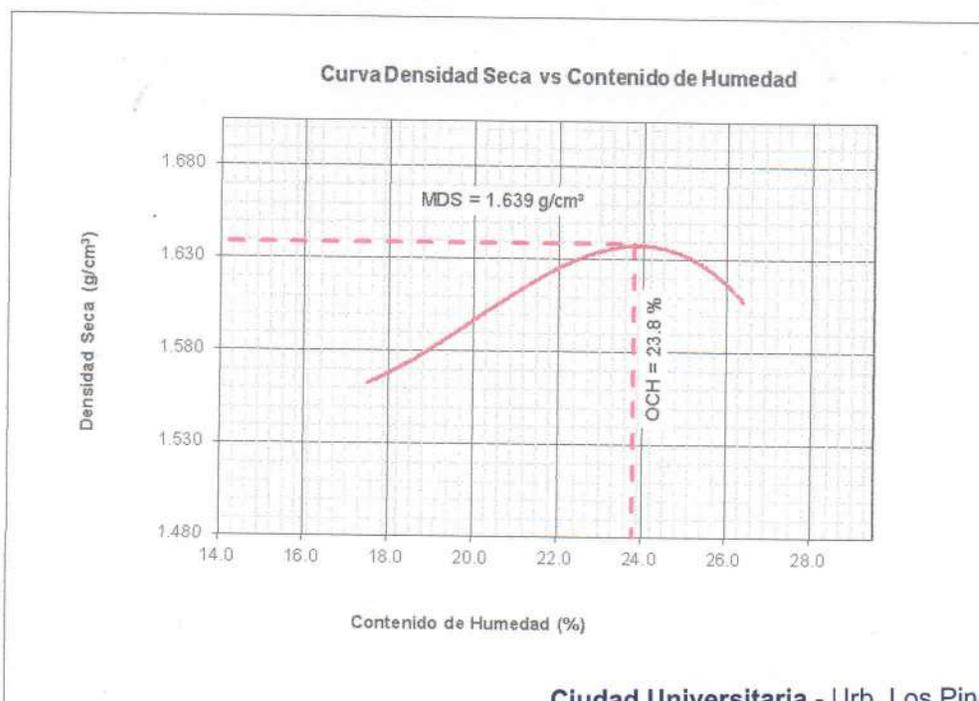
### PROCTOR MODIFICADO

NORMA ASTM D- 1557/ MTC E 115

SOLICITA : BACH.MORI ROSALES CLEDY ROXANA  
TESIS : CAPACIDAD DE SOPORTE DEL SUELO DE LA CARRETERA DEL CENTRO POBLADO DE CHINCHOBAMBA -SIHUAS  
\* CON LA ADICIÓN DE 5% DE CENIZA DE HOJAS DE PINO Y 10% DE CENIZA DE MARUCHA (DONAX OBESULUS)  
MATERIAL : SUELO NATURAL  
CALICATA : 1  
LUGAR : SIHUAS - SANTA - ANCASH  
FECHA : 05/03/2020

Metodo Compactación:	"A"	Número de Golpes		25
Energía de Compactación Standar	27.7 Kg.cm / cm <sup>3</sup>			
01 - Peso Suelo Humedo + Molde (g)	3695	3789	3869	3879
02 - Peso del Molde (g)	1969.0	1969.0	1969.0	1969.0
03 - Peso Suelo Humedo (g)	1726.0	1820.0	1900.0	1909.5
04 - Volumen del Molde (cm <sup>3</sup> )	939.7	939.7	939.7	939.7
05 - Densidad Suelo Humedo (g/cm <sup>3</sup> )	1.837	1.937	2.022	2.032
06 - Tarro N°	01	02	03	04
07 - Peso suelo humedo + tarro (g)	415.0	435.0	543.0	431.5
08 - Peso suelo seco + tarro (g)	383.0	380.0	480.0	385.0
09 - Peso del agua (g)	32.0	55.0	63.0	46.5
10 - Peso del tarro (g)	200.0	112.5	212.0	209.0
11 - Peso suelo seco (g)	183.0	267.5	268.0	176.0
12 - Contenido de Humedad (%)	17.5	20.6	23.5	26.4
13 - Densidad del Suelo Seco (g/cm <sup>3</sup> )	1.563	1.606	1.637	1.608

Contenido Optimo Humedad **23.8 %** Densidad Seca Maxima, **1.639 g/cm<sup>3</sup>**





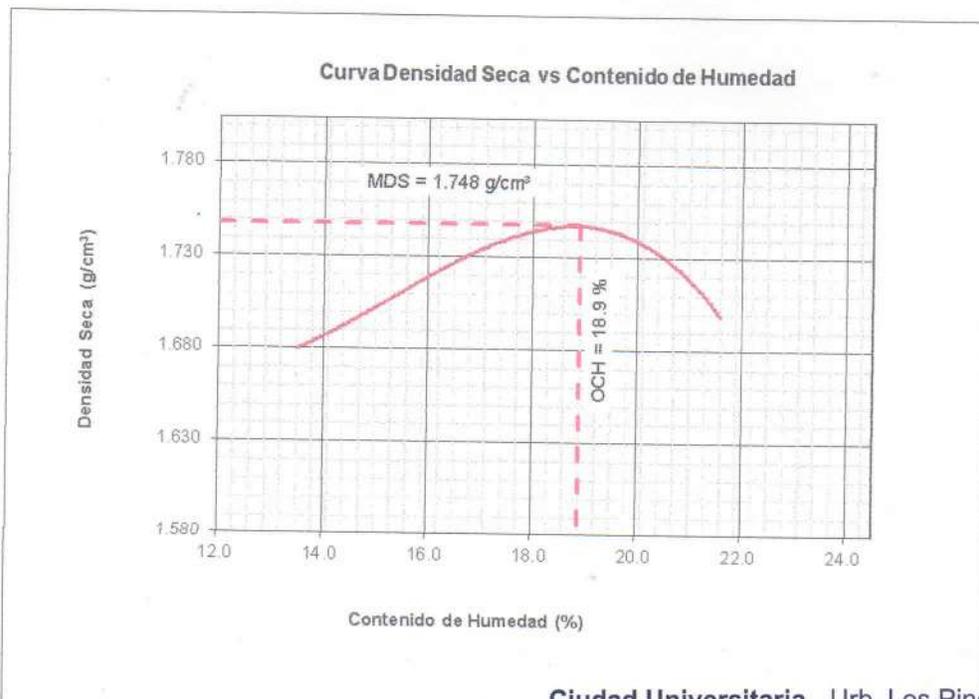
**PROCTOR MODIFICADO**

**NORMA ASTM D- 1557/ MTC E 115**

SOLICITA : BACH.MORI ROSALES CLEDY ROXANA  
 TESIS : CAPACIDAD DE SOPORTE DEL SUELO DE LA CARRETERA DEL CENTRO POBLADO DE CHINCHOBAMBA -SIHUAS  
 CON LA ADICION DE 5% DE CENIZA DE HOJAS DE PINO Y 10% DE CENIZA DE MARUCHA (DONAX OBESULUS)  
 MATERIAL : SUELO NATURAL  
 CALICATA : 2  
 LUGAR : SIHUAS - SANTA - ANCASH  
 FECHA : 05/03/2020

Metodo Compactación:	"A"	Número de Golpes		25
Energía de Compactación Standar	27.7 Kg.cm / cm <sup>3</sup>			
01 - Peso Suelo Humedo + Molde (g)	3761	3860	3923	3910
02 - Peso del Molde (g)	1969.0	1969.0	1969.0	1969.0
03 - Peso Suelo Humedo (g)	1791.5	1891.0	1953.5	1941.0
04 - Volumen del Molde (cm <sup>3</sup> )	939.7	939.7	939.7	939.7
05 - Densidad Suelo Humedo (g/cm <sup>3</sup> )	1.906	2.012	2.079	2.066
06 - Tarro N°	01	02	03	04
07 - Peso suelo humedo + tarro (g)	292.5	288.0	308.0	310.0
08 - Peso suelo seco + tarro (g)	265.0	255.0	269.0	270.0
09 - Peso del agua (g)	27.5	33.0	39.0	40.0
10 - Peso del tarro (g)	62.0	54.5	64.0	85.0
11 - Peso suelo seco (g)	203.0	200.5	205.0	185.0
12 - Contenido de Humedad (%)	13.5	16.5	19.0	21.6
13 - Densidad del Suelo Seco (g/cm <sup>3</sup> )	1.680	1.727	1.747	1.699

Contenido Optimo Humedad **18.9 %** Densidad Seca Maxima, **1.748 g/cm<sup>3</sup>**



UNIVERSIDAD SAN PEDRO  
 FACULTAD DE INGENIERIA  
 Lab. Mecánica de Suelos y Ensayo de Materiales  
**Mg. Miguel Solar Jara**  
 JEFE



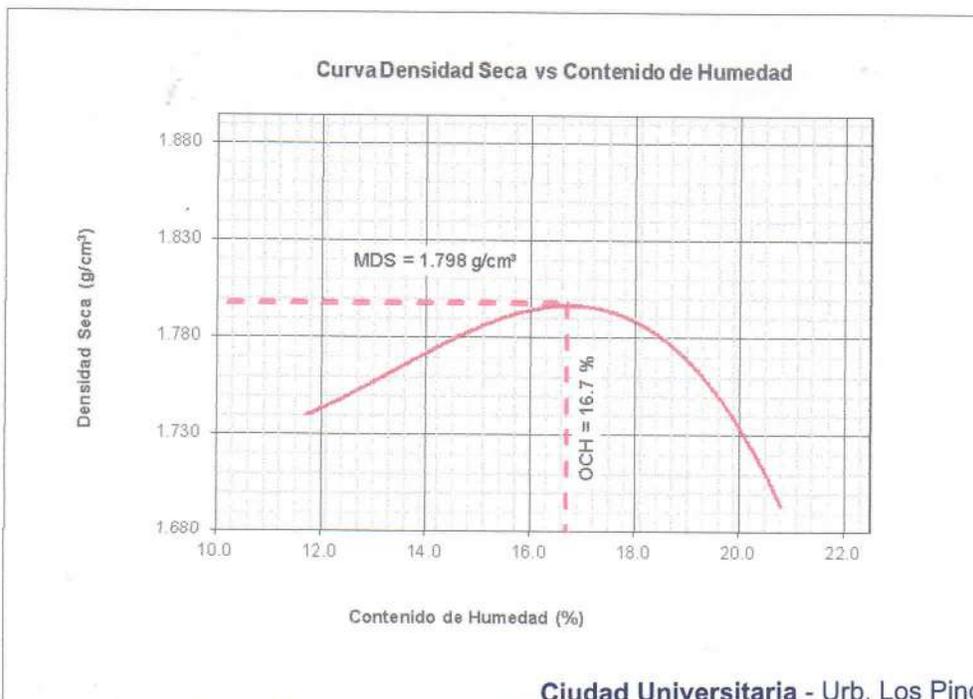
**PROCTOR MODIFICADO**

**NORMA ASTM D- 1557/ MTC E 115**

SOLICITA : BACH.MORI ROSALES CLEDY ROXANA  
 TESIS : CAPACIDAD DE SOPORTE DEL SUELO DE LA CARRETERA DEL CENTRO POBLADO DE CHINCHOBAMBA -SIHUAS  
 CON LA ADICION DE 5% DE CENIZA DE HOJAS DE PINO Y 10% DE CENIZA DE MARUCHA (DONAX OBESULUS)  
 MATERIAL :SUELO NATURAL  
 CALICATA :3  
 LUGAR : SIHUAS - SANTA - ANCASH  
 FECHA :05/03/2020

Metodo Compactación:	"A"	Número de Golpes		
Energía de Compactación Standar		27.7 Kg.cm / cm³		
01 - Peso Suelo Humedo + Molde (g)	3795	3892	3953	3892
02 - Peso del Molde (g)	1969.0	1969.0	1969.0	1969.0
03 - Peso Suelo Humedo (g)	1826.0	1923.0	1984.0	1923.0
04 - Volumen del Molde (cm³)	939.7	939.7	939.7	939.7
05 - Densidad Suelo Humedo (g/cm³)	1.943	2.046	2.111	2.046
06 - Tarro N°	01	02	03	04
07 - Peso suelo humedo + tarro (g)	448.0	476.0	313.0	402.0
08 - Peso suelo seco + tarro (g)	420.0	440.5	274.0	339.5
09 - Peso del agua (g)	28.0	35.5	39.0	62.5
10 - Peso del tarro (g)	180.0	200.0	60.0	39.0
11 - Peso suelo seco (g)	240.0	240.5	214.0	300.5
12 - Contenido de Humedad (%)	11.7	14.8	18.2	20.8
13 - Densidad del Suelo Seco (g/cm³)	1.740	1.783	1.786	1.694

Contenido Optimo Humedad **16.7 %** Densidad Seca Maxima, **1.798 g/cm³**



**UNIVERSIDAD SAN PEDRO**  
 FACULTAD DE INGENIERIA  
 Lab. Mecánica de Suelos y Ensayo de Materiales  
**Mg. Miguel Solar Jara**  
 JEFE



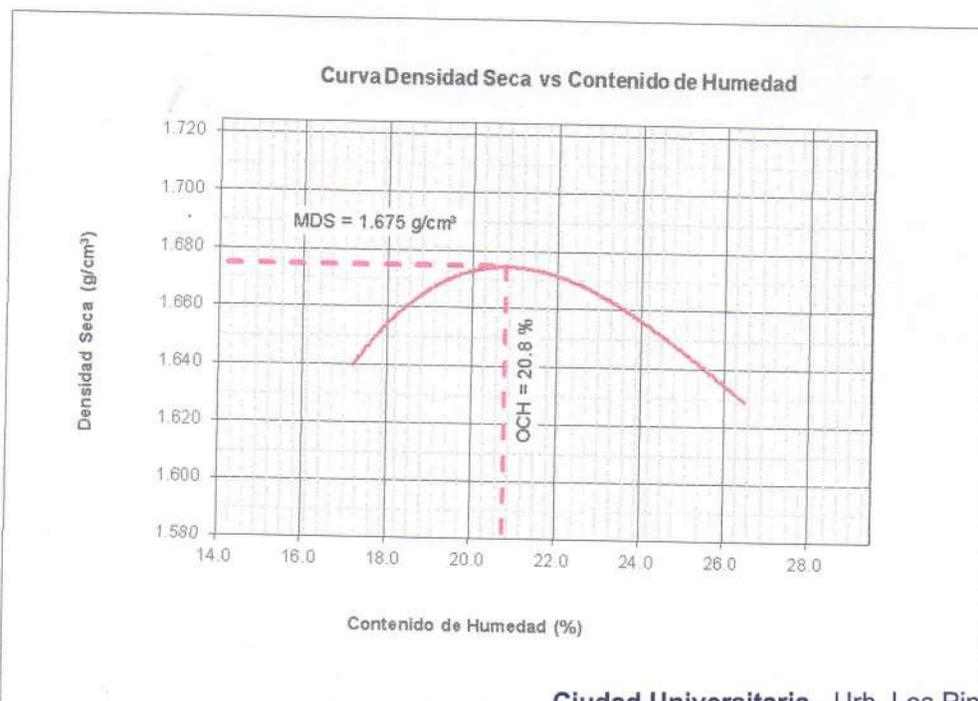
**PROCTOR MODIFICADO-EXPERIMENTAL**

**NORMA ASTM D- 1557/ MTC E 115**

SOLICITA : BACH.MORI ROSALES CLEDY ROXANA  
 TESIS : CAPACIDAD DE SOPORTE DEL SUELO DE LA CARRETERA DEL CENTRO POBLADO DE CHINCHOBAMBA -SIHUAS  
 CON LA ADICION DE 5% DE CENIZA DE HOJAS DE PINO Y 10% DE CENIZA DE MARUCHA (DONAX OBESULUS)  
 MATERIAL : SUELO NATURAL  
 CALICATA : 1  
 LUGAR : SIHUAS - SANTA - ANCASH  
 FECHA : 05/03/2020

Metodo Compactación:	"A"	Número de Golpes		
Energía de Compactación Standar		27.7 Kg.cm / cm <sup>3</sup>		
01 - Peso Suelo Humedo + Molde (g)	3775	3855	3895	3905
02 - Peso del Molde (g)	1969.0	1969.0	1969.0	1969.0
03 - Peso Suelo Humedo (g)	1806.0	1886.0	1926.0	1936.0
04 - Volumen del Molde (cm <sup>3</sup> )	939.7	939.7	939.7	939.7
05 - Densidad Suelo Humedo (g/cm <sup>3</sup> )	1.922	2.007	2.050	2.060
06 - Tarro N°	01	02	03	04
07 - Peso suelo humedo + tarro (g)	508.0	310.0	325.0	300.0
08 - Peso suelo seco + tarro (g)	462.0	270.0	277.0	255.0
09 - Peso del agua (g)	46.0	40.0	48.0	45.0
10 - Peso del tarro (g)	195.0	70.0	70.0	85.0
11 - Peso suelo seco (g)	267.0	200.0	207.0	170.0
12 - Contenido de Humedad (%)	17.2	20.0	23.2	26.5
13 - Densidad del Suelo Seco (g/cm <sup>3</sup> )	1.640	1.673	1.664	1.629

Contenido Optimo Humedad **20.8 %** Densidad Seca Maxima, **1.675 g/cm<sup>3</sup>**



**Mg. Miguel Solar Jara**  
JEFE



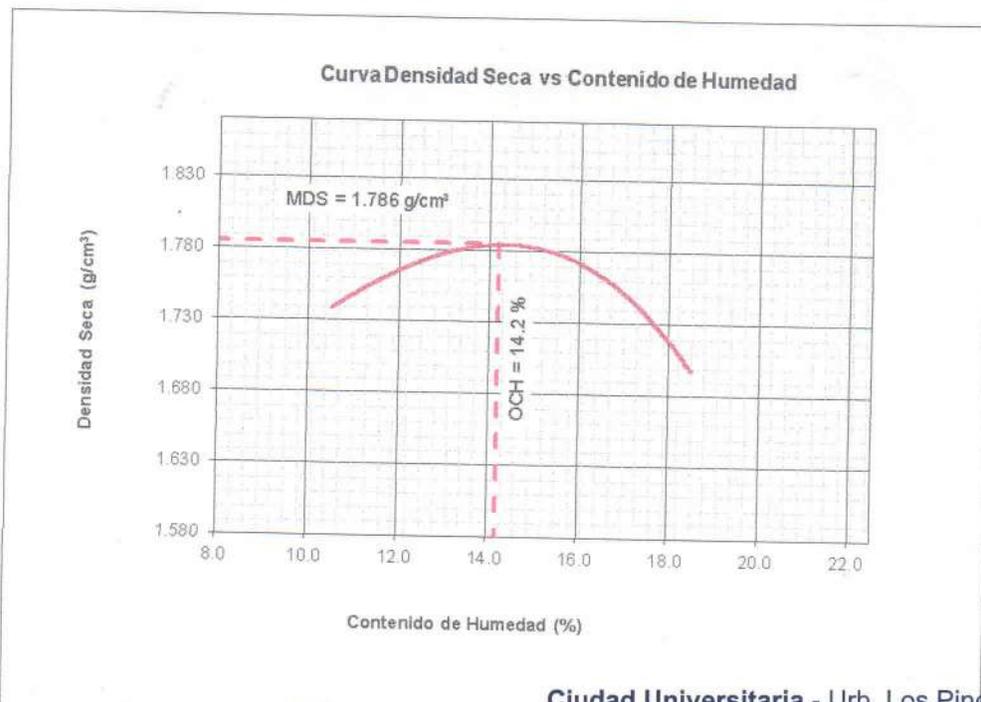
**PROCTOR MODIFICADO-EXPERIMENTAL**

**NORMA ASTM D- 1557/ MTC E 115**

SOLICITA : BACH.MORI ROSALES CLEDY ROXANA  
 TESIS : CAPACIDAD DE SOPORTE DEL SUELO DE LA CARRETERA DEL CENTRO POBLADO DE CHINCHOBAMBA -SIHUAS  
 CON LA ADICION DE 5% DE CENIZA DE HOJAS DE PINO Y 10% DE CENIZA DE MARUCHA (DONAX OBESULUS)  
 MATERIAL : SUELO NATURAL  
 CALICATA : 2  
 LUGAR : SIHUAS - SANTA - ANCASH  
 FECHA : 05/03/2020

Metodo Compactación:	"A"	Número de Golpes		25
Energía de Compactación Standar	27.7 Kg.cm / cm <sup>3</sup>			
01 - Peso Suelo Humedo + Molde (g)	3775	3860	3901	3860
02 - Peso del Molde (g)	1969.0	1969.0	1969.0	1969.0
03 - Peso Suelo Humedo (g)	1806.0	1891.0	1932.0	1891.0
04 - Volumen del Molde (cm <sup>3</sup> )	939.7	939.7	939.7	939.7
05 - Densidad Suelo Humedo (g/cm <sup>3</sup> )	1.922	2.012	2.056	2.012
06 - Tarro N°	01	02	03	04
07 - Peso suelo humedo + tarro (g)	475.0	565.0	505.0	520.0
08 - Peso suelo seco + tarro (g)	450.0	524.0	459.0	470.0
09 - Peso del agua (g)	25.0	41.0	46.0	50.0
10 - Peso del tarro (g)	212.0	210.0	170.0	200.0
11 - Peso suelo seco (g)	238.0	314.0	289.0	270.0
12 - Contenido de Humedad (%)	10.5	13.1	15.9	18.5
13 - Densidad del Suelo Seco (g/cm <sup>3</sup> )	1.739	1.779	1.774	1.698

Contenido Optimo Humedad **14.2 %** Densidad Seca Maxima, **1.786 g/cm<sup>3</sup>**



**UNIVERSIDAD SAN PEDRO**  
 FACULTAD DE INGENIERIA  
 Lab. Mecánica de Suelos y Ensayo de Materiales  
**Mg. Miguel Solar Jara**  
 JEFE



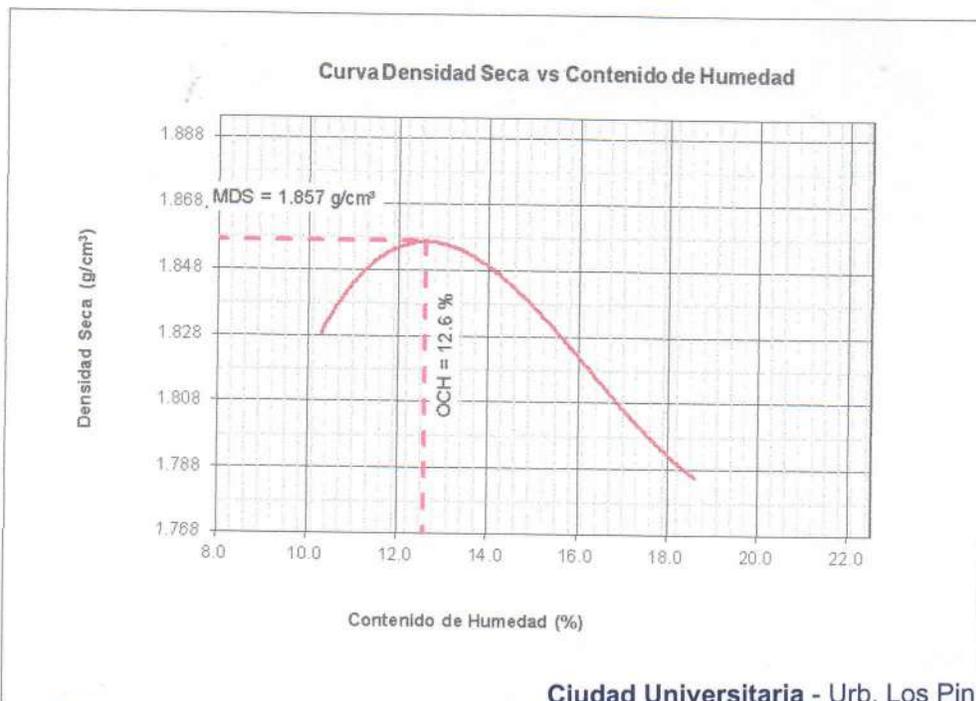
**PROCTOR MODIFICADO-EXPERIMENTAL**

**NORMA ASTM D- 1557/ MTC E 115**

SOLICITA : BACH.MORI ROSALES CLEDY ROXANA  
 TESIS : CAPACIDAD DE SOPORTE DEL SUELO DE LA CARRETERA DEL CENTRO POBLADO DE CHINCHOBAMBA -SIHUAS  
 CON LA ADICION DE 5% DE CENIZA DE HOJAS DE PINO Y 10% DE CENIZA DE MARUCHA (DONAX OBESULUS)  
 MATERIAL : SUELO NATURAL  
 CALICATA : 3  
 LUGAR : SIHUAS - SANTA - ANCASH  
 FECHA : 05/03/2020

Metodo Compactación:	"A"	Número de Golpes		25
Energía de Compactación Standar	27.7 Kg.cm / cm <sup>3</sup>			
01 - Peso Suelo Humedo + Molde (g)	3865	3940	3955	3960
02 - Peso del Molde (g)	1969.0	1969.0	1969.0	1969.0
03 - Peso Suelo Humedo (g)	1896.0	1971.0	1986.0	1991.0
04 - Volumen del Molde (cm <sup>3</sup> )	939.7	939.7	939.7	939.7
05 - Densidad Suelo Humedo (g/cm <sup>3</sup> )	2.018	2.097	2.113	2.119
06 - Tarro N°	01	02	03	04
07 - Peso suelo humedo + tarro (g)	260.5	360.0	345.0	295.0
08 - Peso suelo seco + tarro (g)	240.0	326.0	307.0	259.0
09 - Peso del agua (g)	20.5	34.0	38.0	36.0
10 - Peso del tarro (g)	40.0	65.0	65.0	65.0
11 - Peso suelo seco (g)	200.0	261.0	242.0	194.0
12 - Contenido de Humedad (%)	10.3	13.0	15.7	18.6
13 - Densidad del Suelo Seco (g/cm <sup>3</sup> )	1.829	1.856	1.827	1.786

Contenido Optimo Humedad **12.6 %** Densidad Seca Maxima, **1.857 g/cm<sup>3</sup>**



**Mg. Miguel Solar Jara**  
 JEFE



**RELACIÓN DE SOPORTE - CBR**  
**NORMA ASTM D- 1883**

SOLICITA : BACH.MORI ROSALES CLEDY ROXANA  
 TESIS : CAPACIDAD DE SOPORTE DEL SUELO DE LA CARRETERA DEL CENTRO POBLADO DE CHINCHOBAMBA -SIHUAS  
 CON LA ADICIÓN DE 5% DE CENIZA DE HOJAS DE PINO Y 10% DE CENIZA DE MARUCHA (DONAX OBESULUS)  
 MATERIAL : SUELO NATURAL  
 CALICATA : .1  
 LUGAR : SIHUAS - SANTA - ANCASH  
 FECHA : 05/03/2020

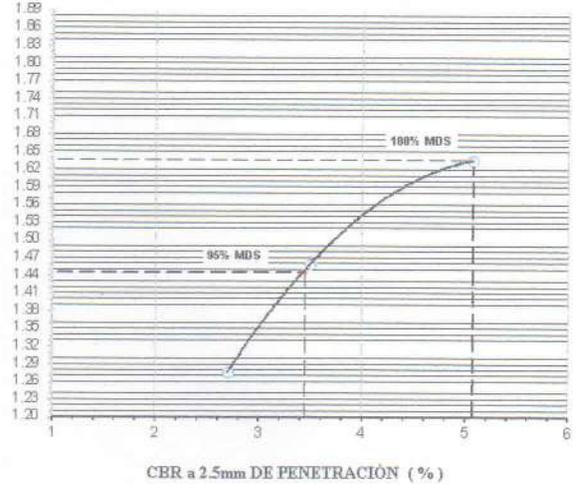
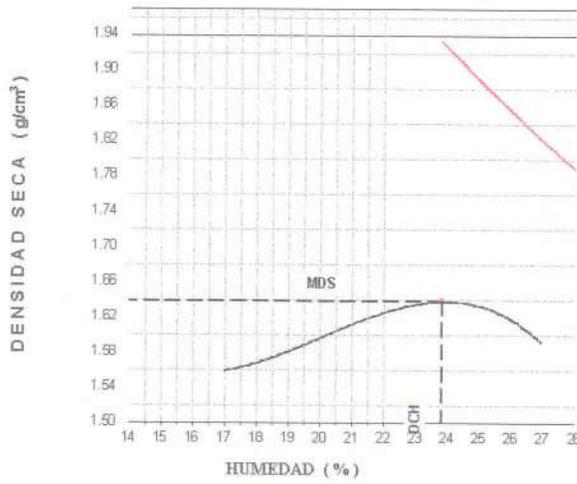
Características					
Numero de Molde		1	2	3	
Numero de Capas		5	5	5	
Numero de Golpe		56	25	12	
Energía Compactación [kg-cm]/cm <sup>3</sup>		27.7	12.2	6.1	
Densidad Seca [CBR ]					
01 - Peso suelo humedo + molde (g)		8,165.0	8,491.0	7,343.0	
02 - Peso del molde (g)		3,960.0	4,675.0	3,955.0	
03 - Peso suelo humedo (g)		4,205.0	3,816.0	3,388.0	
04 - Volumen de molde, cm <sup>3</sup>		2,085.000	2,117.000	2,140.000	
05 - Densidad suelo humedo (g/cm <sup>3</sup> )		2.017	1.803	1.583	
06 - Tarro N°		0.0	0.0	0.0	
07 - Peso suelo humedo + tarro (g)		423.5	392.5	452.0	
08 - Peso suelo seco + tarro (g)		383.0	350.0	405.0	
09 - Peso del agua (g)		40.5	42.5	47.0	
10 - Peso del tarro (g)		209.0	169.0	209.0	
11 - Peso suelo seco (g)		174.0	181.0	196.0	
12 - Contenido de humedad (%)		23.3	23.5	24.0	
13 - Densidad del suelo seco (g/cm <sup>3</sup> )		1.636	1.460	1.277	
Saturación					
Embebido	Fecha	Hora	Lec. Dial	Lec. Dial	Lec. Dial
Día 01	10-Feb-20	5.00PM	0.0	0.0	0.0
Día 02	11-Feb-20	5.00PM	3.95	4.20	4.10
Día 03	12-Feb-20	5.00PM	4.20	5.75	6.51
Día 04	13-Feb-20	5.00PM	4.85	6.80	8.02
Expansión, %			3.82	5.35	6.31
Absorción					
Numero de molde		1	2	3	
01 - Peso suelo humedo antes (g)		4,205.0	3,816.0	3,388.0	
02 - Peso suelo embebido + molde (g)		8,437.9	8,769.1	7,616.3	
03 - Peso del molde (g)		3,960.0	4,675.0	3,955.0	
04 - Peso suelo embebido (g)		4,477.9	4,094.1	3,661.3	
05 - Peso del agua absorbida (g)		272.9	278.1	273.3	
06 - Peso del suelo seco (g)		3,411.0	3,090.4	2,732.7	
07 - Absorción de agua (%)		8.0	9.0	10.0	
Penetración					
Factor Anillo: Carga [kgf.] = Lectura Dial * 4.2491345 + 27.92018					
Molde	1 [56 Golpes]		2 [25 Golpes]		3 [12 Golpes]
PEN. (mm)	Lec. Dial	Carga [Kgf.]	Lec. Dial	Carga [Kgf.]	Lec. Dial
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.63	3.0	40.7	1.0	32.2	0.0
1.3	5.0	49.2	2.0	36.4	0.0
1.9	7.0	57.7	3.0	40.7	1.0
2.5	9.0	66.16	4.0	44.92	2.0
3.2	11.0	74.7	5.0	49.2	3.0
3.8	13.0	83.2	6.0	53.4	4.0
5.08	15.0	91.7	7.0	57.7	5.0
7.6	17.0	100.2	8.0	61.9	6.0
10.16	19.0	108.7	9.0	66.2	7.0
12.7	21.0	117.2	10.0	70.4	8.0
Carga [%]	66.16 kgf. [4.9%]		44.92 kgf. [3.3%]		36.42 kgf. [2.7%]

UNIVERSIDAD SAN PEDRO  
 FACULTAD DE INGENIERIA  
 Lab. Mecánica de Suelos y Ensayos de Materiales  
 Mg. Miguel Solar-Jara  
 JEFE



**RELACIÓN DE SOPORTE - CBR [ ASTM D-1883 ]**

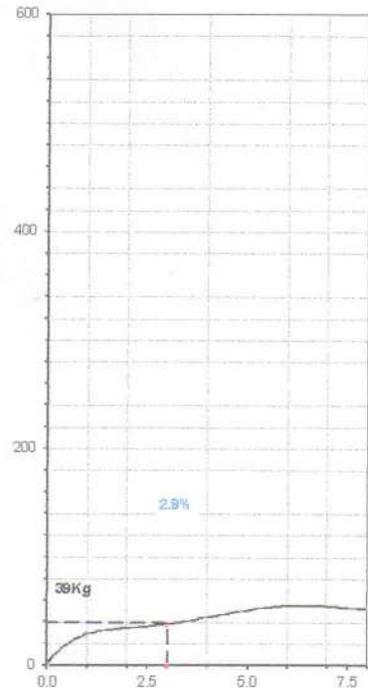
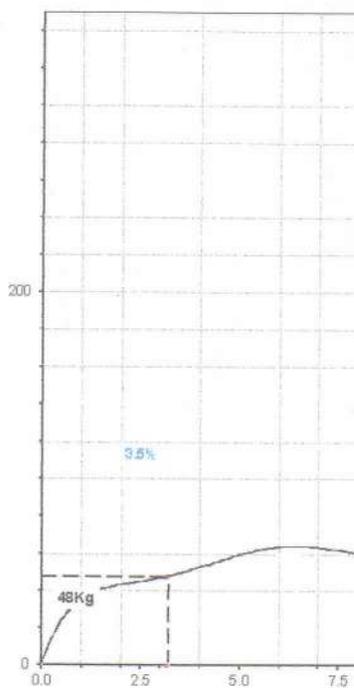
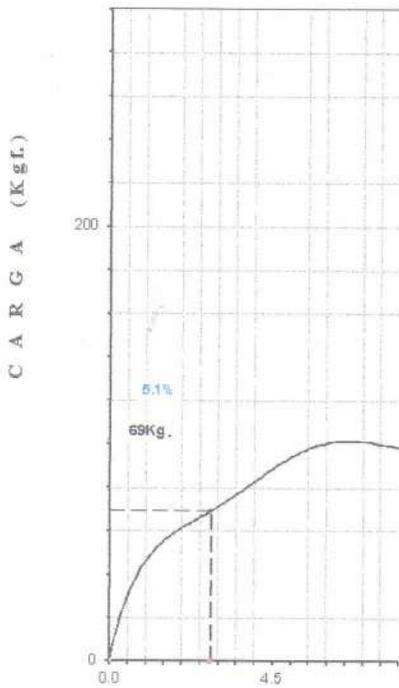
SOLICITA : BACH MORI ROSALES CLEDY ROXANA		MÉTODO DE COMPACTACIÓN (ASTM D-1557)		A	
CAPACIDAD DE SOPORTE DEL SUELO DE LA CARRETERA DEL CENTRO POBLADO DE CHINCHOBAMBA -SIJLAS CON LA ADICIÓN DE 5% DE CENIZA DE HOJAS DE PINO Y 10% DE CENIZA DE MARUCHA (DONAX OBESULUS)		MÁXIMA DENSIDAD SECA (g/cm <sup>3</sup> )		1.639	
MATERIAL : TERRENO NATURAL		ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%)		23.8	
CALICATA : J		CBR AL 100% DE LA M.D.S. (%)		5.1	
UBICACIÓN : SIJLAS - SANTA - ANCASH		CBR AL 95% DE LA M.D.S. (%)		3.5	
FECHA : 05-Mar-2020		SUCS :	LL : --	IP : --	G <sub>s</sub> : --
		AASHTO :	EMBEBIDO : 4 días	EXPANSIÓN :	3.8 %
		ABSORCIÓN :	8.0 %	HUMEDAD DE PENETRACIÓN :	31.8 %



- EC = 56 GOLPES ( 27.7 Kg-cm/cm<sup>3</sup> )

- EC = 25 GOLPES ( 12.2 Kg-cm/cm<sup>3</sup> )

- EC = 12 GOLPES ( 6.1 Kg-cm/cm<sup>3</sup> )



P E N E T R A C I Ó N ( m m )



**Mg. Miguel Solís Jara**  
JEFE



**RELACIÓN DE SOPORTE - CBR**

**NORMA ASTM D- 1883**

SOLICITA : BACH.MORI ROSALES CLEDY ROXANA  
 TESIS : CAPACIDAD DE SOPORTE DEL SUELO DE LA CARRETERA DEL CENTRO POBLADO DE CHINCHOBAMBA -SIHUAS  
 CON LA ADICION DE 5% DE CENIZA DE HOJAS DE PINO Y 10% DE CENIZA DE MARUCHA (DONAX OBESULUS)  
 MATERIAL : SUELO NATURAL  
 CALICATA : ,2  
 LUGAR : SIHUAS - SANTA - ANCASH  
 FECHA : 05/03/2020

Características					
Numero de Molde		1	2	3	
Numero de Capas		5	5	5	
Numero de Golpe		56	25	12	
Energia Compactacion [kg-cm]/cm³		27.7	12.2	6.1	
Densidad Seca [CBR ]					
01 - Peso suelo humedo + molde (g)		8,470.0	8,560.0	8,495.0	
02 - Peso del molde (g)		4,130.0	4,485.0	4,780.0	
03 - Peso suelo humedo (g)		4,340.0	4,075.0	3,715.0	
04 - Volumen de molde, cm³		2,112.000	2,117.000	2,140.000	
05 - Densidad suelo humedo (g/cm³)		2.055	1.925	1.736	
06 - Tarro N°		0.0	0.0	0.0	
07 - Peso suelo humedo + tarro (g)		485.0	355.0	375.0	
08 - Peso suelo seco + tarro (g)		419.0	310.5	330.5	
09 - Peso del agua (g)		66.0	44.5	44.5	
10 - Peso del tarro (g)		60.0	70.0	85.0	
11 - Peso suelo seco (g)		359.0	240.5	245.5	
12 - Contenido de humedad (%)		18.4	18.5	18.1	
13 - Densidad del suelo seco (g/cm³)		1.736	1.624	1.470	
Saturación					
Embebido	Fecha	Hora	Lec. Dial	Lec. Dial	Lec. Dial
Dia 01	10-Feb-20	5.00PM	0.0	0.0	0.0
Dia 02	11-Feb-20	5.00PM	3.15	3.80	4.08
Dia 03	12-Feb-20	5.00PM	4.05	5.26	6.02
Dia 04	13-Feb-20	5.00PM	4.75	6.53	7.57
Expansión, %			3.74	5.14	5.96
Absorcion					
Numero de molde		1	2	3	
01 - Peso suelo humedo antes (g)		4,340.0	4,075.0	3,715.0	
02 - Peso suelo embebido + molde (g)		8,799.9	8,972.6	8,966.7	
03 - Peso del molde (g)		4,130.0	4,485.0	4,780.0	
04 - Peso suelo embebido (g)		4,669.9	4,487.6	4,186.7	
05 - Peso del agua absorbida (g)		329.9	412.6	471.7	
06 - Peso del suelo seco (g)		3,666.0	3,438.7	3,144.9	
07 - Absorción de agua (%)		9.0	12.0	15.0	
Penetración					
Factor Anillo: Carga [kgf.] = Lectura Dial * 4.2491345 + 27.92018					
Molde	1 [56 Golpes]		2 [25 Golpes]		3 [12 Golpes]
PEN. (mm)	Lec. Dial	Carga [Kgf.]	Lec. Dial	Carga [Kgf.]	Lec. Dial
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.63	2.0	36.4	1.0	32.2	0.0
1.3	5.0	49.2	2.0	36.4	0.5
1.9	8.0	61.9	3.0	40.7	1.0
2.5	11.0	74.66	4.0	44.92	1.5
3.2	14.0	87.4	5.0	49.2	2.0
3.8	17.0	100.2	6.0	53.4	2.5
5.08	20.0	112.9	7.0	57.7	3.0
7.6	23.0	125.7	8.0	61.9	3.5
10.16	26.0	138.4	9.0	66.2	4.0
12.7	29.0	151.1	10.0	70.4	4.5
Carga [%]	74.66 kgf. [5.5%]		44.92 kgf. [3.3%]		

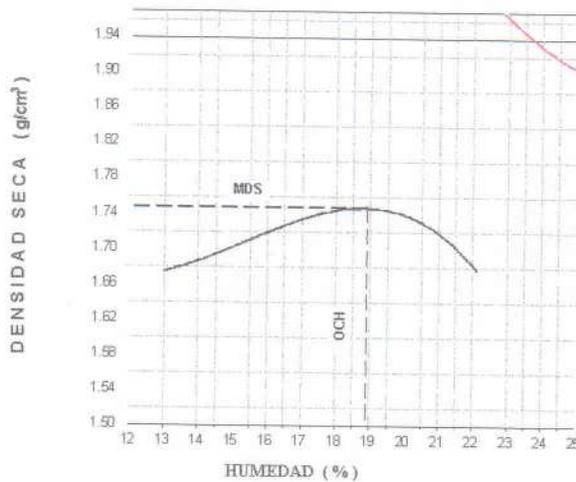
UNIVERSIDAD SAN PEDRO  
 FACULTAD DE INGENIERIA  
 Lic. Nicolás S. Siles y Ensayo de Materiales  
 Mg. Mguel Solar Jara  
 JEFE



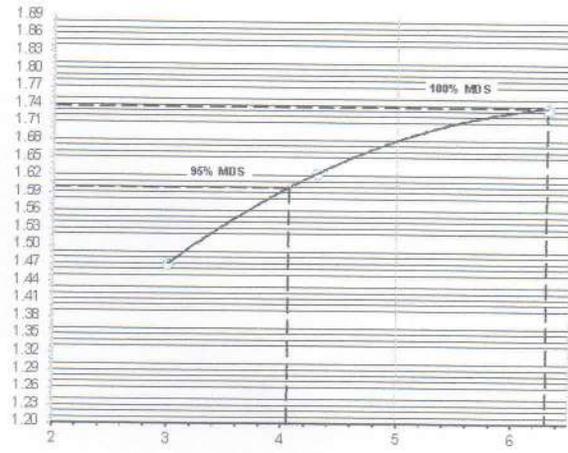
**RELACION DE SOPORTE - CBR [ ASTM D-1883 ]**

SOLICITA : BACHMORIROSALES CLEDY ROXANA
CAPACIDAD DE SOPORTE DEL SUELO DE LA CARRETERA DEL CENTRO POBLADO DE CHINCHOBAMBA - SHUJAS CON LA ADICION DE 5% DE CENIZA DE HOJAS DE PINO Y 10% DE CENIZA DE MARUCHA (DONAX OBESULUS)
MATERIAL : TERRENO NATURAL
CALICATA : 2
UBICACIÓN : SHUJAS - SANTA - ANCASH
FECHA : 05-Mar-2020

MÉTODO DE COMPACTACIÓN (ASTM D-1557)	A		
MÁXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm <sup>3</sup> )	1.748		
ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	16.9		
CBR AL 100% DE LA M.D.S. (%)	5.8		
CBR AL 95% DE LA M.D.S. (%)	3.6		
SUCS	LL : --	IP : --	G <sub>s</sub> : --
AASHTO	EMBEBIDO : 4 días		EXPANSIÓN : 3.7 %
ABSORCIÓN : 9.0 %	HUMEDAD DE PENETRACIÓN : 27.9 %		

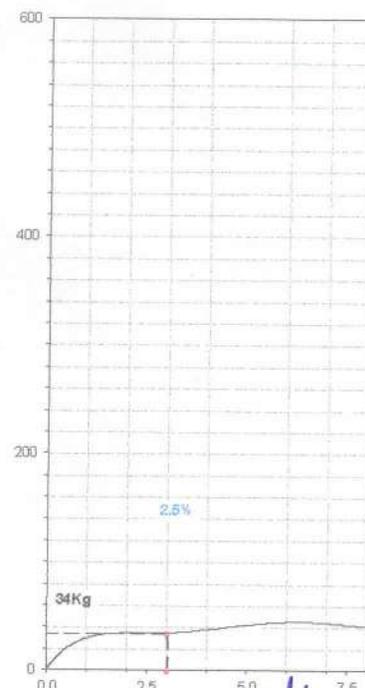
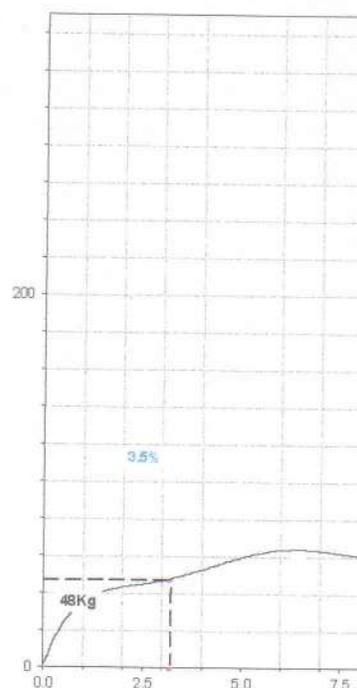
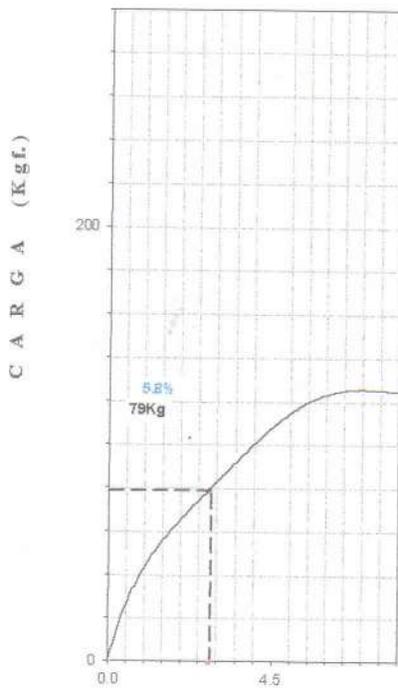


- EC= 56 GOLPES ( 27.7 Kg-cm/cm<sup>3</sup> )



- EC= 25 GOLPES ( 12.2 Kg-cm/cm<sup>3</sup> )

- EC = 12 GOLPES ( 6.1 Kg-cm/cm<sup>3</sup> )



P E N E T R A C I Ó N ( m m )



UNIVERSIDAD SAN PEDRO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
Lab. Mecánica de Suelos y Ensayo de Materiales

Mg. Miguel Solar Jara  
JEFE



**RELACIÓN DE SOPORTE - CBR**

**NORMA ASTM D- 1883**

SOLICITA : BACH.MORI ROSALES CLEDY ROXANA  
 TESIS : CAPACIDAD DE SOPORTE DEL SUELO DE LA CARRETERA DEL CENTRO POBLADO DE CHINCHOBAMBA -SIHUAS  
 CON LA ADICION DE 5% DE CENIZA DE HOJAS DE PINO Y 10% DE CENIZA DE MARUCHA (DONAX OBESULUS)  
 MATERIAL : SUELO NATURAL  
 CALICATA : .3  
 LUGAR : SIHUAS - SANTA - ANCASH  
 FECHA : 05/03/2020

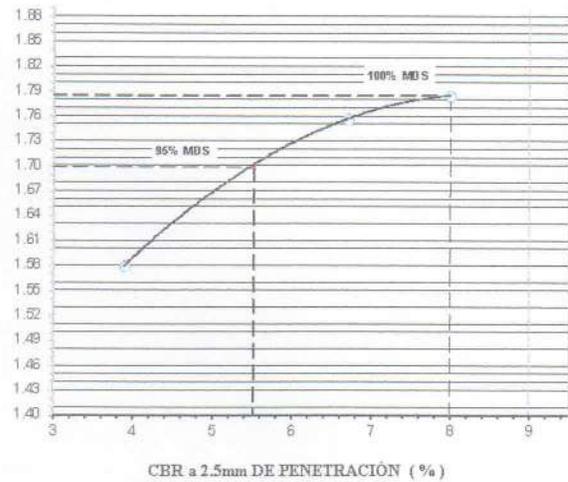
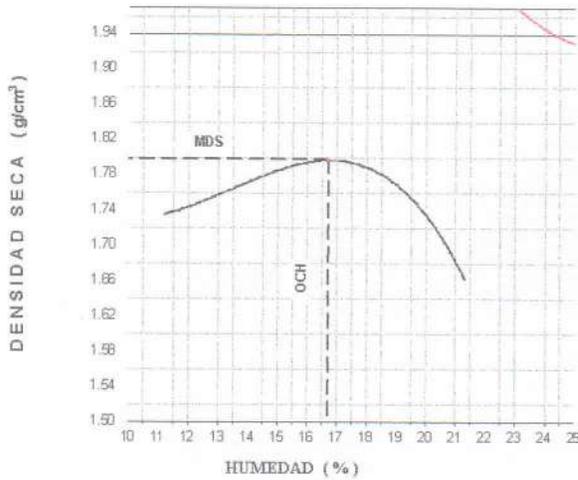
Características						
Numero de Molde	1		2		3	
Numero de Capas	5		5		5	
Numero de Golpe	56		25		12	
Energia Compactacion [kg-cm]/cm <sup>2</sup>	27.7		12.2		6.1	
Densidad Seca [CBR ]						
01 - Peso suelo humedo + molde (g)	8,555.0		8,990.0		7,895.0	
02 - Peso del molde (g)	3,960.0		4,670.0		3,955.0	
03 - Peso suelo humedo (g)	4,595.0		4,320.0		3,940.0	
04 - Volumen de molde, cm <sup>3</sup>	2,206.000		2,117.000		2,140.000	
05 - Densidad suelo humedo (g/cm <sup>3</sup> )	2.083		2.041		1.841	
06 - Tarro N°	0.0		0.0		0.0	
07 - Peso suelo humedo + tarro (g)	465.0		440.0		440.0	
08 - Peso suelo seco + tarro (g)	425.0		408.0		406.0	
09 - Peso del agua (g)	40.0		32.0		34.0	
10 - Peso del tarro (g)	185.0		210.0		200.0	
11 - Peso suelo seco (g)	240.0		198.0		206.0	
12 - Contenido de humedad (%)	16.7		16.2		16.5	
13 - Densidad del suelo seco (g/cm <sup>3</sup> )	1.785		1.757		1.580	
Saturación						
Embebido	Fecha	Hora	Lec. Dial	Lec. Dial	Lec. Dial	
Dia 01	10-Feb-20	5.00PM	0.0	0.0	0.0	
Dia 02	11-Feb-20	5.00PM	2.95	3.20	4.08	
Dia 03	12-Feb-20	5.00PM	3.85	4.35	5.41	
Dia 04	13-Feb-20	5.00PM	5.20	6.25	6.80	
Expansión, %			4.09	4.92	5.35	
Absorcion						
Numero de molde	1		2		3	
01 - Peso suelo humedo antes (g)	4,595.0		4,320.0		3,940.0	
02 - Peso suelo embebido + molde (g)	8,909.5		9,399.1		8,300.8	
03 - Peso del molde (g)	3,960.0		4,670.0		3,955.0	
04 - Peso suelo embebido (g)	4,949.5		4,729.1		4,345.8	
05 - Peso del agua absorbida (g)	354.5		409.1		405.8	
06 - Peso del suelo seco (g)	3,938.6		3,719.0		3,381.8	
07 - Absorcion de agua (%)	9.0		11.0		12.0	
Penetración						
Factor Anillo: Carga [kgf.] = Lectura Dial * 4.2491345 + 27.92018						
Molde	1 [56 Golpes]		2 [25 Golpes]		3 [12 Golpes]	
PEN. (mm)	Lec. Dial	Carga [Kgf.]	Lec. Dial	Carga [Kgf.]	Lec. Dial	Carga [Kgf.]
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.63	4.0	44.9	3.0	40.7	1.0	32.2
1.3	8.0	61.9	4.0	44.9	2.0	36.4
1.9	12.0	78.9	6.0	53.4	3.0	40.7
2.5	16.0	95.91	8.0	61.91	4.0	44.92
3.2	20.0	112.9	10.0	70.4	5.0	49.2
3.8	24.0	129.9	12.0	78.9	6.0	53.4
5.08	28.0	146.9	14.0	87.4	7.0	57.7
7.6	32.0	163.9	16.0	95.9	8.0	61.9
10.16	36.0	180.9	18.0	104.4	9.0	66.2
12.7	40.0	197.9	20.0	112.9	10.0	70.4
Carga [%]	95.91 kgf. [7%]		61.91 kgf. [4.6%]			

UNIVERSIDAD SAN PEDRO  
 FACULTAD DE INGENIERIA  
 Lab. Mecanica de Suelos y Ensayo de Materiales  
 Mg. Miguel Solar Jara  
 JEFE



**RELACIÓN DE SOPORTE - CBR [ ASTM D-1883 ]**

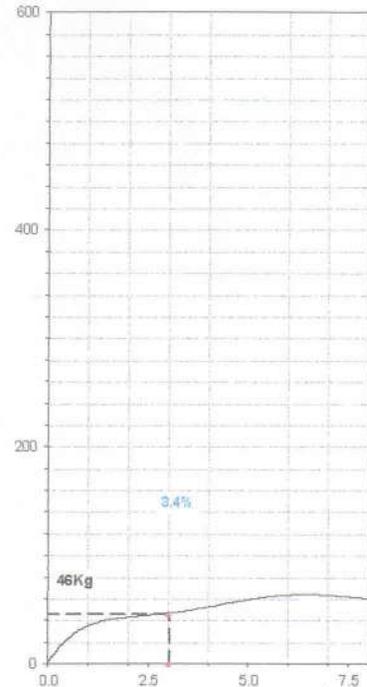
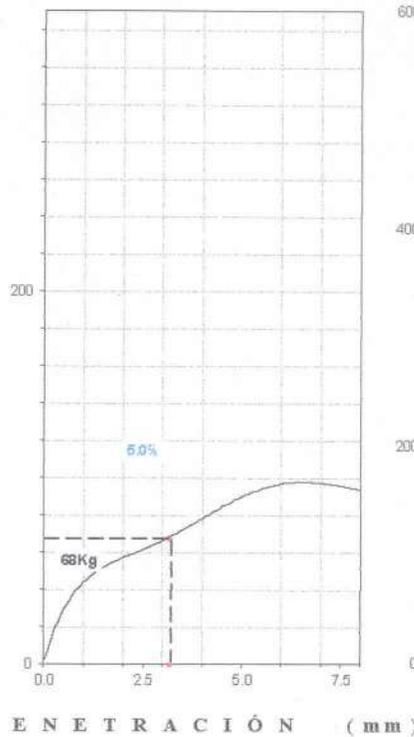
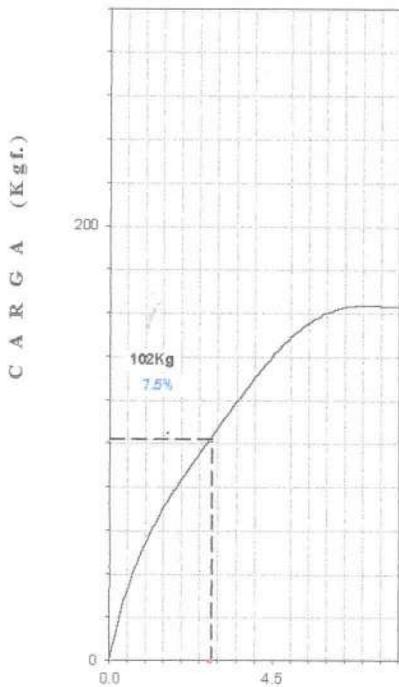
SOLICITA : BACH.MORI ROSALES CLEDY ROXANA		MÉTODO DE COMPACTACIÓN (ASTM D-1557)		A	
CAPACIDAD DE SOPORTE DEL SUELO DE LA CARRETERA DEL CENTRO POBLADO DE CHINCHOBAMBA-SHUAS CON LA ADICIÓN DE 5% DE CENIZA DE HOJAS DE PINO Y 10% DE CENIZA DE MARUCHA (DONAX OBESULUS)		MÁXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm <sup>3</sup> )		1.798	
MATERIAL : TERRENO NATURAL		ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%)		16.7	
CALICATA : 3		CBR AL 100% DE LA M.D.S. (%)		7.5	
UBICACIÓN : SHUAS - SANTA - ANCASH		CBR AL 95% DE LA M.D.S. (%)		5.0	
FECHA : 05-Mar-2020		SUCS	LL	IP	G <sub>s</sub>
		AASHTO	EMBEBIDO : 4 días	EXPANSIÓN	4.1 %
		ABSORCIÓN : 9.0 %	HUMEDAD DE PENETRACIÓN	25.7 %	



- EC = 56 GOLPES ( 27.7 Kg-cm/cm<sup>3</sup> )

- EC = 25 GOLPES ( 12.2 Kg-cm/cm<sup>3</sup> )

- EC = 12 GOLPES ( 6.1 Kg-cm/cm<sup>3</sup> )



PENETRACIÓN ( mm )



UNIVERSIDAD SAN PEDRO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
Lab. Mecánica de Suelos y Ensayo de Materiales

Mg. Miguel Solar Jara  
JEFE



**RELACIÓN DE SOPORTE - CBR-EXPERIMENTAL**  
NORMA ASTM D- 1883

SOLICITA : BACH.MORI ROSALES CLEDY ROXANA  
 TESIS : CAPACIDAD DE SOPORTE DEL SUELO DE LA CARRETERA DEL CENTRO POBLADO DE CHINCHOBAMBA -SIHUAS  
 CON LA ADICION DE 5% DE CENIZA DE HOJAS DE PINO Y 10% DE CENIZA DE MARUCHA (DONAX OBESULUS)  
 MATERIAL : SUELO NATURAL  
 CALICATA : .1  
 LUGAR : SIHUAS - SANTA - ANCASH  
 FECHA : 05/03/2020

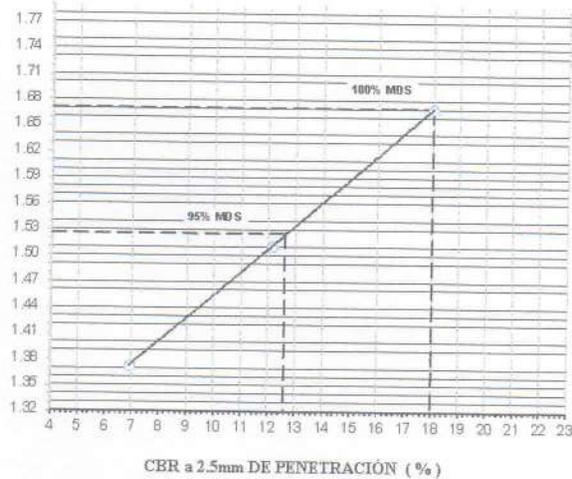
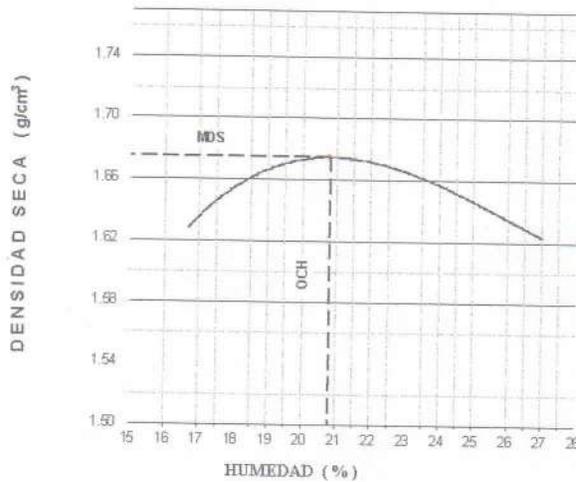
Características						
Numero de Molde	1		2		3	
Numero de Capas	5		5		5	
Numero de Golpe	56		25		12	
Energia Compactacion [kg-cm]/cm³	27.7		12.2		6.1	
<b>Densidad Seca [CBR ]</b>						
01 - Peso suelo humedo + molde (g)	8,168.0		8,528.0		7,498.0	
02 - Peso del molde (g)	3,960.0		4,675.0		3,955.0	
03 - Peso suelo humedo (g)	4,208.0		3,853.0		3,543.0	
04 - Volumen de molde, cm³	2,085.000		2,117.000		2,140.000	
05 - Densidad suelo humedo (g/cm³)	2.018		1.820		1.656	
06 - Tarro N°	0.0		0.0		0.0	
07 - Peso suelo humedo + tarro (g)	415.5		398.0		423.0	
08 - Peso suelo seco + tarro (g)	380.0		361.0		385.0	
09 - Peso del agua (g)	35.5		37.0		38.0	
10 - Peso del tarro (g)	209.0		180.0		200.0	
11 - Peso suelo seco (g)	171.0		181.0		185.0	
12 - Contenido de humedad (%)	20.8		20.4		20.5	
13 - Densidad del suelo seco (g/cm³)	1.671		1.511		1.373	
<b>Saturación</b>						
Embebido	Fecha	Hora	Lec. Dial	Lec. Dial	Lec. Dial	
Dia 01	10-Feb-20	5.00PM	0.0	0.0	0.0	
Dia 02	11-Feb-20	5.00PM	1.70	2.13	2.64	
Dia 03	12-Feb-20	5.00PM	2.52	3.52	3.85	
Dia 04	13-Feb-20	5.00PM	2.84	4.25	5.27	
Expansión, %			2.24	3.35	4.15	
<b>Absorción</b>						
Numero de molde	1		2		3	
01 - Peso suelo humedo antes (g)	4,208.0		3,853.0		3,543.0	
02 - Peso suelo embebido + molde (g)	8,411.9		8,815.9		7,850.7	
03 - Peso del molde (g)	3,960.0		4,675.0		3,955.0	
04 - Peso suelo embebido (g)	4,451.9		4,140.9		3,895.7	
05 - Peso del agua absorbida (g)	243.9		287.9		352.7	
06 - Peso del suelo seco (g)	3,484.6		3,199.1		2,939.3	
07 - Absorción de agua (%)	7.0		9.0		12.0	
<b>Penetración</b>						
Factor Anillo: Carga [kgf.] = Lectura Dial * 4.2491345 + 27.92018						
Molde	1 [56 Golpes]		2 [25 Golpes]		3 [12 Golpes]	
PEN. (mm)	Lec. Dial	Carga [Kgf.]	Lec. Dial	Carga [Kgf.]	Lec. Dial	Carga [Kgf.]
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.63	7.0	57.7	4.0	44.9	3.0	40.7
1.3	15.0	91.7	8.0	61.9	6.0	53.4
1.9	29.0	151.1	16.0	95.9	10.0	70.4
2.5	45.0	219.13	24.0	129.90	13.0	83.16
3.2	61.0	287.1	31.0	159.6	17.0	100.2
3.8	74.0	342.4	40.0	197.9	20.0	112.9
5.08	86.0	393.3	47.0	227.6	23.0	125.7
7.6	100.0	452.8	56.0	265.9	28.0	146.9
10.16	115.0	516.6	64.0	299.9	31.0	159.6
12.7	129.0	576.1	75.0	346.6	35.0	176.6
Carga [%]	219.13 kgf. [16.1%]		129.9 kgf. [9.5%]		83.16 kgf. [6.1%]	

UNIVERSIDAD SAN PEDRO  
 FACULTAD DE INGENIERIA  
 Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayo de Materiales  
 Mg. Miguel Solari Jara  
 ICFE



**RELACION DE SOPORTE - CBR [ASTM D-1883]-EXPERIMENTAL**

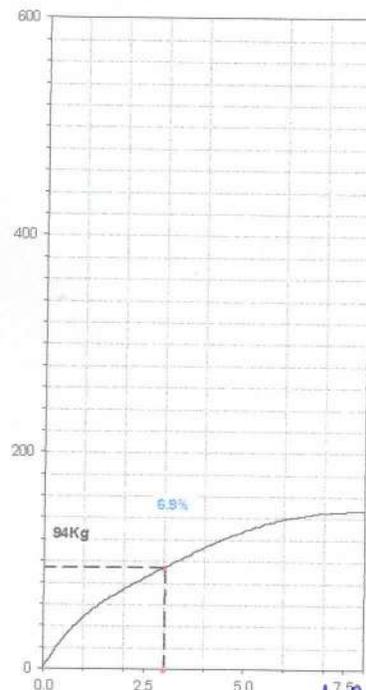
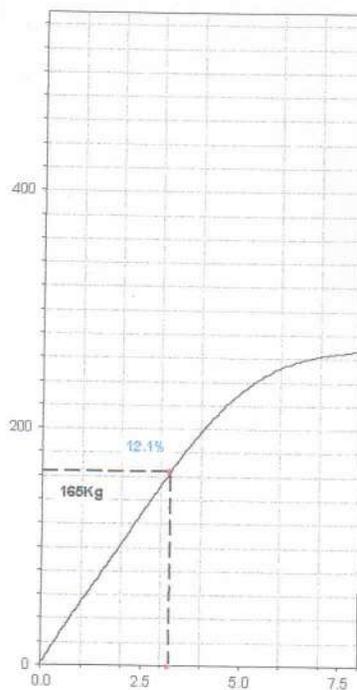
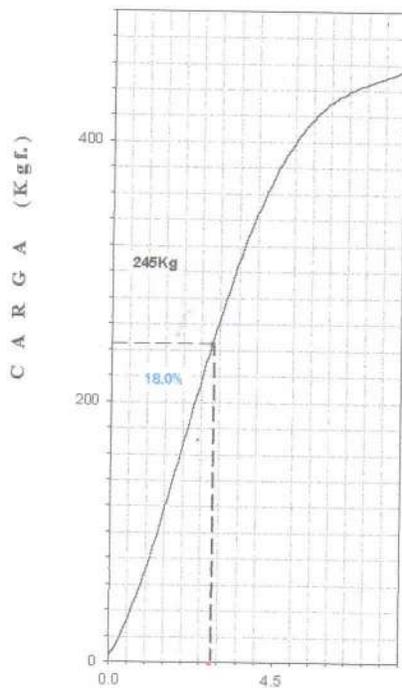
SOLICITA : BACHMORI ROSALES CLEDY ROXANA		MÉTODO DE COMPACTACIÓN (ASTM D-1557)		A	
CAPACIDAD DE SOPORTE DEL SUELO DE LA CARRETERA DEL CENTRO POBLADO DE CHINCHOBAMBA - SIHUAS CON LA ADICIÓN DE 5% DE CENIZA DE HOJAS DE PINO Y 10% DE CENIZA DE MARUCHA (DONAX OBESULUS)		MÁXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm <sup>3</sup> )		1.675	
MATERIAL : TERRENO NATURAL		ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%)		20.8	
CALICATA : J		CBR AL 100% DE LA M.D.S. (%)		18.0	
UBICACIÓN : SIHUAS - SANTA - ANCASH		CBR AL 95% DE LA M.D.S. (%)		12.6	
FECHA : 05-Mar-2020		SUCS :	LL : --	IP : --	G <sub>s</sub> : --
		AASHTO :	EMBEBIDO : 4 días	EXPANSIÓN :	2.2 %
		ABSORCIÓN :	7.0 %	HUMEDAD DE PENETRACIÓN :	27.8 %



- EC= 56 GOLPES ( 27.7 Kg-cm/cm<sup>3</sup> )

- EC= 25 GOLPES ( 12.2 Kg-cm/cm<sup>3</sup> )

- EC= 12 GOLPES ( 6.1 Kg-cm/cm<sup>3</sup> )



**PENETRACIÓN ( mm )**

UNIVERSIDAD SAN PEDRO  
FACULTAD DE INGENIERIA  
Lab. Mecánica de Suelos y Ensayo de Materiales

**Mg. Miguel Solar Jara**  
JEFE



**RELACIÓN DE SOPORTE - CBR-EXPERIMENTAL  
NORMA ASTM D- 1883**

SOLICITA : BACH.MORI ROSALES CLEDY ROXANA  
 TESIS : CAPACIDAD DE SOPORTE DEL SUELO DE LA CARRETERA DEL CENTRO POBLADO DE CHINCHOBAMBA -SIHUAS  
 CON LA ADICION DE 5% DE CENIZA DE HOJAS DE PINO Y 10% DE CENIZA DE MARUCHA (DONAX OBESULUS)  
 MATERIAL : SUELO NATURAL  
 CALICATA : 2  
 LUGAR : SIHUAS - SANTA - ANCASH  
 FECHA : 05/03/2020

Características						
Numero de Molde	1		2		3	
Numero de Capas	5		5		5	
Numero de Golpe	56		25		12	
Energia Compactacion [kg-cm]/cm <sup>3</sup>	27.7		12.2		6.1	
<b>Densidad Seca [CBR]</b>						
01 - Peso suelo humedo + molde (g)	8,422.0		8,400.0		8,335.0	
02 - Peso del molde (g)	4,130.0		4,485.0		4,780.0	
03 - Peso suelo humedo (g)	4,292.0		3,915.0		3,555.0	
04 - Volumen de molde, cm <sup>3</sup>	2,112.000		2,117.000		2,140.000	
05 - Densidad suelo humedo (g/cm <sup>3</sup> )	2.032		1.849		1.661	
06 - Tarro N°	0.0		0.0		0.0	
07 - Peso suelo humedo + tarro (g)	500.0		560.0		470.0	
08 - Peso suelo seco + tarro (g)	458.0		515.0		419.0	
09 - Peso del agua (g)	42.0		45.0		51.0	
10 - Peso del tarro (g)	165.0		200.0		70.0	
11 - Peso suelo seco (g)	293.0		315.0		349.0	
12 - Contenido de humedad (%)	14.3		14.3		14.6	
13 - Densidad del suelo seco (g/cm <sup>3</sup> )	1.777		1.618		1.449	
<b>Saturación</b>						
Embebido	Fecha	Hora	Lec. Dial	Lec. Dial	Lec. Dial	
Dia 01	10-Feb-20	5.00PM	0.0	0.0	0.0	
Dia 02	11-Feb-20	5.00PM	1.89	2.12	3.21	
Dia 03	12-Feb-20	5.00PM	2.46	2.96	4.65	
Dia 04	13-Feb-20	5.00PM	2.91	3.58	5.04	
Expansión, %			2.29	2.82	3.97	
<b>Absorción</b>						
Numero de molde	1		2		3	
01 - Peso suelo humedo antes (g)	4,292.0		3,915.0		3,555.0	
02 - Peso suelo embebido + molde (g)	8,647.2		8,708.3		8,676.2	
03 - Peso del molde (g)	4,130.0		4,485.0		4,780.0	
04 - Peso suelo embebido (g)	4,517.2		4,223.3		3,896.2	
05 - Peso del agua absorbida (g)	225.2		308.3		341.2	
06 - Peso del suelo seco (g)	3,753.9		3,425.6		3,101.7	
07 - Absorción de agua (%)	6.0		9.0		11.0	
<b>Penetración</b>						
Factor Anillo: Carga [kgf.] = Lectura Dial * 4.2491345 + 27.92018						
Molde	1 [56 Golpes]		2 [25 Golpes]		3 [12 Golpes]	
PEN. (mm)	Lec. Dial	Carga [Kgf.]	Lec. Dial	Carga [Kgf.]	Lec. Dial	Carga [Kgf.]
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.63	9.0	66.2	6.0	53.4	3.0	40.7
1.3	18.0	104.4	10.0	70.4	6.0	53.4
1.9	37.0	185.1	21.0	117.2	12.0	78.9
2.5	52.0	248.88	32.0	163.89	18.0	104.40
3.2	68.0	316.9	40.0	197.9	24.0	129.9
3.8	87.0	397.6	51.0	244.6	30.0	155.4
5.08	105.0	474.1	62.0	291.4	36.0	180.9
7.6	125.0	559.1	72.0	333.9	42.0	206.4
10.16	144.0	639.8	82.0	376.3	48.0	231.9
12.7	162.0	716.3	93.0	423.1	54.0	257.4
Carga [%]	248.88 kgf. [18.3%]		163.89 kgf. [12%]			

UNIVERSIDAD SAN PEDRO  
 FACULTAD DE INGENIERÍA  
 Lab. Mecánica de Suelos / Ensayo de Materiales

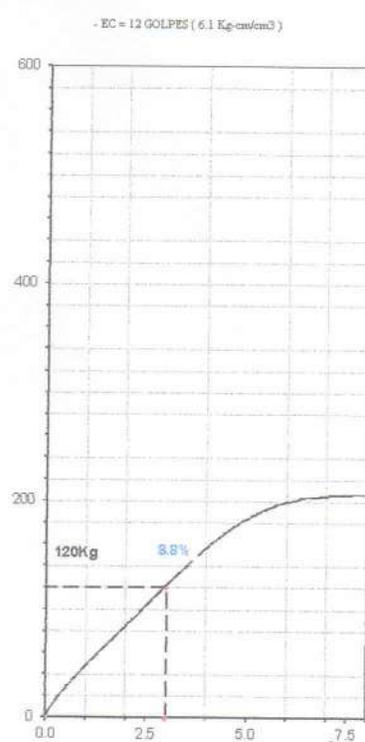
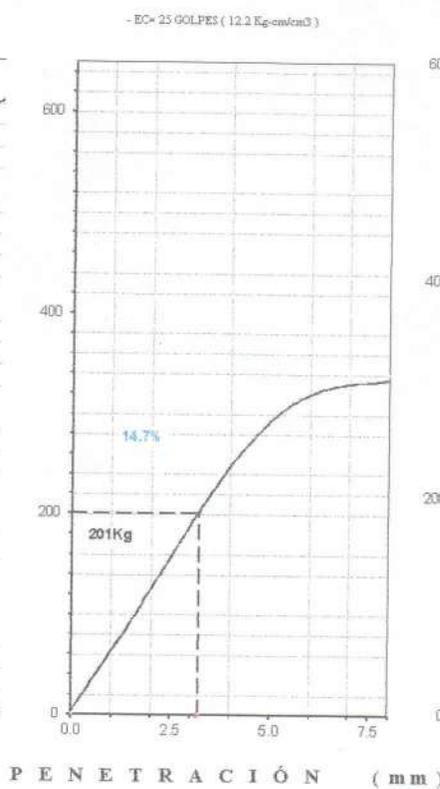
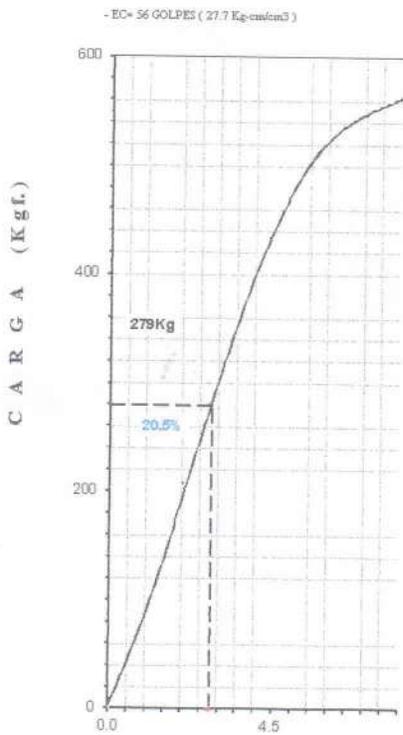
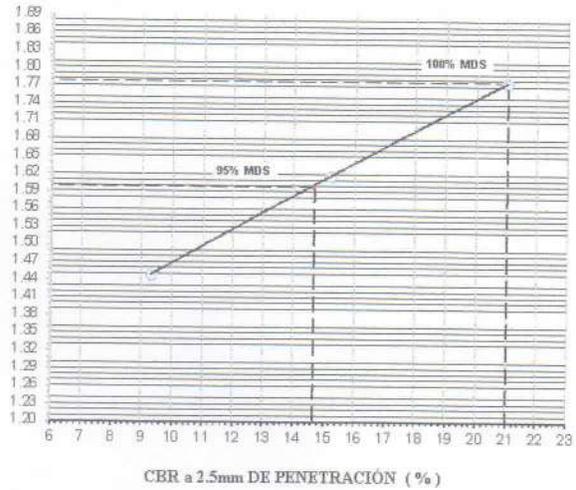
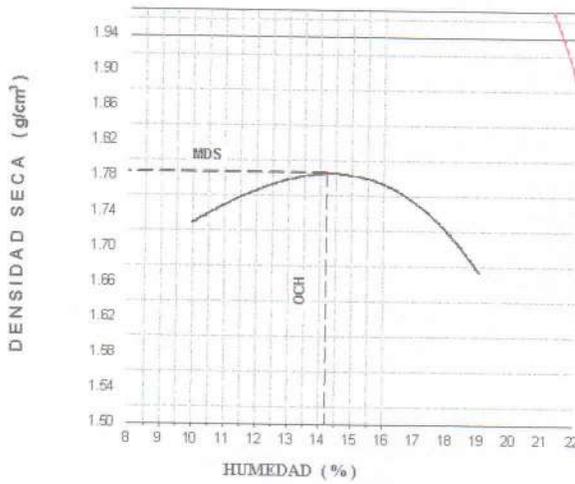
Mg. Miguel Solter Jara  
 JEFE



**RELACION DE SOPORTE - CBR [ ASTM D-1883 ]-EXPERIMENTAL**

SOLICITA	: BACH MORI ROSALES CLEDY ROXANA
CAPACIDAD DE SOPORTE DEL SUELO DE LA CARRETERA DEL CENTRO POBLADO DE CHINCHOBAMBA -SHUJA'S CON LA ADICION DE 5% DE CENIZA DE HOJAS DE PINO Y 10% DE CENIZA DE MARUCHA (DONAX OBESULUS)	
MATERIAL	: TERRENO NATURAL
CALICATA	: 2
UBICACIÓN	: SHUJA'S - SANTA - ANCASH
FECHA	: 05-Mar-2020

MÉTODO DE COMPACTACIÓN (ASTM D-1557)	A		
MÁXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm <sup>3</sup> )	1.786		
ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	14.2		
CBR AL 100% DE LA M.D.S. (%)	20.5		
CBR AL 95% DE LA M.D.S. (%)	14.2		
SUCS	LL : --	IP : --	G <sub>s</sub> : --
AASHTO	EMBEBIDO : 4 días	EXPANSIÓN :	2.3 %
ABSORCIÓN :	6.0 %	HUMEDAD DE PENETRACIÓN :	20.2 %



UNIVERSIDAD SAN PEDRO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
Lab. Mecánica de Suelos y Ensayo de Materiales

Mg. Miguel Solar Jara  
JEFE



**RELACIÓN DE SOPORTE - CBR-EXPERIMENTAL**

**NORMA ASTM D- 1883**

SOLICITA : BACH.MORI ROSALES CLEDY ROXANA  
 TESIS : CAPACIDAD DE SOPORTE DEL SUELO DE LA CARRETERA DEL CENTRO POBLADO DE CHINCHOBAMBA -SIHUAS  
 CON LA ADICION DE 5% DE CENIZA DE HOJAS DE PINO Y 10% DE CENIZA DE MARUCHA (DONAX OBESULUS)  
 MATERIAL : SUELO NATURAL  
 CALICATA : 3  
 LUGAR : SIHUAS - SANTA - ANCASH  
 FECHA : 05/03/2020

Características						
Numero de Molde	1		2		3	
Numero de Capas	5		5		5	
Numero de Golpe	56		25		12	
Energia Compactacion [kg-cm]/cm³	27.7		12.2		6.1	
Densidad Seca [CBR ]						
01 - Peso suelo humedo + molde (g)	8,609.0		8,958.0		8,256.0	
02 - Peso del molde (g)	3,960.0		4,670.0		3,955.0	
03 - Peso suelo humedo (g)	4,649.0		4,288.0		4,301.0	
04 - Volumen de molde, cm³	2,234.000		2,117.000		2,178.000	
05 - Densidad suelo humedo (g/cm³)	2.081		2.026		1.975	
06 - Tarro N°	0.0		0.0		0.0	
07 - Peso suelo humedo + tarro (g)	475.0		440.0		440.5	
08 - Peso suelo seco + tarro (g)	451.0		414.5		414.0	
09 - Peso del agua (g)	24.0		25.5		26.5	
10 - Peso del tarro (g)	255.0		212.0		200.0	
11 - Peso suelo seco (g)	196.0		202.5		214.0	
12 - Contenido de humedad (%)	12.2		12.6		12.4	
13 - Densidad del suelo seco (g/cm³)	1.854		1.799		1.757	
Saturación						
Embebido	Fecha	Hora	Lec. Dial	Lec. Dial	Lec. Dial	
Dia 01	10-Feb-20	5.00PM	0.0	0.0	0.0	
Dia 02	11-Feb-20	5.00PM	1.20	1.60	1.90	
Dia 03	12-Feb-20	5.00PM	1.80	2.10	2.64	
Dia 04	13-Feb-20	5.00PM	2.01	2.65	3.51	
Expansión, %			1.58	2.09	2.76	
Absorción						
Numero de molde	1		2		3	
01 - Peso suelo humedo antes (g)	4,649.0		4,288.0		4,301.0	
02 - Peso suelo embebido + molde (g)	8,733.3		9,186.5		8,562.2	
03 - Peso del molde (g)	3,960.0		4,670.0		3,955.0	
04 - Peso suelo embebido (g)	4,773.3		4,516.5		4,607.2	
05 - Peso del agua absorbida (g)	124.3		228.5		308.2	
06 - Peso del suelo seco (g)	4,141.8		3,808.4		3,827.1	
07 - Absorción de agua (%)	3.0		6.0		6.0	
Penetración						
Factor Anillo: Carga [kgf.] = Lectura Dial*4.2491345+27.92018						
Molde	1 [56 Golpes]		2 [25 Golpes]		3 [12 Golpes]	
PEN. (mm)	Lec. Dial	Carga [Kgf.]	Lec. Dial	Carga [Kgf.]	Lec. Dial	Carga [Kgf.]
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.63	11.0	74.7	8.0	61.9	6.0	53.4
1.3	20.0	112.9	16.0	95.9	12.0	78.9
1.9	39.0	193.6	32.0	163.9	25.0	134.1
2.5	58.0	274.37	48.0	231.88	38.0	189.39
3.2	79.0	363.6	65.0	304.1	51.0	244.6
3.8	98.0	444.3	81.0	372.1	64.0	299.9
5.08	117.0	525.1	97.0	440.1	77.0	355.1
7.6	135.0	601.6	113.0	508.1	90.0	410.3
10.16	154.0	682.3	129.0	576.1	103.0	465.6
12.7	174.0	767.3	145.0	644.0	116.0	520.8
Carga [%]	274.37 kgf. [20.2%]		231.88 kgf. [17%]			

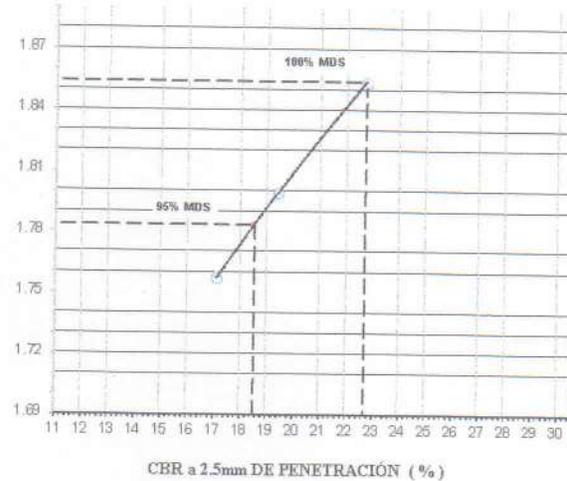
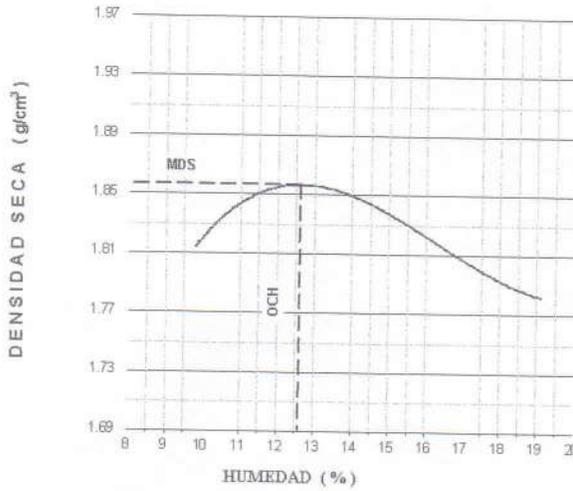
UNIVERSIDAD SAN PEDRO  
 FACULTAD DE INGENIERIA  
 LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES  
 Mg. Miguel Solar Jara



**RELACIÓN DE SOPORTE - CBR [ ASTM D-1883 ]-EXPERIMENTAL**

SOLICITA : BACH.MORI ROSALES CLEDY ROXANA
CAPACIDAD DE SOPORTE DEL SUELO DE LA CARRETERA DEL CENTRO POBLADO DE CHINCHOSAMBA -SIHUAS CON LA ADICIÓN DE 5% DE CENIZA DE HOJAS DE PINO Y 10% DE CENIZA DE MARLUCHA (DONAX OBESULUS)
MATERIAL : TERRENO NATURAL
CALICATA : 3
UBICACIÓN : SIHUAS - SANTA - ANCASH
FECHA : 05-Mar-2020

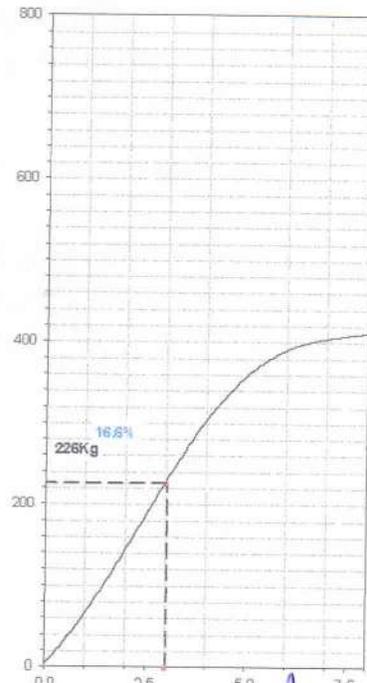
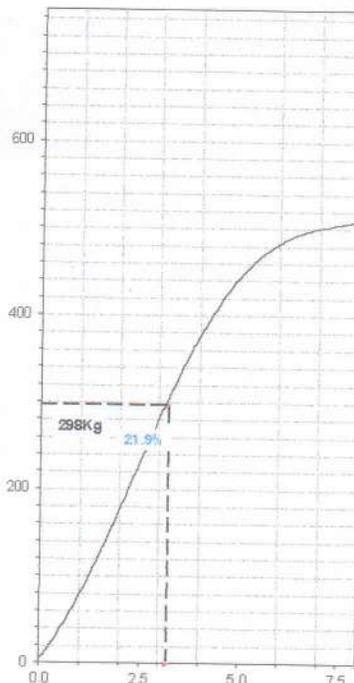
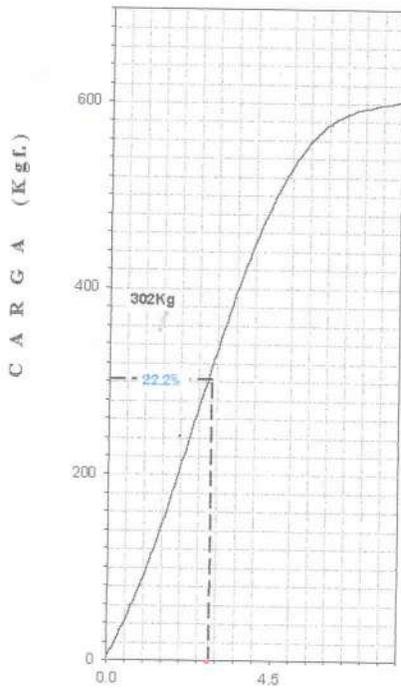
MÉTODO DE COMPACTACIÓN (ASTM D-1557)	A
MÁXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm <sup>3</sup> )	1.857
ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	12.6
CBR AL 100% DE LA M.D.S. (%)	22.2
CBR AL 95% DE LA M.D.S. (%)	18.0
SUCS	LL : -- IP : -- G <sub>s</sub> : --
AASHTO	EMBEBIDO : 4 días EXPANSIÓN : 1.6 %
ABSORCIÓN : 3.0 %	HUMEDAD DE PENETRACIÓN : 15.6 %



- EC= 56 GOLPES ( 27.7 Kg-cm/cm<sup>3</sup> )

- EC= 25 GOLPES ( 12.2 Kg-cm/cm<sup>3</sup> )

- EC = 12 GOLPES ( 6.1 Kg-cm/cm<sup>3</sup> )



P E N E T R A C I Ó N ( m m )



**UNIVERSIDAD SAN PEDRO**  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
Lab. Mecánica de Suelos y Ensayo de Materiales

**Mg. Miguel Solar Jara**  
JEFE