

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**Escuela Profesional de Ingeniería Civil**



**TESIS**

“Análisis comparativo de la capacidad de soporte a nivel de subrasante en suelos arcillosos incorporando ceniza de *Saccharum Officinarum* y activador alcalino en la trocha carrozable Sahuanay – Umaccata Tamburco Abancay 2021”

Presentado por:

**Bach. FREDY GUSTAVO ZAMBRANO SIERRA**

Para optar el Título Profesional de:

**INGENIERO CIVIL**

**Abancay - Apurímac – Perú**

**2022**

## **Tesis**

“Análisis comparativo de la capacidad de soporte a nivel de subrasante en suelos arcillosos incorporando ceniza de *Saccharum Officinarum* y activador alcalino en la trocha carrozable Sahuanay – Umaccata Tamburco Abancay 2021”

### **Línea de Investigación:**

Gestión de la infraestructura para el desarrollo sostenible

### **Asesor:**

Ing. Mg. Sc Ángel Maldonado Mendivil



**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

**“ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE A NIVEL DE SUBRASANTE EN SUELOS ARCILLOSOS INCORPORANDO CENIZA DE SACCHARUM OFFICINARUM Y ACTIVADOR ALCALINO EN LA TROCHA CARROZABLE SAHUANAY – UMACCATA TAMBURCO ABANCAY 2021”**

Presentado por el **Bach. FREDY GUSTAVO ZAMBRANO SIERRA**, para optar el título profesional de: **INGENIERO CIVIL.**

Sustentado y aprobado el 06 de diciembre del 2022 ante el jurado:

<b>Presidente</b>	: Mg. Calixto, Cañari Otero
<b>Primer Miembro</b>	: Mg. Fredy, Quispe Ferrel
<b>Segundo Miembro</b>	: Mg. Wilfredo, Soto Palomino
<b>Asesor</b>	: Mg. Sc Ángel Maldonado Mendívil

## **Dedicatoria**

“El presente trabajo se lo dedico a mi familia.

Con mucho cariño para mis padres; Fredy, Lily y a mi hermana Fernanda, agradecido por el esfuerzo y la fortaleza que me brindaron todo este tiempo”.

*Fredy Gustavo Zambrano Sierra*

## **Agradecimiento**

Es muy complicado mencionar a todas las personas que estuvieron apoyándome al realizar este trabajo de investigación, pero primeramente agradecer a mi familia por todo su apoyo. A la UTEA alma mater de Apurímac, a los profesores de la escuela profesional de ingeniería civil por transmitir sus saberes.

Agradecer al Ing. Edgar Acurio Cruz por asesorarme, y a mi gran amigo Jelsin por compartir sus saberes y su apoyo incondicional para desarrollar esta tesis.

## Índice de contenidos

Portada.....	i
Post Portada.....	ii
Página de Jurados .....	iii
Dedicatoria .....	iv
Agradecimiento .....	v
Índice de contenidos .....	vi
Índice de tablas .....	ix
Índice de figuras .....	x
Listado de ecuaciones.....	xii
Abreviaturas de términos .....	xiii
Resumen.....	xiv
Abstract.....	xv
Introducción.....	xvi
Capítulo I.....	1
Planteamiento del Problema .....	1
1.1. Realidad Problemática .....	1
1.2. Identificación y Formulación del Problema.....	4
1.2.1. <i>Problema General</i> .....	4
1.2.2. <i>Problemas Específicos</i> .....	4
1.3. Justificación de la Investigación .....	5
1.4. Objetivos de la Investigación.....	6
1.4.1. <i>Objetivo General</i> .....	6
1.4.2. <i>Objetivos Específicos</i> .....	6
1.5. Delimitaciones de la Investigación .....	7
1.5.1. <i>Espacial</i> .....	7
1.5.2. <i>Temporal</i> .....	7
1.5.3. <i>Social</i> .....	7
1.5.4. <i>Conceptual</i> .....	7
1.6. Limitaciones de la Investigación.....	8
Capítulo II.....	10
Marco Teórico .....	10
2.1. Antecedentes de Investigación .....	10
2.1.1. <i>A Nivel Internacional</i> .....	10

2.1.2.	<i>A Nivel Nacional</i> .....	14
2.1.3.	<i>A Nivel Regional y Local</i> .....	18
2.2.	Bases Teóricas .....	18
2.2.1.	<i>Ceniza de bagazo de saccharum officinarum</i> .....	18
2.2.2.	<i>Activadores Alcalinos</i> .....	21
2.2.3.	<i>Capacidad de Soporte de la Subrasante</i> .....	23
2.2.4.	<i>Definición de Suelo</i> .....	26
2.2.5.	<i>Ubicación, Muestreo y preparación de la Muestra de Suelo</i> .....	30
2.2.6.	<i>Análisis Granulométrico por Tamizado</i> .....	31
2.2.7.	<i>Determinación del Índice de Plasticidad (IP)</i> .....	35
2.2.8.	<i>Ensayo de Compactación de Suelos (Proctor Modificado)</i> .....	39
2.2.9.	<i>Relación de Soporte California (CBR)</i> .....	45
2.2.10.	<i>Procedimiento de la Investigación</i> .....	50
2.3.	Marco Conceptual .....	51
Capítulo III	.....	53
Metodología de la Investigación	.....	53
3.1.	Hipótesis .....	53
3.1.1.	<i>Hipótesis General</i> .....	53
3.1.2.	<i>Hipótesis Específicas</i> .....	53
3.2.	Método .....	54
3.3.	Tipo de Investigación .....	54
3.4.	Nivel o Alcance de la Investigación.....	55
3.5.	Diseño de la Investigación .....	55
3.6.	Operacionalización de Variables .....	56
3.7.	Población, Muestra y Muestreo.....	56
3.7.1.	<i>Población</i> .....	56
3.7.2.	<i>Muestra</i> .....	57
3.7.3.	<i>Muestreo</i> .....	57
3.8.	Técnicas e Instrumentos .....	58
3.9.	Consideraciones Éticas.....	59
3.10.	Procesamiento Estadístico.....	59
3.10.1.	<i>Procedimiento realizado a la prueba de hipótesis</i> .....	60
Capítulo IV	.....	65
Resultados y Discusión	.....	65
4.1.	Resultados .....	65

4.1.1.	<i>Ubicación de la Trocha Carrozable AP-611 y Muestreo</i> .....	65
4.1.2.	<i>Ubicación de lugares de acopio de Ceniza de saccharum officinarum</i> 69	
4.1.3.	<i>Activador Alcalino (NaOH)</i> .....	74
4.1.4.	<i>Límites de Consistencia e Índice de Plasticidad</i> .....	76
4.1.5.	<i>Proctor Modificado</i> .....	78
4.1.6.	<i>Capacidad de Soporte</i> .....	81
4.1.7.	<i>Rendimiento de la Ceniza para la aplicación en suelo arcilloso</i> .....	89
4.2.	<i>Discusión de Resultados</i> .....	90
4.3.	<i>Prueba de Hipótesis</i> .....	95
4.3.1.	<i>Hipótesis Específica 1</i> .....	95
4.3.2.	<i>Hipótesis Específica 2</i> .....	100
4.3.3.	<i>Hipótesis Específica 3</i> .....	105
	<i>Conclusiones</i> .....	111
	<i>Recomendaciones</i> .....	115
	<i>Referencias</i> .....	116
	<i>ANEXOS</i> .....	121
	<i>ANEXO 1: Matriz de Consistencia</i> .....	122
	<i>ANEXO 2: Instrumentos</i> .....	123
	<i>ANEXO 3: Resultados</i> .....	130
	<i>ANEXO 4: Panel Fotográfico</i> .....	160
	<i>ANEXO 5: Calibración de equipos</i> .....	165
	<i>ANEXO 6: Declaración de autenticidad y de no plagio</i> .....	170

## Índice de tablas

<b>Tabla 1</b>	Producción de Ceniza de Bagazo SACCHARUM OFFICINARUM.....	9
<b>Tabla 2</b>	Composición química del bagazo .....	20
<b>Tabla 3</b>	Puntos de muestra para poder llevar al laboratorio.....	30
<b>Tabla 4</b>	Métodos de Proctor Modificado .....	40
<b>Tabla 5</b>	Valores asignados de lectura de Carga (CBR) .....	48
<b>Tabla 6</b>	Operacionalización de la variable .....	56
<b>Tabla 7</b>	Análisis Granulométrico por Tamizado .....	67
<b>Tabla 8</b>	Resumen de Ensayos de Calicatas .....	69
<b>Tabla 9</b>	Costo Estimado de Ceniza Tamizada.....	72
<b>Tabla 10</b>	Resultados de Limites de Atterberg más adición de Ceniza .....	76
<b>Tabla 11</b>	Resultados de Limites de Atterberg más adición de Ceniza +NaOH.....	76
<b>Tabla 12</b>	Resultados de Ensayo de Proctor Modificado con adición de Ceniza.....	78
<b>Tabla 13</b>	Resultados de Ensayo de Proctor Modificado adición de Ceniza + NaOH.....	80
<b>Tabla 14</b>	Resultados de Ensayo CBR – Expansión con Adición de Ceniza.....	82
<b>Tabla 15</b>	Resultados de Ensayo CBR – Expansión con Adición de Ceniza + NaOH.....	83
<b>Tabla 16</b>	Resultados de Ensayo CBR con Adición de Ceniza .....	86
<b>Tabla 17</b>	Resultados de Ensayo CBR con Adición de Ceniza + NaOH.....	87
<b>Tabla 18</b>	Resultados de Ensayo CBR al 95%.....	88
<b>Tabla 19</b>	Cantidad de Ceniza por metro cubico .....	90
<b>Tabla 20</b>	Resultado de Hipótesis General con adición de Ceniza – Densidad Seca.....	96
<b>Tabla 21</b>	Resultado de Hipótesis General con adición de Ceniza+NaOH – Densidad Seca .....	99
<b>Tabla 22</b>	Resultado de Hipótesis General con adición de Ceniza - Expansión .....	102
<b>Tabla 23</b>	Resultado de Hipótesis General con adición de Ceniza+NaOH – Expansión .....	104
<b>Tabla 24</b>	Resultado de Hipótesis General con adición de Ceniza - IP .....	107
<b>Tabla 25</b>	Resultado de Hipótesis General con adición de Ceniza+NaOH - IP .....	109

## Índice de figuras

<b>Figura 1</b> Estructura tridimensional del gel N-A-S-H .....	23
<b>Figura 2</b> Categorías de Sub-rasante .....	25
<b>Figura 3</b> Número de calicatas para la exploración de suelos.....	26
<b>Figura 4</b> Tamices utilizados.....	32
<b>Figura 5</b> Pesos de muestra mínimos que retiene tamiz N° 4 .....	33
<b>Figura 6</b> tabla semilogarítmica .....	35
<b>Figura 7</b> Materiales para realizar ensayo de Limite Liquido.....	36
<b>Figura 8</b> Grafico Semilogarítmico (Limite Liquido).....	37
<b>Figura 9</b> Equipos para Ensayo de Proctor Modificado.....	41
<b>Figura 10</b> Tabla de Grafico de la Curva de Compactación .....	44
<b>Figura 11</b> Equipo CBR para Penetración .....	45
<b>Figura 12</b> Grafico de Penetración vs Carga .....	49
<b>Figura 13</b> Densidad Seca vs CBR.....	49
<b>Figura 14</b> Distribución “t” Student. ....	63
<b>Figura 15</b> Diagrama de distribución “t” Student .....	63
<b>Figura 16</b> Ubicación de la Carretera.....	66
<b>Figura 17</b> Curva Granulométrica .....	68
<b>Figura 18</b> Puntos de Acopio de Ceniza .....	70
<b>Figura 19</b> Hornos de Combustión de Bagazo de Saccharum Officinarum.....	71
<b>Figura 20</b> Secado de la Ceniza de Bagazo de Saccharum Officinarum .....	72
<b>Figura 21</b> Ensayo de Gravedad Especifica de la ceniza.....	73
<b>Figura 22</b> Peso Específico de la Ceniza.....	74
<b>Figura 23</b> Soda Caustica (NaOH) – venta comercial.....	75
<b>Figura 24</b> Resultados de Limites de Atterberg más adición de Ceniza .....	77
<b>Figura 25</b> Resultados de Limites de Atterberg más adición de Ceniza + NaOH .....	77
<b>Figura 26</b> Resultados de Ensayo de Proctor Modificado adición de Ceniza .....	79
<b>Figura 27</b> Resultados de Ensayo de Proctor Modificado con adición de Ceniza + NaOH .....	80
<b>Figura 28</b> Saturación de las Muestras – Expansión .....	81
<b>Figura 29</b> Resultados de Ensayo CBR – Expansión con Adición de Ceniza .....	82
<b>Figura 30</b> Resultados de Ensayo CBR – Expansión con Adición de Ceniza + NaOH.....	83
<b>Figura 31</b> Relación entre potencial de expansión e índice de plasticidad .....	84
<b>Figura 32</b> Ensayo de CBR – Resistencia al Esfuerzo Cortante .....	85
<b>Figura 33</b> Ensayo de CBR – Resistencia al Esfuerzo Cortante finalizado .....	85
<b>Figura 34</b> Ensayo CBR con Adición de Ceniza .....	86

<b>Figura 35</b> Resultados de Ensayo CBR con Adición de Ceniza + NaOH .....	87
<b>Figura 36</b> Resultados de Ensayo CBR al 95%Fuente: Elaboración propia.....	89
<b>Figura 37</b> Cantidad de Ceniza por metro cubico .....	90
<b>Figura 38</b> Diagrama de los estadísticos de la muestra con adición de Ceniza – Densidad Seca .....	97
<b>Figura 39</b> Diagrama de los estadísticos de la muestra con adición de Ceniza+NaOH – Densidad Seca .....	99
<b>Figura 40</b> Diagrama de los estadísticos de la muestra con adición de Ceniza – Expansión .....	102
<b>Figura 41</b> Diagrama de los estadísticos de la muestra con adición de Ceniza+NaOH - Expansión.....	105
<b>Figura 42</b> Diagrama de los estadísticos de la muestra con adición de Ceniza - IP.....	107
<b>Figura 43</b> Diagrama de los estadísticos de la muestra con adición de Ceniza+NaOH - IP .....	110

## Listado de ecuaciones

(1) Porcentaje Retenido en Tamiz .....	34
(2) Porcentaje que sobrepasa Tamiz N° 200.....	34
(3) Porcentaje que pasa en Tamices.....	34
(4) Porcentaje de Humedad - Limite Liquido .....	37
(5) Límite Plastico .....	39
(6) Índice de Plasticidad .....	39
(7) Porcentaje de Humedad - Proctor Modificado .....	43
(8) Densidad Húmeda- Proctor Modificado .....	44
(9) Densidad Seca- Proctor Modificado .....	44
(10) Porcentaje de Expansión .....	47
(11) Valor CBR.....	48
(12) t calculado con adición de Ceniza.....	61
(13) $t = s^2$ varianza con adición de Ceniza.....	61
(14) t calculado con adición de Ceniza + NaOH.....	62
(15) $t = s^2$ varianza con adición de Ceniza + NaOH.....	62
(16) Peso Especifico - Ceniza .....	73
(17) Molaridad .....	75

### **Abreviaturas de términos**

<b>CBCA</b>	: Ceniza de Bagazo de Caña de Azúcar
<b>SACCHARUM OFFICINARUM</b>	: Nombre Científico de Caña de Azúcar.
<b>NaOH</b>	: Hidróxido de Sodio
<b>AASHTO</b>	: American Association of State Highway and Transportation Officials.
<b>SUCS</b>	: Sistema Unificado de Clasificación de Suelos.
<b>CBR</b>	: California Bearing Ratio.
<b>IP</b>	: Índice de plasticidad.
<b>LL</b>	: Límite líquido.
<b>LP</b>	: Límite plástico.
<b>MDS</b>	: Máxima Densidad Seca.
<b>ASTM</b>	: American Society for Testing and Materials ó Sociedad Americana para Ensayos y Materiales.
<b>NTP</b>	: Norma Técnica Peruana.
<b>AP-611</b>	: Vía Vecinal el cual une Sahuanay con la Localidad de Umaccata

## Resumen

El propósito de este estudio es realizar un análisis comparativo de las propiedades físicas y mecánicas de los suelos arcillosos, primeramente, añadiendo Ceniza de *Saccharum Officinarum* y posteriormente a la adición de Ceniza se le agregó Activador Alcalino (NaOH) conocido comercialmente como “Soda Caustica”, para ser usado como material de subrasante en la en la carretera AP-611.

Se estudió la influencia en el valor (CBR), densidad máxima seca, índice de plasticidad y expansión. El estudio considerado es de tipo aplicada, con un diseño experimental basado en ensayos normalizados. Con el fin de seguir desarrollando la investigación, se realizaron la caracterización del suelo de la carretera AP-611 mediante ensayos, donde se realizaron dos calicatas, tomándose en cuenta solo una de ellas eligiendo el material más desfavorable ubicado en la progresiva Km 1+740, obteniéndose así un resultado estándar (material arcilloso). Se consideró 6 adiciones diferentes para esta investigación: 5 % de CBCA, 10 % de CBCA, 15 % de CBCA, 5% de CBCA+NaOH, 10% de CBCA+NaOH y 15% de CBCA+NaOH, se adicionó la cantidad de 3.5 MOLARIDAD de Activador Alcalino.

De los resultados obtenidos la adición de CBCA+NaOH incrementa de forma considerable el valor de CBR en comparación con la adición de solo CBCA al material arcilloso, disminuye el valor de índice de plasticidad, expansión y la máxima densidad seca. La adición de 10% de CBCA y de 5% de CBCA+NaOH se logró alcanza un valor CBR de 10.37% y 15.5% respectivamente sobrepasando los requisitos mínimos para usos en Subrasante.

**Palabras claves:** Subrasante, CBR, Índice de plasticidad, Expansión, Máxima Densidad Seca.

## Abstract

The objective of this research is to carry out a comparative analysis of the physical and mechanical properties of clayey soil, first, by adding Saccharum Officinarum ash and then adding Alkaline Activator (NaOH), commercially known as "Caustic Soda", to the addition of ash, to be used as subgrade material in the AP-611 highway.

The influence on the value (CBR), maximum dry density, plasticity index and expansion was studied. The study considered is of an applied type, with an experimental design based on standardized tests. In order to further develop the research, the soil characterization of the AP-611 road was carried out by means of tests, where two test pits were made, taking into account only one of them, choosing the most unfavorable material located in the progressive Km 1+740, thus obtaining a standard result (clayey material). Six different additions were considered for this research: 5% CBCA, 10% CBCA, 15% CBCA, 5% CBCA+NaOH, 10% CBCA+NaOH and 15% CBCA+NaOH, the amount of 3.5 MOLARITY of Alkaline Activator was added.

From the results obtained, the addition of CBCA+NaOH considerably increases the CBR value compared to the addition of only CBCA to the clayey material, decreases the value of plasticity index, expansion and maximum dry density. The addition of 10% CBCA and 5% CBCA+NaOH achieved a CBR value of 10.37% and 15.5% respectively, exceeding the minimum requirements for use in subgrade.

**Key words:** Subgrade, CBR, Plasticity Index, Expansion, Maximum Dry Density.

## Introducción

En la construcción de una trocha carrozable a nivel de Subrasante, Para ahorrar costes, el terreno natural, que a menudo no soporta las cargas de forma óptima, suele dejarse como capa de rodadura, generando problemas en la estructura de la carretera, por lo cual se plantean varias soluciones para poder estabilizar el suelo con diferentes aditivos que tienen costos elevados, generando problemas a largo plazo.

En esta investigación se planteó el uso de materiales alternativos, como es la Ceniza de Bagazo de *Saccharum Officinarum* y el Activador Alcalino (NaOH), adicionándolos en diferentes proporciones al suelo (material arcilloso) encontrado en la Vía AP-611, de tal manera realizar un Análisis Comparativo entre la adición de Ceniza y la adición de ceniza más NaOH, determinando que adición influyó en mayor porcentaje el valor CBR, plasticidad, expansión y la densidad máxima seca.

Esta Tesis se ordena en 4 Capítulos:

El Capítulo I, borda las realidades problemáticas de la investigación, describe cuestiones (problemas) generales y específicas, y difunde los objetivos generales y específicos de la investigación. En el capítulo II, Se menciona un marco teórico, considerando los antecedentes del estudio y los fundamentos teóricos frente a los factores estudiados. En el capítulo III Se ha desarrollado una metodología de investigación, especificando la estrategia, naturaleza o tipo, nivel o alcance y diseño de la investigación. Adicionalmente, poblaciones y muestras, procedimientos y equipos para el procesamiento de datos. Por último, en el Capítulo IV, los resultados y observaciones obtenidos se presentan en forma de ensayos realizados y anexos, además de la matriz de consistencia, equipos utilizados, resultados de los ensayos y registros fotográficos adjuntos.

## **Capítulo I**

### **Planteamiento del Problema**

#### **1.1. Realidad Problemática**

La exigencia de poder rehabilitar o construir una carretera conlleva a una serie de procesos de trabajo, comprendiendo así desde la producción de la trocha, perfilado, compactación y asfaltado, hasta lograr la estabilización del suelo de soporte o subrasante que por características geotécnicas puedan tener mucha presencia de arcilla (Landa y Torres, 2019).

En tal sentido, puede existir factores, como la mala gradación granulométrica, compactación y el tipo de suelo que conforman la base de la superficie, puedan ser las causas de las diversas fallas como la rodadura o ahuellamiento, es de allí, que parte la investigación.

Además, Nardi (1975) indica que, ya se realizaron estudios en los años 1930 y 1940, donde se pudo registrar el primer uso de ceniza en pavimentación, esto en los Estados Unidos, donde aplicaron en un 20% a 50% de ceniza volante,

sustituyendo así al cemento, esto en una vía local. De mismo modo, se tiene un registro que la ceniza se también se pudo aplicar en pistas de aterrizaje del aeropuerto de Newark donde se empleó más 730, 000 toneladas, reduciendo así los costos de mantenimiento que son más bajos que las pavimentaciones comunes. En ese mismo sentido, en el continente europeo también se registró que, en 1960, la ceniza era usada como estabilizador en bases y sub bases y refuerzos de sub bases de pavimentos. De modo que en países como Francia, Rusia, Inglaterra, Suecia y entre otros países, eran utilizadas como alternativas convencionales.

Nuestro país, presenta una diversidad de topográfica donde podemos encontrar la presencia desde ciertas características de los suelos arenosos, gravosos, limosos y arcillosos, que no son que no cumplen con la capacidad de soporte mínima para la construcción de vías, considerando así la normativa que estos deben ser mejorados mediante procedimientos mecánicos o técnicas de estabilización, lo que permite mejorar las propiedades físicas y mecánicas garantizando la construcción. Para ello, se realizará el Análisis Comparativo de la capacidad portante a nivel de subrasante en suelos arcillosos incorporando cenizas de *saccharum officinarum* y activador alcalino de una trocha.

Por otro lado, Cubas y Falen (2016) realizaron ensayos Proctor Estándar y deformaciones unitarias de suelos, adicionando ceniza de carbón en proporciones de 7%, 14% y 21%, fallados y curados al final de 7 días, obteniendo resultados favorables. Obteniendo un equilibrio entre los resultados aplicados a diferentes tipos de suelo y la adición de ceniza de carbón planteadas en el estudio, Además de la ventaja del Hidróxido de Sodio (NaOH) como activador alcalino, parece que la ceniza de carbón mejora la estabilidad del suelo en carreteras pavimentadas a través de la activación alcalina.

Adicionalmente, Fernandez-Jimenez et al. (2008) en su artículo de investigación realizado evalúa el efecto de activadores alcalinos en el desarrollo microestructural de sistema de Ceniza Volante, donde los componentes alcalinos utilizados fueron NaOH, KOH, Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, entre otros. Obteniendo resultados confirmando que el principal producto de reacción del proceso de activación es un gel de aluminosilicato alcalino.

En la provincia de Abancay- distrito de Tamburco exactamente en la trocha carrozable del sector Sahuanay – Umaccata red vial (AP-611) Hay ciertos tramos donde el terreno es arcilloso. Este se considera un tipo de terreno desfavorable que muchas veces no cumple con los parámetros mínimos para soportar las cargas de los vehículos. Por lo tanto, este suelo no se puede utilizar como capa de sub-base y se tendrá que realizar un trabajo extenso. Más costoso que quitar o reemplazar el suelo, muchas veces tiene defectos que no cumplen con los parámetros especificados por las normas del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC). específicamente en el “Manual para el diseño de carreteras no pavimentadas de bajo volumen de tránsito” capítulo V, inciso 5.3.2 Subrasante; donde se indica 5 tipos de Subrasante clasificados de acuerdo al CBR obtenido , por este motivo se necesitan buscar diferentes alternativas poco agresivas con el medio ambiente para mejorar la capacidad de soporte de este tipo de suelos , además de ello alargar la vida útil de dicha carretera y reducir la cantidad de inversión en este tipo de vías utilizando cenizas de bagazo de Caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) de forma natural o además de ello agregando activadores alcalinos con la finalidad de beneficiar a la población Umaccata en diferentes aspectos que conlleva la construcción de vías de acceso en buen estado.

Si no se aborda este problema, podrían producirse algunos contratiempos, como accidentes de tráfico, desmoronamiento de la vía en mucho menos tiempo, acceso deficiente a la zona, accidentes vehiculares, accidentes peatonales, etc.

Son dichos motivos que hacen que esta investigación tenga el grado de importancia, y así conlleve a formular los siguientes enunciados.

## **1.2. Identificación y Formulación del Problema**

### **1.2.1. Problema General**

¿Cómo influye en la capacidad de soporte a nivel de subrasante en suelos arcillosos la incorporación de cenizas de *saccharum officinarum* y activador alcalino en la trocha carrozable Sahuanay – Umaccata Tamburco – Abancay 2021?

### **1.2.2. Problemas Específicos**

- ¿En qué medida afecta la incorporación de *saccharum officinarum* y activador alcalino para mejorar las propiedades de densidad seca en suelos arcillosos en la trocha carrozable Sahuanay – Umaccata Tamburco – Abancay 2021?
- ¿Qué efecto produce la incorporación de cenizas del bagazo de *saccharum officinarum* y activador alcalino en las propiedades de expansión en suelos arcillosos en la trocha carrozable Sahuanay – Umaccata Tamburco – Abancay 2021?
- ¿En qué medida varía la incorporación de cenizas del bagazo de *saccharum officinarum* y activador alcalino en las propiedades de plasticidad en suelos arcillosos en la trocha carrozable Sahuanay – Umaccata Tamburco – Abancay 2021?

### 1.3. Justificación de la Investigación

La presente investigación se justifica debido a que se pretende realizar un Análisis Comparativo de la capacidad portante a nivel de subrasante en suelos arcillosos incorporando cenizas de *saccharum officinarum* y activador alcalino en la trocha carrozable Sahuanay – Umaccata Tamburco – Abancay 2021. Su importancia radica en el aumento de la capacidad de soporte del suelo y la reducción del costo en cuanto a la estabilización del suelo y la comparación de cuan favorable es la presencia del activador alcalino (NaOH) empleado en la trocha carrozable señalada.

Además, se propone generar valor a este recurso, que en muchas ocasiones son consideradas como residuos desechables, ya que, se pueden reciclar en para estos fines, y sus costos son tan baratos, cuyos beneficios son muy buenos y excelentes. Además en nuestra región de Apurímac especialmente de provincia de Abancay se cuenta con los valles como el Pachachaca y San Gabriel, donde existe empresas agroindustriales que se dedican al cultivo de la caña de azúcar (*Saccharum Officinarum*), donde obtiene el jugo como recurso y sus restos o bagazo de la caña de azúcar son utilizados como combustible para poder obtener el cañazo u otros tipos de derivados, y los residuos de la combustión en muchas ocasiones son desechados, sin darle importancia para los fines, que se emplearán en el mejoramiento de subrasantes, Esto ayuda a reciclar los desechos y evita el impacto negativo en el medio ambiente. Además, existen evidencias nacionales e internacionales donde ya se han empleado este recurso para poder estabilizar los suelos, dicha información los sustenta en las experiencias de las investigaciones. Debido a las pruebas realizadas, en el laboratorio, de los puntos extraídos de la carretera mencionada en la investigación para la caracterización del suelo se

obtuvo como resultado tipo de suelo CL clasificados dentro de suelos limos y arcillosos (clasificación Método SUCS), como se puede apreciar en los anexos, ubicado en la progresiva Km 1+740.

#### **1.4. Objetivos de la Investigación**

##### **1.4.1. Objetivo General**

Comparar la influencia en la capacidad de soporte a nivel de subrasante en suelos arcillosos incorporando cenizas de *saccharum officinarum* y activador alcalino en la trocha carrozable Sahuanay – Umaccata Tamburco – Abancay 2021.

##### **1.4.2. Objetivos Específicos**

- Identificar la variación de la incorporación de *saccharum officinarum* y activador alcalino para mejorar las propiedades de densidad seca en suelos arcillosos en la trocha carrozable Sahuanay – Umaccata Tamburco – Abancay 2021.
- Evaluar la diferencia entre la incorporación de *saccharum officinarum* y activador alcalino para mejorar las propiedades de expansión en suelos arcillosos a nivel de subrasante en la trocha carrozable Sahuanay – Umaccata Tamburco – Abancay 2021.
- Establecer la variación de la adición de cenizas de *saccharum officinarum* y activador alcalino para mejorar las propiedades de plasticidad en suelos arcillosos a nivel de subrasante en la trocha carrozable Sahuanay – Umaccata Tamburco – Abancay 2021.

## **1.5. Delimitaciones de la Investigación**

### **1.5.1. Espacial**

La presente investigación tuvo lugar en la trocha carrozable Sahuanay – Umaccata Tamburco – Abancay, y la realización de los ensayos, fue en el laboratorio de Mecánica de Suelos, Concreto y Pavimento, perteneciente a la E.P de Ingeniería Civil de la Universidad Tecnológica de los Andes – Sede central, ubicada en la Av. Perú N° 700 en el distrito de Abancay, Región Apurímac.

### **1.5.2. Temporal**

La investigación se comprendió a finales del año 2021 y principios del 2022.

### **1.5.3. Social**

Esta delimitación no se identifica en la siguiente investigación.

### **1.5.4. Conceptual**

La investigación realizada, estimó el análisis comparativo de la capacidad de soporte a nivel de subrasante en suelos arcillosos incorporando ceniza de *saccharum officinarum* y activador alcalino en la trocha carrozable Sahuanay – Umaccata, teniendo en cuenta las principales propiedades, por ejemplo, la estimación del valor CBR, densidad seca, plasticidad y expansión.

### **Viabilidad de la Investigación**

Este estudio es económicamente viable debido a las inversiones necesarias para su investigación, además se cuenta con materia prima (bagazo de *saccharum officinarum*) que es de muy fácil accesibilidad para la obtención y de bajo costo además del activador alcalino el cual se consigue en cualquier ferretería. A nivel

social es viable porque la investigación solucionará un problema de transitabilidad, de tal manera que los pobladores de la zona de Umaccata serán beneficiados con esta investigación, de otro lado cabe resaltar que dentro del área de influencia del proyecto existen la crianza de vacunos y obtención de sus productos derivados, producción agrícola. La mejora de la carretera facilitará la comercialización y la transportabilidad de los productos de la zona, En cuanto a la viabilidad técnica, se cuenta con las herramientas, instrumentos y conocimientos adquiridos necesarios para desarrollar esta investigación, además de ello beneficiará de forma positiva a los productores de *Saccharum Officinarum* dándoles más opciones para la utilización de sus residuos. El Proyecto reúne características, condiciones técnicas y operativas (fácil obtención de recursos a utilizarse, fácil accesibilidad al área de estudio) que aseguran el cumplimiento de sus metas y objetivos.

### **1.6. Limitaciones de la Investigación**

En cuanto a las limitaciones de la investigación se considera que la disponibilidad de recursos económicos es una de las limitantes y el no contar con la disponibilidad de un Laboratorio de Mecánica de Suelos, por lo cual se solicitó el uso del Laboratorio de Mecánica de Suelos, de la E.P de Ingeniería Civil – UTEA.

Una principal limitación para la obtención de ceniza es el uso hornos rústicos para la combustión del bagazo el cual se pierde material a causa del viento.

Se considera también una Limitación que no se cuenta con información exacta de la producción de bagazo de *Saccharum Officinarum* de productores por lo cual se realizó una visita a los productores para la recolección de datos, el cual muchos de ellos no cuantifican la su propia producción. Los datos de la tabla 1 son aproximaciones estimadas.

**Tabla 1***Producción de Ceniza de Bagazo SACCHARUM OFFICINARUM.*

DATOS OBTENIDOS EN CAMPO				
PRODUCTO	SACCHARUM OFFICINARUM	BAGAZO	CENIZA DE " SACCHARUM OFFICINARUM"	
PRODUCTOR	AREA DE SIEMBRA (Ha)	PRODUCCION ANUAL (destilado)	PESO ANUAL (Ton)	PESO ANUAL***(kg)
1.- Moisés Vásquez	10	500-600 cilindros**	50 aprox.	1500-1800
2.-Jose León Ccasani	4	240-260 cilindros**	20 aprox.	720-780
3.-Trapiche Espinoza	20	250-300 cilindros*	15 aprox.	750-900
4.-Oscar Donaires	5	200-250 cilindros**	25 aprox.	600-750

*Nota. Elaboración Propia**\*producción variable (no realiza trabajo continuo)**\*\* 1 cilindro equivale a 200 litros.**\*\*\*se obtiene 3kg de ceniza por cada cilindro aprox.*

## Capítulo II

### Marco Teórico

#### 2.1. Antecedentes de Investigación

##### 2.1.1. *A Nivel Internacional*

Según Lima (2019) en su investigación, titulada “**Estabilização de Solo Laterítico Utilizando Resíduo de Cana de Açúcar (cinza)**”, para obtener maestría en Infraestructura Urbana en la Pontificia Universidade católica de Campinas; cuya metodología se basó en la recolección de muestras de suelo lateríticas de la región de Barretos, que se sometió a las pruebas de Proctor Intermedio, Índice de Apoyo de California (California Bearing Ratio - CBR) y Resistencia a la Compresión Simple. Además, la muestra de cenizas de bagazo de caña de azúcar se recogió y se sometió a análisis granulométricos y pruebas de caracterización puzolánica; El propósito de este estudio fue estabilizar el suelo., para lo cual se prepararon mezclas de tierra - 5% de cemento, tierra - 5% de cal,

tierra - 5% de gris, tierra - 5% de gris - 1% de cal y tierra - 5% de gris - 2% de cal, donde arribaron a las siguientes conclusiones:

La introducción de 5% de cenizas en el suelo natural, sin la adición de aglutinantes, resultó en una disminución de CBR al 32%, lo que hace que sea imposible su uso en capas de subbase y base de pavimento. Por el contrario, la inserción de 5% de cenizas y 1% de cal alcanzó 78% de CBR, lo que permitió su uso en capas de subbase de pavimentación. Además, con la mezcla de 5% de cenizas y 2% de cal, se alcanzó un CBR de 83%, lo que permite su uso en capas base de pavimentos. Por lo tanto, fue posible concluir por la viabilidad técnica y ambiental del uso de cenizas, en capas de subbase y base de pavimentación. (p. 8)

Como Landa et al. (2019) afirma en su investigación, **titulada “Efecto de la adición de la ceniza de bagazo de caña de azúcar (cbca) en las propiedades geotécnicas de un material tipo base hidráulica para construcción de carreteras sustentables”**, presentada XV Congreso Latinoamericano de Patología de la Construcción y VII Congreso de Control de Calidad en la Construcción, en la ciudad de México, cuya metodología se basó en la normativa de la secretario de Comunicaciones y Transportes (SCT), donde se concluyó que la ceniza del bagazo de caña de azúcar obtenida de calderas industriales, presenta la composición química de los óxidos de CBCA, donde la suma de los óxidos mayoritarios ( $\text{SiO}_2$   $\text{Al}_2\text{O}_3$   $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) totaliza un 85,994%, lo que supera el 70% especificado en la norma para puzolanas. Tiene una pérdida por ignición de 1,5% y está clasificada como puzolana Clase N (ASTM C 618, 2017) Así mismo, se

observaron incrementos en el CBR del 20% en las mezclas con el 50 y el 25 % de CBCA en una sustitución del 3 %, mientras que en la mezcla con el 100% de CPC, el incremento fue superior al 30%. Además, la sustitución del 5% de las mezclas incrementó el CBR en un 10%., La mezcla con mayor incremento en cuanto a la forma de comportamiento de la muestra sin adiciones, fue la mezcla con 100% de CPC, seguida por la del 75% de CPC y el 25% de CBCA, y la que tuvo un comportamiento comparativo fue la mezcla de 50% y 50%, , lo que podría deberse a la resistencia adquirida entre la reacción puzolánica de la ceniza y el efecto filler.

Asimismo como Ojeda-Farias et al. (2018) en su investigación, titulada **“Influencia de la inclusión de ceniza de bagazo de caña de azúcar sobre la compactación, CBR y resistencia a la compresión simple de un material granular tipo subrasante”**; investigación publicada en la Revista de la Asociación Latinoamericana de Control de Calidad, Patología y Recuperación de la Construcción (ALCONPAT); El propósito de este estudio fue investigar el impacto del uso de ceniza de bagazo de caña de azúcar (CBCA) como reemplazo parcial del cemento Portland compuesto (CPC) para mejorar las propiedades de los suelos granulares arenosos. Se realizaron ensayos de compresión, resistencia a compresión simple y CBR para analizar el comportamiento del suelo natural estudiado, el cual se mezcló en proporciones de 3%, 5% y 7% de cemento Portland, e iguales proporciones con CBCA. 0%, 25%, 50%, 100% basado en peso seco del suelo, resultados positivos, suelo mejorado en términos de compactación, resistencia a la compresión, CBR, y se redujo hasta en un 25% el uso del cemento.

Araújo (2015) en su investigación titulada **“Mejoramiento de un Suelo Arenoso por Activación Alcalina”** para obtener su maestría en la Facultad de

Ingeniería Civil en la especialidad de Geotecnia en la Universidad de Porto – Portugal, El cual tiene como objetivo tratar un suelo arenoso con geopolímeros mediante activación cenizas volantes alcalinos, donde utiliza una técnica para producir un gel cementoso que funcione como aglutinante de partículas del suelo y así se podría utilizar para reemplazar el cemento y la cal aérea, obteniendo ventajas como una menor degradación en el tiempo y una reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub> en la fabricación de cemento y además de ello para conocer la resistencia a la compresión proporcionada por la aplicación de geopolímeros. Al culminar la investigación se concluyó que:

Cuanto mayor es el porcentaje de finos, menor es la resistencia al corte, con el valor más alto en la mezcla de suelo original (100% suelo). las mezclas de suelo y cenizas mostraron valores de resistencia al corte más bajos que las mezclas suelo-suelo tierra, que se explica por la naturaleza mineralógica y la forma de las partículas, como la ceniza y el suelo terreno tiene tamaños de partícula muy similares. Este hecho también justifica el valor más alto de resistencia al corte de la mezcla de 90% de suelo y 10% de suelo terrestre en comparación con otras mezclas, principalmente en lo que respecta a la mezcla de 90% de suelo y 10% de ceniza. (p. 86).

Corrêa (2016), en su tesis de investigación titulada **“Mejoramiento de un suelo arcilloso con recurso la activación de residuos alcalinos para la aplicación en infraestructura de transporte”** para obtener su grado de maestro en Ingeniería Civil en la Universidad de Minho; el principal objetivo de este trabajo consistió en evaluar el tratamiento de un suelo arcilloso, a nivel superficial, con el

uso de residuos activados alcalinamente para la aplicación en la construcción de infraestructuras de transporte, por lo que se realizó pruebas de laboratorio para clasificar el suelo original con el fin de identificar las características, mejorar y determinar si las mezclas de suelo-aglutinantes con activación alcalina se obtiene una gran diferencia en cuanto a resistencia, además de ello el otro objetivo fue estudiar la influencia de diferentes contenidos de cenizas a nivel de resistencia y rigidez de las mezclas de suelo y aglutinantes. De esta investigación se concluyó que: el aumento en el contenido de cenizas condujo a resultados superiores, al nivel de fuerza y rigidez de las mezclas y la aplicación de la activación alcalina de cenizas volantes en la mejora de suelos condujeron a muy buenos resultados, comparables e incluso superiores a los resultados logrados con la adición de cemento y cal al suelo, del cual en las mezclas suelo-cemento a los 90 días de edad y en mezclas suelo-cal en todos los tiempos de curado en análisis. La mezcla CNZ\_20% \_nf ha alcanzado una resistencia a la compresión uniaxial de 8.57 MPa a los 90 días.

### **2.1.2. A Nivel Nacional**

Terrones (2018) investigación, titulada **“Estabilización de Suelos Arcillosos Adicionando Cenizas de Bagazo de Caña para el Mejoramiento de Subrasante en el Sector Barraza, Trujillo – 2018”**; tesis para optar el título profesional de ingeniería civil en la Universidad Privada del Norte; la metodología emplea fue experimental, diseño post prueba y grupo de control; la población estuvo constituido por 42 probetas, donde la muestra estuvo conformada por 9 probetas para cada uno de los porcentajes planteados; El presente estudio tiene como objetivo determinar el impacto de la adición de ceniza de bagazo de caña de

azúcar en porcentajes en peso de 5%, 10% y 15% de suelo seco en la estabilización de suelos arcillosos en el sector Barraza de Trujillo, 2018; teniendo como conclusiones lo siguiente:

Los resultados obtenidos durante esta investigación mostraron que el suelo estabilizado con ceniza de bagazo de caña de azúcar trae cambios favorables que hacen posible usar el material a nivel de subrasante, como se pudo ver se mejoró de una subrasante con CBR promedio de 1.823% (subrasante muy mala), a obtener un CBR promedio de 22.267% (subrasante muy buena). (p. 144)

Espinoza y Velásquez (2018) en su investigación, titulada “**Estabilización de Suelos Arcillosos Adicionando Ceniza de Caña de Azúcar en el Tramo de Pinar-Marian, Distrito de Independencia 2018**”; tesis para optar el título profesional de ingeniería civil en la Universidad César Vallejo; donde la población estuvo conformada por los suelos arcillosos existentes en la carretera del tramo Pinar a Marian; el objetivo principal de la presente investigación fue adicionar ceniza de caña de azúcar al tramo Pinar Mariano del distrito Independencia en 2018 para determinar la estabilidad del suelo arcilloso; arribando así a la siguiente conclusión:

Luego de realizar los ensayos de límite de consistencia, Proctor Modificado y CBR con la combinación del suelo con las cenizas de caña de azúcar se determinó la estabilización de este suelo para fines de pavimentación, obteniendo resultados favorables en la que se obtuvo mejoras en las propiedades físicas y mecánicas del suelo, donde se testifica que el suelo

consiguió estabilizarse con la adición del 20% de CCA con referencia al peso de la muestra, se logró un CBR al 95% de 15.18%, una densidad seca de 1.859gr/cm<sup>3</sup> con un óptimo contenido de humedad de 9.567% y reduciendo el índice de plasticidad de 16.11% a 9.73%, así mismo se consiguió disminuir el porcentaje de expansión del suelo de 1.47% a 0.24%. (p. 122)

Carrasco (2017) en su investigación, titulada **“Estabilización de los Suelos Arcillosos Adicionando Cenizas de Caña de Azúcar en el Tramo de Moro a Virahuanca en el Distrito de Moro – Provincia del Santa – 2017”**, tesis para optar el título profesional de ingeniero civil en la Universidad César Vallejo; la metodología empleada fue de diseño no experimental, alcance correlacional; la población estuvo constituido por un área de 20,496m<sup>2</sup>; El objetivo fue determinar la factibilidad de estabilizar suelos arcillosos mediante la adición de ceniza de caña de azúcar en el tramo Moro-Virahuanca en el distrito de Moro – provincia del santa – 2017; y se arribó a la siguiente conclusión:

Se determinó que si es posible dar la estabilización de los suelos arcillosos adicionando cenizas de caña de azúcar ya que mediante los ensayos realizados con las muestras del suelo del tramo de moro a Virahuanca podemos concluir que si mejora sus propiedades. (p. 52).

Salas y Pinedo (2018) en su investigación, titulada **“Ceniza de bagazo de caña de azúcar en la estabilización de sub rasante para pavimentos flexibles en el Asentamiento Humano los Conquistadores Nuevo Chimbote-2018”**; tesis

para obtener el título profesional de ingeniero civil en la Universidad César Vallejo; la metodología empleada fue de tipo descriptiva, experimental de tipo cuasi experimental; La población estuvo constituida por las calles de los asentamientos humanos de Nuevo Chimbote. El objetivo general fue determinar el impacto de la ceniza de bagazo de caña de azúcar en la estabilización de subestructuras de pavimentos flexibles en el lugar ya mencionado. Por lo tanto, se extrajeron las siguientes conclusiones:

Al adicionarse Ceniza de Bagazo de Caña de Azúcar en un 5%, 10% y 15%, los valores de resistencia del suelo aumentan según ensayo CBR; mostrando un mejor comportamiento de resistencia del suelo con la adición de 10% de CBCA (C-1 + 10%BCA), el mismo que presenta un valor de CBR de 30.40% y 32% al 95% y 100% respectivamente de la MDS del PROCTOR MODIFICADO. (p. 355).

Cubas y Falen (2016) en su investigación titulada **“Evaluación de las cenizas de carbón para la estabilización de suelos mediante activación alcalina y aplicación en carreteras no pavimentadas”**; tesis para obtener el título profesional de ingeniero civil en la Universidad Señor de Sipan, teniendo como objetivo principal es la evaluación de la aplicación de ceniza de carbón para la estabilización de suelos por activación alcalina en vías no pavimentadas de las ciudades de Pimentel y Lambayeque. El cual llega a la conclusión que:

“El uso de cenizas de carbón e hidróxido de sodio en suelos arcillosos presenta un efecto significativo con respecto al uso de agua, pues se observa que existe una diferencia en cuanto a resistencia”. (p. 201).

### **2.1.3. A Nivel Regional y Local**

En cuanto a antecedentes regionales y locales relacionados con la investigación que se pretende, no se han encontrado evidencia a nivel local.

## **2.2. Bases Teóricas**

### **2.2.1. Ceniza de bagazo de *saccharum officinarum***

Es un sub producto que se obtiene de la combustión de materiales inorgánicos por general provenientes de restos de plantas, es por ello que su color gris y la fineza del polvo paleozoico cuyos componentes pueden ser silicio, aluminio, óxidos y álcalis.

Para poder comprender mejor primeramente vamos a desglosar el termino ceniza, que según, la Real Academia Española (2021) esta significa “polvo de color gris claro que queda después de una combustión completa, y está formado, generalmente, por sales alcalinas y térreas, sílice y óxidos metálicos” (p. 1). Del mismo modo, Real Academia Española (2021) señala que el termino bagazo es el “Residuo fibroso resultante de la trituración, presión o maceración de frutos, semillas, tallos” (p.1).

En tal sentido este término de bagazo de utilizar en los residuos de la caña de azúcar cuyo nombre científico es el *saccharum officinarum*.

Por tanto, uniendo estos dos términos podemos decir que la ceniza del bagazo de la caña de azúcar es la combustión total de los residuos que son triturados, cuyo resultado es el polvo de color gris.

Salas y Pinedo (2018) afirma que “la ceniza de caña de azúcar es un producto de desecho de la producción de azúcar. Se utiliza como combustible que sirve a las calderas para la extracción de azúcar”. (p. 26)

### ***2.2.1.1 Ceniza de bagazo de saccharum officinarum como material puzolánico***

Existen muchos estudios que confirman que la ceniza es un recurso que nos permite estabilizar los suelos. Esto por el alto contenido de puzolánicos, sílice y alúmina

Jara y Palacios (2015) consideran que existen parametros para poder tomar en la actividad puzolánica y estos dependen de la temperatura de calcinación, el tamaño de las particulas, la naturaleza cristalina y la composicion quimica.

Por tanto, en caso de la ceniza del bagazo de saccharum officinarum, este está sometida a temperaturas que comprenden de 700 a 800 grados centígrados, es de allí el origen de silicato de calcio, esto por un tiempo de al menos 2 horas a más.

La ceniza del bagazo de saccharum officinarum ya suministra el compuesto puzolánico, sílice y aluminio. Lo que permite estabilizar suelos.

### ***2.2.1.2 Clasificación Ceniza de bagazo de saccharum officinarum***

Petermann y Saeed, (2012) encontraron que la ceniza de carbón se pueden separar en ceniza de fondo y ceniza volantes (como se define en los estándares de ASTM). La ceniza de fondo es el residuo que se encuentra en el fondo de las calderas, con un tamaño de partícula superior a 0,075 mm (malla N° 200), característico del carbón no quemado. Es más probable que este residuo se use

como relleno en la investigación porque no es probable que sea una puzolana. La ceniza volante es es residuo atrapado en los filtros de las calderas y tienen menos de 0,075 mm de diámetro (retenido en la malla No. 200). Se ha demostrado que las reacciones en microestructuras cristalinas y amorfas resultan de la síntesis de aluminosilicatos alcalinos utilizando soluciones de activador de hidróxido alcalino y silicato alcalino, el producto se llama geopolímero, lo que significa que puede lograr propiedades puzolánicas similares al cemento Portland. (citado en Zuluaga, 2015, p. 12)

### **2.2.1.3 Composición Ceniza de bagazo de *saccharum officinarum***

La ceniza del bagazo de *saccharum officinarum* puede variar de acuerdo al tipo del suelo, a diversidad de las variedades, la edad y la fertilización. (Chávez Bazán, 2017)

**Tabla 2**  
*Composición química del bagazo*

<b>Composición química de ceniza de bagazo</b>		
Compuesto constitutivo		
Nombre	Formula Química	%
Sílice	SiO <sub>2</sub>	56.40%
Alúmina + Óxido de Hierro	F <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.15%
Óxido de Magnesio + Óxido de calcio	CaO + MgO	9.08%
Álcalis	Na <sub>2</sub> O y K <sub>2</sub> O	12.60%

*Nota.* Extraído desde Chávez (2017). "Empleo de la ceniza de bagazo de caña de azúcar (CBCA) como sustituto porcentual del agregado fino en la elaboración del concreto Hidráulico". (p. 29).

En la siguiente tabla podemos observar, que la ceniza de bagazo este compuesto en un alto porcentaje de óxido de aluminio, factor importante para poder darle su optimo uso en la construcción.

### **2.2.2. Activadores Alcalinos**

Los activadores alcalinos son uno de los componentes más importantes en el procesamiento de cementos alcalinos. Estos activadores normalmente se incorporan como una solución en la mezcla, aunque pueden estar en estado sólido, bien mezclados o combinados con escoria y/o cenizas volantes. En general, los activadores más comunes suelen ser hidróxidos y silicatos alcalinos. Sin embargo, la naturaleza de los activadores juega un papel muy importante en el proceso de activación tanto en las cenizas de fondo como en las cenizas de aire, siendo parámetros considerados los efectos del pH y los efectos de los cationes y aniones. (Torres y Puertas, 2017, p. 10).

#### **2.2.2.1 Material Activado Alcalinamente**

Torres y Puertas (2017) Señala que puede ser un aluminosilicato, como la escoria de alto horno y las cenizas volantes, que está compuesto en mayor o menor medida por calcio, puede incluir óxidos, sulfatos o aluminatos, esencialmente cualquier material soluble capaz de producir cationes de metales alcalinos, elevando la pH de la mezcla de reacción, y promover la disolución de los precursores sólidos.

#### **2.2.2.2 Componentes de Activación Alcalina**

Torres y Puertas (2017) hacen referencia que, las sales alcalinas o los hidróxidos alcalinos son los que se utilizan como activadores de álcali en el cemento y el hormigón activados. Asimismo, (Shi et al. (2006), citado en Torres y Puertas, 2017)). hace una clasificación divididos en 6 grupos según su composición química:

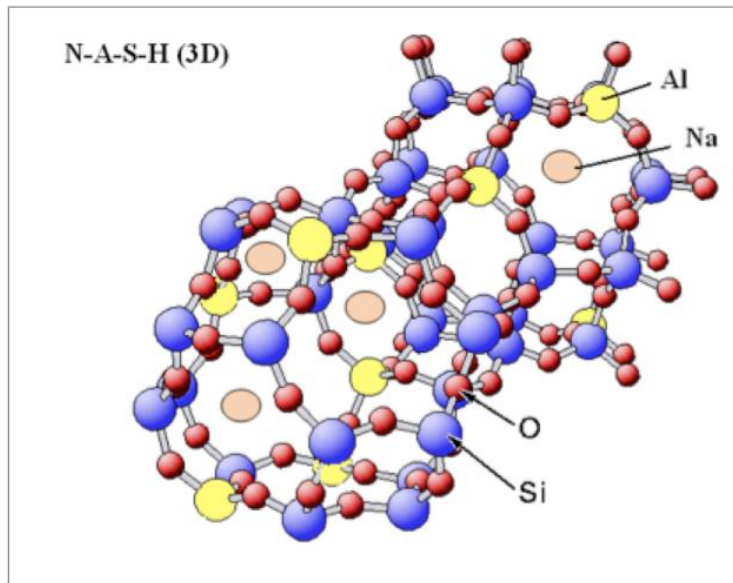
- Hidróxidos alcalinos: MOH
- Sales de ácidos débiles:  $M_2CO_3$ ,  $M_2SO_3$ ,  $M_3PO_4$ , MF, etc.
- Silicatos:  $M_2O \cdot nH_2O$
- Aluminatos:  $M_2O \cdot nAl_2O_3$
- Aluminosilicatos:  $M_2O \cdot Al_2O_3 \cdot (2-6)SiO_2$
- Sales de ácidos fuertes:  $M_2SO_4$

De todos estos activadores, los químicos más comunes son NaOH,  $Na_2CO_3$ , Na<sub>2</sub>O, SiO<sub>2</sub> y Na<sub>2</sub>SO. (p. 7)

### **2.2.2.3 Ceniza Volante Activada Alcalinamente**

Fernández et. al (2006) Señalan que la activación alcalina de las cenizas volantes es un proceso químico que transforma el componente vítreo de este subproducto en un material cementoso compacto (geopolímero). (p. 52).

Además de acuerdo Garcia-Lodeiro et al., (2014) Debido a su bajo costo y amplia disponibilidad, gran parte de la investigación y el desarrollo se ha centrado en las cenizas volantes como precursor de estos cementos. Sin embargo, las propiedades de las cenizas volantes, así como su composición química y mineralógica, influyen en el comportamiento final del geopolímero resultante. Al igual que con los sistemas de escoria activada alcalina, se deben considerar los efectos de los activadores. Los principales productos de reacción de la activación alcalina de cenizas volantes o metacaolín son geles, aluminosilicatos alcalinos amorfos o (geles N-A-S-H). (citado por Torres y Puertas, 2017,p.9)

**Figura 1***Estructura tridimensional del gel N-A-S-H*

*Nota.* (García-Lodeiro et al., 2014 referenciado en Torres y Puertas, 2017, p.9)

### **2.2.3. Capacidad de Soporte de la Subrasante**

Con base al, Ministerio de comunicaciones y transportes (2008) “La subrasante es la capa superficial de terreno natural. Para construcción de carreteras se analizará hasta 0.45m de espesor, y los últimos 0,20 m para reparación o rehabilitación”. (p. 97)

En ese sentido, el pavimento está conformado por la carpeta de rodadura, base y sub-base que se apoya en subrasante, ya que se sabe, que cada capa es importante, porque permiten distribuir la tensión que derivan desde la parte superior disminuyendo a valores que son permisibles para las capas inferiores, por tanto, la sub rasante es una estructura del pavimento que está debajo.

La capacidad está referido al volumen. Mientras que el soporte tiene que ver como el apoyo. Además, la subrasante, en este caso es la superficie culminada de la carretera a nivel de remoción de tierras (corte o relleno). En tal sentido podemos

decir una determinada cantidad que se podría adherir a la superficie, que es una carretera que se asfaltara.

Como señala Ministerio de transportes y comunicaciones (2013) la subrasante “es la superficie terminada de la carretera a nivel de movimiento de tierras (corte y relleno), sobre la cual se coloca la estructura del pavimento o afirmado” (p. 23).

También de acuerdo a este manual también la subrasante, es considerando con un asiento de la estructura del pavimento, formando parte del prisma de la carretera que está constituido por el terreno natural y estructura del pavimento.

A partir de aquí, la base de la capacidad de carga debe estar bien determinada para crear condiciones de transitabilidad, elección de materiales para construir la superficie de rodadura. Esto significa que las estructuras de pavimento se diseñan desde aquí.

Con base a, Chávez y Odar (2019) la capacidad de soporte de la subrasante está referido a la “capa capaz de resistir los esfuerzos que le son transmitidos por el pavimento” (p. 10)

“La estabilización de suelos para subrasante surge como una necesidad al mejorar las propiedades del suelo. Como plasticidad de este y la capacidad de soporte del mismo. La estabilización de la subrasante se puede realizar por diferentes métodos según los ofrecidos por el MTC, en el Manual de carreteras, suelos, geología y pavimentos, con respecto al mejoramiento y estabilización de suelos” (Chávez y Odar, 2019, p.15)

La subrasante es la capa en el cual se apoya la estructura del pavimento, que esta se da de acuerdo a las propiedades como pueden ser plasticidad, drenaje, clasificación de suelos, granulometría, susceptibilidad a las variaciones de temperatura y la resistencia a la corte.

De acuerdo al Manual de Carreteras del ministerio de transportes y comunicaciones (2013) Los materiales adecuados para la formación son suelos con un CBR  $\geq 6\%$  y una tasa de expansión máxima del 5%. Si el CBR es bajo (sub rasante pobre o sub rasante inadecuada), se realiza la estabilización del suelo. Para ello se analizan alternativas de solución en función de las condiciones del suelo. Como son la Estabilización mecánica, sustitución de suelos de pavimentación, estabilización química de suelos, estabilización geosintética, elevación de la subrasante, modificación de trazado vial, selección de la solución técnica y económicamente más ventajosa. (p. 40)

Por lo tanto, “Su capacidad de soporte en condiciones de servicio, junto con el tránsito y las características de los materiales de construcción de la superficie de rodadura, constituyen las variables básicas para el diseño del afirmado, que se colocará encima” (Ministerio de comunicaciones y transportes, 2008, p.97). Es de allí que se presenta 5 categorías de subrasantes:

## Figura 2

### *Categorías de Sub-rasante*

<b>S0 : SUBRASANTE MUY POBRE</b>	<b>CBR &lt; 3%</b>
<b>S1 : SUBRASANTE POBRE</b>	<b>CBR = 3% - 5%</b>
<b>S2 : SUBRASANTE REGULAR</b>	<b>CBR = 6 - 10%</b>
<b>S3 : SUBRASANTE BUENA</b>	<b>CBR = 11 - 19%</b>
<b>S4 : SUBRASANTE MUY BUENA</b>	<b>CBR &gt; 20%</b>

*Nota.* Ministerio de comunicaciones y transportes (2008). “Manual para el diseño de carreteras no pavimentadas de bajo volumen de tránsito”.

### 2.2.3.1 Caracterización de la Subrasante

Como dice el Manual de Carreteras del Ministerio de comunicaciones y transportes (2013), para poder caracterizar física o químicamente el suelo de la subrasante, Es importante cavar pozos de prueba de 1,5 metros de profundidad, por lo que la cantidad de pozos de prueba depende del tipo de trocha o carretera.

**Figura 3**

*Número de calicatas para la exploración de suelos*

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

*Nota.* Ministerio de transportes y comunicaciones (2014). "Manual de carreteras Suelos, geología, geotecnia y pavimentos"

### 2.2.4. Definición de Suelo

Juárez y Rico (2005) Señalan que para los agrónomos, el suelo es la porción superficial de la corteza terrestre que puede sustentar la vida vegetal y contiene materia orgánica. En cambio, en ingeniería civil suelo representa cualquier tipo de

material de suelo, desde terraplenes hasta arenisca parcialmente consolidada (p. 34)

De acuerdo, Road Research Laboratory D.S.I.R. (1963) El suelo es un conjunto de partículas sólidas que forman una estructura porosa, cuyos poros pueden contener según circunstancias agua, aire o ambos. Por otro lado, el volumen de cada uno de los tres constituye materia sólida, agua y aire. Por lo tanto, es importante conocer que el peso de los sólidos contenidos en la unidad de volumen del suelo en conjunto se llama corrientemente densidad seca. (p. 13)

#### ***2.2.4.1 Criterios geotécnicos para poder estabilizar el suelo***

Ministerio de transportes y comunicaciones (2014) nos indica que existen ciertos criterios que se deben considerar para poder estabilizar un suelo y estos son:

a) se considerara la estabilización de suelos cuando la sub rasante sea insuficiente e inadecuada, si se presenta zonas humedad o blandas. Aquí se pueden dar una estabilización mecánica (reemplazo de suelo de cimentación), estabilización con productos que mejor las propiedades del suelo; estabilización geosintético (geotextiles, geomallas ), etc.; b) en caso que la capa de la subrasante sea arcillosa o limosa y el cual pueda hacer que la humedad penetre la capa granular; c) se debe considerar la calidad de la estructura de la subrasante, con relación a la napa freática; d) cuando la zona esta sobre los 4000msnm. Se debe evaluar la acción de las heladas en los suelos; e) es importante, si se quiere estabilizar determinar primeramente el tipo de suelo; f) considerar los factores para así determinar el mejor método conveniente de estabilización como: tipo de suelo, uso

propuesto, tipo de aditivo, experiencia del tipo de estabilización, disponibilidad de aditivo, disponibilidad del equipo y los costos comparativos para estabilizar el suelo. (pp. 89-90)

#### **2.2.4.2 Tipos de estabilización de suelo**

De acuerdo Ministerio de transportes y comunicaciones (2014) La estabilización de suelos es la mejora de las propiedades físicas del suelo mediante procesos mecánicos y la incorporación de sustancias químicas, naturales o sintéticas. (p. 89)

Según López Lara, et al. ( 2010) existen tres tipos para poder estabilizar los suelos, esto teniendo en cuenta los criterios geotécnicos, que se requiere mejorar y estos son:

##### **a) Estabilización química**

En este tipo de estabilización se hace uso de aditivos químicos con la finalidad de perfeccionar el comportamiento de los suelos, es de allí, que los suelos pueden manejarse, por tanto, se utilizan este tipo de estabilización especialmente para reducir la plasticidad, la expansión- contracción o fluctuar las partículas. Además, con este tipo de estabilización la finalidad es producir una reacción con el uso de sustancia químicas que actuaran sobre el suelo estos pueden ser, cal, cemento portland, productos de petróleo, cloruro de sodio, y calcio, escoria de fundición, polímeros hule de neumáticos, etc. (López Lara, et al., 2010)

**b) Estabilización mecánica**

Este método logra optimizar las propiedades del suelo sin que se adicionen ningún agente. Por ejemplo, la compactación, esto se hace en la sub base, base y en las carpetas asfálticas. (López Lara, et al., 2010)

**c) Estabilización física**

Este tipo de estabilización esta referenciado a la mezcla de suelos, de modo que busque mejorar los mismos, y es así que puede producir cambios físicos en él, en entre los que podemos presenciar son los siguientes como, las mezclas de suelos, los geotextiles (filtro, control de erosión y transporte de lodos) y consolidación (drenar el agua). (López Lara, et al., 2010)

Ministerio de transportes y comunicaciones (2014) indica que las “estabilizaciones, por lo general se realizan en los suelos de sub rasante inadecuado o Insuficiente, en este caso son conocidas como estabilización suelo cemento, suelo cal, suelo asfalto y otros productos diversos” (p. 89).

En ese misma linea, Ministerio de transportes y comunicaciones (2014) tambien se ñala que existe tipos de estabilizaciones de suelos como pueden ser:

a) estabilización mecanica del suelo: es tipo de estabilización hace referencia que la finalidad es mejorar pero sin cambiar la estructura y composición basica del mismo, la herramienta serai la compactación, lo que hace es recudir los espacios vacios del suelo.

b) estabilización por combinación de suelos: este tipo trata de la mezcla del material de los suelos existentes con otro material prestamo, es de allí que el suelo se disgrega y se escarifica, cuya profundidad es de 15 cm, es allí que se colocara el material de prestamo, pero para esto estos suelos deben cumplir con ciertas requisitos.

c) estabilización por sustitución de los suelos:, este tipo de estabilización se trata de reemplazar el suelo con un material de adición, lo que consistira en remover totalmente el suelo existente, de acuerdo al espesor de reemplazo, esto conformando y compactando, es de allí que se colocara y compactara capas de los materiales hasta lograr lo exigido.

### **2.2.5. Ubicación, Muestreo y preparación de la Muestra de Suelo**

#### **Ubicación de Calicatas**

Se definirá la ubicación de la calicata según la Figura N° 3 (Ministerio de transportes y comunicaciones (2014). Manual de carreteras Suelos, geología, geotecnia y pavimentos) donde se especifica la cantidad de calicatas a realizarse de acuerdo al IMDA de la vía, en este caso se realizará una evaluación en dos puntos el cual se detalla en el siguiente cuadro:

**Tabla 3**

*Puntos de muestra para poder llevar al laboratorio*

<b>Punto</b>	<b>Progresiva</b>	<b>Ancho de vía (M)</b>
1° Calicata	0+700	3.00
2° Calicata	1+740	2.60

*Nota.* Elaboración propia

### ***Muestreo de Suelos***

El muestreo de los materiales identificados en la Tabla N° 4 se realiza de acuerdo con MTC E 101 (Muestreo de suelos y rocas). Donde establece la cantidad mínima que se lleva al laboratorio de acuerdo a las pruebas requeridas. El muestreo consiste en tomar una muestra modificada representativa que permita la caracterización del material encontrado.

### ***Homogenización de Muestras en Laboratorio***

Se realiza el mezclado para obtener una muestra homogénea, luego de lo cual se selecciona la muestra por cuartos (cuarteo) para obtener el volumen necesario para realizar el ensayo deseado.

Los ensayos de laboratorio para determinar las características físicas y mecánicas del suelo se realizaron de acuerdo al manual de ensayo de materiales para carreteras del MTC, el cual se detalla:

#### ***2.2.6. Análisis Granulométrico por Tamizado***

El manual del MTC E107, Especifica cómo determinar el porcentaje de suelo que pasa a través de las distintas mallas de la serie utilizada, hasta la malla N° 200 (75  $\mu$ m). El equipo utilizado es:

- 01 balanza electrónica con sensibilidad de 0,1 gr, para muestras que pasan por tamiz N°4 (4.75 mm).
- 01 balanza electrónica con sensibilidad de 1 gr, para muestras retenidas en tamiz N°4 (4.75 mm).
- Estufa (horno) capaz de mantener temperaturas uniformes y constantes hasta de  $110 \pm 5$  °C.

Materiales:

- Los tamices de malla cuadrada a emplear, será según a la figura N° 4.

**Figura 4**

Tamices utilizados

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

*Nota. "Ministerio de transportes y comunicaciones (2016). Manual de Ensayo de Materiales"*

- Bandejas, recipientes para la manipulación y pesaje de muestras
- Brochas

### Muestra

- Según las características del material fino se realizará con la muestra completa o solo una fracción esto se determina lavando el material.
- Se dispone la muestra en dos fracciones: una retenida en el tamiz N°4 y otra que pasa el tamiz ya mencionado. Ambas fracciones se ensayarán independientemente.
- La muestra se secará al aire libre.
- Para el material retenido en el tamiz N°4, la cantidad mínima obedece al tamaño máximo de las partículas de la muestra, tal como lo indica la Figura N° 5.

**Figura 5**

*Pesos de muestra mínimos que retiene tamiz N° 4*

<b>Diámetro nominal de las partículas más grandes mm (pulg)</b>	<b>Peso mínimo aproximado de la porción (g)</b>
9,5 (3/8")	500
19,6 (3/4")	1000
25,7 (1")	2000
37,5 (1 1/2")	3000
50,0 (2")	4000
75,0 (3")	5000

*Nota. Ministerio de transportes y comunicaciones (2016). Manual de Ensayo de Materiales*

- Los pesos mínimos que se consideraran Para fracción pasante el tamiz N° 4 será de 115 g y 65 g aproximadamente.

#### Procedimiento

- Para fracciones retenidas por malla N° 4. Se utilizan tamices de 3 pulgadas, 2 pulgadas, 1 1/2 pulgadas, 3/4 de pulgada, 3/8 de pulgada y N° 4.
- El tamizado se realiza de forma manual o mecánica. Si se hace manualmente, debe hacerse moviéndose hacia la izquierda y hacia la derecha en la dirección circunferencial. El proceso está completo cuando no ha pasado por 1 minuto más del 1% de la fracción retenida durante el tamizado. Con un tamiz mecánico, debe colocarlo en el tamiz mecánico durante un promedio de 10 minutos y asegurarse de que no quede más del 1% en el tamiz.
- Usando una balanza electrónica, se pesa cada fracción retenida y marque la fracción de material retenido en el tamiz N° 4. La aceptación de la prueba requiere la confirmación de que la suma de los pesos de todas las fracciones no difiere de la primera muestra en más de 1g.

- Para la fracción completa que pasa el tamiz N° 4 , se lavará con una malla N° 200. 115 g para suelos arenosos y 65 g para suelos arcillosos y separados mediante cuarteos con una precisión de 0,01 GR. Después de lavar y secar la muestra, se tamiza a través de una serie de mallas de fraccionamiento fino de acuerdo con la Tabla No. 5.

### Cálculos

- El porcentaje retenido en cada malla se calcula mediante la siguiente fórmula

$$\% \text{Retenido} = \frac{\text{peso retenido en el tamiz}}{\text{peso total de la muestra}} \times 100 \quad (1)$$

- El porcentaje pasante la malla N° 200, se calcula mediante la siguiente fórmula

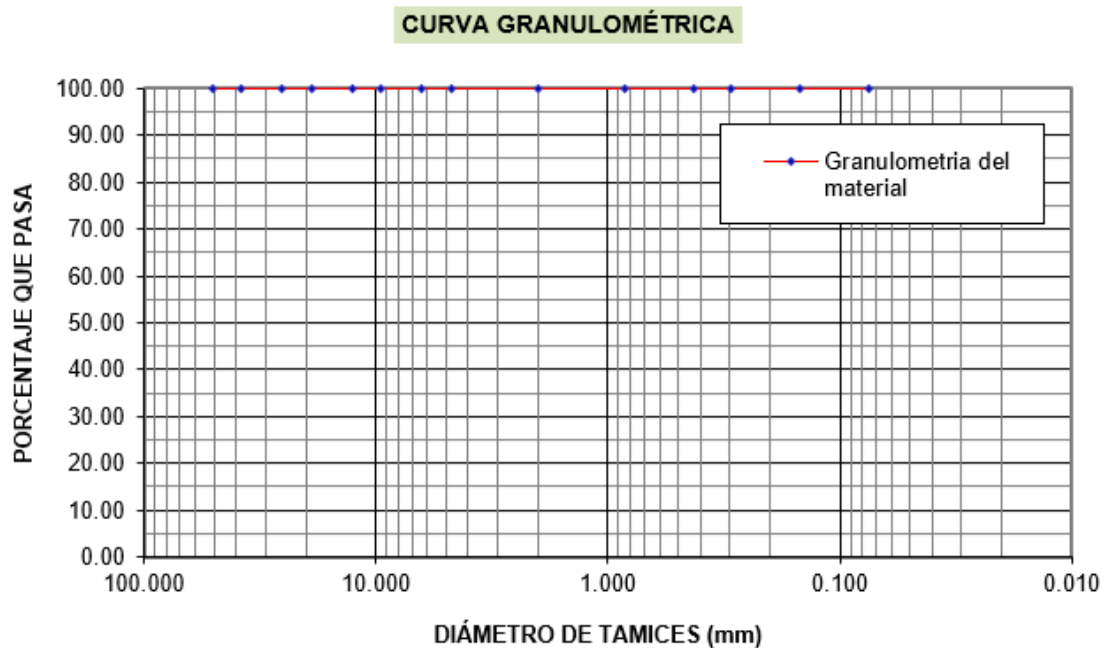
$$\% \text{ pasante la N}^\circ 200 = \frac{\text{Peso total} - \text{retenido en la malla N}^\circ 200}{\text{peso total de la muestra}} \times 100 \quad (2)$$

- Para el porcentaje pasante, se calculará con la siguiente fórmula

$$\% \text{ pasante} = 100\% - \text{Retenido acumulado} \times 100 \quad (3)$$

- Los resultados se representan en un gráfico semilogarítmico, donde en el eje horizontal (abscisas) se encuentra los diámetros de las mallas expresadas en milímetros y en el eje vertical (ordenadas) se coloca los porcentajes acumulados pasantes que se observa en la Figura N° 6.

**Figura 6**  
*tabla semilogarítmica*



*Fuente: Elaboración Propia*

## **2.2.7. Determinación del Índice de Plasticidad (IP)**

### **2.2.7.1. Limite Líquido**

Seguimos el estándar según el MTC E 110, Descripción del método de prueba para determinar el límite líquido.

#### Equipos:

- Un recipiente de porcelana con un diámetro de unos 115 mm.
- Cuchara de Casagrande.
- Ranurador o acanalador
- Ranuador de altura  $10.0 \pm 0.2$  mm
- Envases Resistentes a la Corrosión.
- Balanza electrónica con sensibilidad de 0.01 gr.
- Horno, para secar las muestras, capaz de mantener una temperatura de  $110 \pm 5$  °C.

**Figura 7**

*Materiales para realizar ensayo de Limite Liquido*



*Fuente: Elaboración Propia*

**Muestra:**

- Se selecciona una muestra representativa, de una cantidad entre el rango de 150 o 200 gr pasante la malla N° 40.

**Procedimiento:**

***Método Multipunto***

- Parte del suelo se coloca en el dispositivo (Cuchara de Casagrande) donde descansa la copa, comprimiéndola y extendiéndola por toda la copa hasta alcanzar una profundidad de 10 mm y formar una superficie horizontal que evita la formación de huecos o vacíos.
- Se divide en la parte central la muestra preparada en la cuchara con el ranurador.
- Se anota la cantidad de golpes N, necesarios para cerrar la abertura (12.7mm)
- Se realizar 03 pruebas de tal manera que el primer ensayo se encuentre dentro del rango de golpes 25 a 35 golpes, así mismo el segundo ensayo

entre 20 a 30 golpes y la tercera prueba entre 15 a 25 golpes. La ecuación para determinar el contenido de humedad es:

$$W (\%) = \frac{\text{peso del suelo humedo} - \text{peso del suelo seco}}{\text{peso del suelo seco}} \times 100 \quad (4)$$

El límite líquido debe expresarse como porcentaje de la humedad del suelo, se presenta gráficamente en una tabla semilogarítmica, la abscisa es el número de líneas y la humedad correspondiente se ubica en las ordenadas. La relación entre el contenido de humedad y el log N es casi como una línea recta, se llama curva de flujo. El contenido de humedad es N correspondiente a 25 golpes determinadas a partir de la curva de flujo da el límite líquido del suelo como se muestra en la Figura 8.

### Figura 8

Grafico Semilogarítmico (Limite Liquido)

Nota: El valor de limite liquido se obtendrá de 25 golpes.



Fuente: Elaboración Propia

### **2.2.7.2. Límite Plástico e Índice de Plasticidad**

#### **Límite Plástico**

La muestra requerida para esta prueba se prepara usando lo descrito en el Item 2.2.7.1 de Límite Líquido.

#### Equipos

- Vidrio esmerilado
- Espátula
- Balanza de 0.01 gr
- Contenedor de porcelana
- Contenedor de secado
- Horno, para secar las muestras, capaz de mantener una temperatura de  $110 \pm 5$  °C.
- Varilla comparador de 1/8".

#### Muestra

- Material que pasa el tamiz N° 40.

#### Procedimiento

- A una porción de la muestra se le da forma de elipsoide, se la hace rodar con los dedos sobre vidrio y se le aplica presión para formar un cilindro.
- Si antes de llegar a 1/8" de diámetro no se ha generado grietas, este proceso se repite tantas veces como sea necesario hasta que se rompa o colapse en aprox. ese diámetro.
- Se anota el peso húmedo y se lleva al horno para luego registrar el peso seco.

Se usa la siguiente ecuación

$$LP = \frac{P \text{ suelo humedo} - P \text{ suelo seco al horno}}{P \text{ suelo seco al horno}} \times 100 \quad (5)$$

### Índice de Plasticidad

Se obtiene mediante la sustracción entre el Límite Líquido y el Límite Plástico.

$$IP = LL - LP \quad (6)$$

Donde:

LL : Límite líquido.

LP : Límite plástico.

IP : Índice de plasticidad.

Cuando el LL o el LP no se pueden determinar mediante estas pruebas, entonces el índice plástico se considera como no plástico (NP)

Así mismo, si el LP resulte igual o mayor al LL, se considerará el índice de plasticidad como no plástico (NP).

#### **2.2.8. Ensayo de Compactación de Suelos (Proctor Modificado)**

Según Das,2013 describe que “la prueba Proctor estándar fue modificada para representar mejor las condiciones de campo. Esto se refiere a la prueba Proctor modificada (Norma ASTM D-1557 y Norma AASHTO T 180)”. (p.98)

Este ensayo se realiza los procedimientos de compactación usados en Laboratorio, para obtener una relación entre el Contenido de Agua y Peso Unitario Seco del suelos denominada curva de compactación utilizando un molde de 101,6 ó 152,4 mm (4 ó 6 pulg) de diámetro con un pisón de 44,5 N (10 lbf) que se dejar caer de una altura de 457 mm (18 pulg), produciendo una Energía de Compactación

de 2700 kN-m/m<sup>3</sup> (56000 pie-lbf/pie<sup>3</sup>). (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016, p. 105)

Para la realización de la prueba Proctor modificado se proporciona 3 métodos alternativos.

**Tabla 4**  
*Métodos de Proctor Modificado*

	METODO "A"	METODO "B"	METODO "C"
USO	Cuando el 20 % ó menos del peso del material es retenido en el tamiz 4,75 mm (Nº 4).	Si se retiene más del 20 % en peso del material en el tamiz de 4,75 mm (Nº4) no más del 20 % en peso del material en el tamiz de 9,5 mm (3/8 pulg).	Cuando por encima de 20% de peso se retiene en el tamiz 9,5 mm (3/8 pulg) y menor al 30% en peso es retenido en el tamiz 19,0 mm (3/4 pulg).
MATERIAL A USAR	pasante por el tamiz 4,75 mm (Nº 4).	pasante por el tamiz de 9,5 mm (3/8 pulg).	pasante por el tamiz 19,0 mm (3/4 pulg).
DIAMETRO DE MOLDE mm	101,6 (4")	101,6 mm (4")	152,4 mm (6").
Nº DE CAPAS	5	5	5
Nº DE GOLPES	25	25	56

*Fuente: Elaboración Propia*

### Materiales

- Una regla metálica de una longitud como mínimo de 254 mm, que tenga el borde biselado.
- Herramientas para el mezclado de la muestra como cuchara, espátula, etc.

### Equipos

- Molde cilíndrico de 4 pulgadas que tenga las siguientes características: Promedio  $4,000 \pm 0,016$  pulg de diámetro interior, una altura de  $4,584 \pm 0,018$  pulg y un volumen de  $0,0333 \pm 0,0005$  pie<sup>3</sup>.
- Molde cilíndrico de 6 pulgadas que tenga las siguientes características: promedio  $6,000 \pm 0,026$  pulg de diámetro interior, una altura de:  $4,584 \pm 0,018$  pulg y un volumen de  $0,075 \pm 0,0009$  pie<sup>3</sup>.
- Pisón o Martillo. – Este Instrumento debe caer libremente a una distancia de  $457,2 \pm 1,6$  mm ( $18 \pm 0,05$  pulg) de la superficie de la muestra. La masa del pisón será  $4,54 \pm 0,01$  kg ( $10 \pm 0,02$  lb-m), la cara del pisón que golpea deberá ser plana y circular, El pisón debe reemplazarse cuando la cara se desgaste o se deforme a un diámetro superior a  $\pm 0,25$  mm ( $2,000 \pm 0,01$  pulg.).
- Una balanza con una aproximación de 1 gramo.
- Estufa o horno que mantenga en promedio la temperatura de  $110 \pm 5$  °C.

**Figura 9**

*Equipos para Ensayo de Proctor Modificado*



*Nota: Procedimiento de Compactado de las muestras*

Procedimiento:

***Preparación de Instrumentos***

- Seleccionar y verificar el alineamiento de la pared interior del molde adecuado al método que se realizará Método (A, B ó C).
- Revisar el ensamblado del pisón y que este en buenas condiciones.
- Verificar la calibración de la balanza.
- Determinar el Volumen del molde.

***Preparación del Ensayo (preparación Humedad)***

- Se debe disponer mínimo cuatro ensayos con contenido de agua diferente el cual se acerquen al óptimo estimado, donde, primeramente, el primer espécimen debe tener la humedad más cercana al óptimo, seguidamente variar la dosificación de agua de tal forma que se obtenga especímenes secos y húmedos respecto al contenido de humedad óptimo para definir la curva de compactación.
- La ganancia de humedad debe ser al menos un 2 % para obtener el peso unitario máximo, y para muestras con alto contenido de humedad, la ganancia de humedad no debe excederse al 4%.
- Se usará como mínimo 2,3 kg (5 lbm) de suelo tamizado de acuerdo al método A o B, y 5,9 kg (13 lbm) para el método C.
- a muestra debe mezclarse continuamente para distribuir adecuadamente la humedad añadida gradualmente. Después de eso, póngalos por separado en recipientes con tapas y acomódelos de acuerdo con la compactación anterior

**Compactación**

- Se debe anotar el peso del molde.
- Ensamblar y asegurar el collarín y el molde a la base, donde para esto se apoyará sobre un cimiento rígido para la correcta distribución a la hora de caída del pisón.
- Se debe compactar la muestra en 5 capas, al finalizar la compactación cada capa debe tener la misma altura aproximada. Al colocar la primera capa se debe apisonar suavemente.
- En caso de que la quinta capa exceda 6 mm (1/4 pulg) por encima del molde o cuando la misma resulte por debajo de la parte superior del molde de compactación el ensayo será descartado.
- Al terminar la compactación se debe remover el collar y empezar a enrasar el espécimen compactado con la regla metálica hasta lograr una superficie lisa en la parte superior, en caso existan hoyos se debe completar con material no usado.
- Precisar el peso del espécimen y molde.
- Después de obtener la masa se debe remover el material del molde para determinar el contenido de humedad extrayendo una porción representativa de 500 gr. Aproximadamente.

**Cálculos**

- Se debe calcular la cantidad de agua expresado en % con la siguiente formula

$$\%Agua = \frac{\text{Peso del Agua}}{\text{Peso material seco}} \times 100 \quad (7)$$

- Para calcular la densidad seca del espécimen previamente se debe calcular la densidad húmeda expresada en la ecuación (8)

$$\rho_{humeda} = \frac{M_{total} - M_{molde}}{V} \quad (8)$$

Donde:  $\rho_{humeda}$  = Densidad húmeda ( $\frac{gr}{cm^3}$ )

$M_{total}$  = Masa del molde y espécimen (gr)

$M_{molde}$  = Masa del molde (gr)

$V$  = Volumen del Molde ( $cm^3$ )

Entonces la Densidad Seca se calculará como:

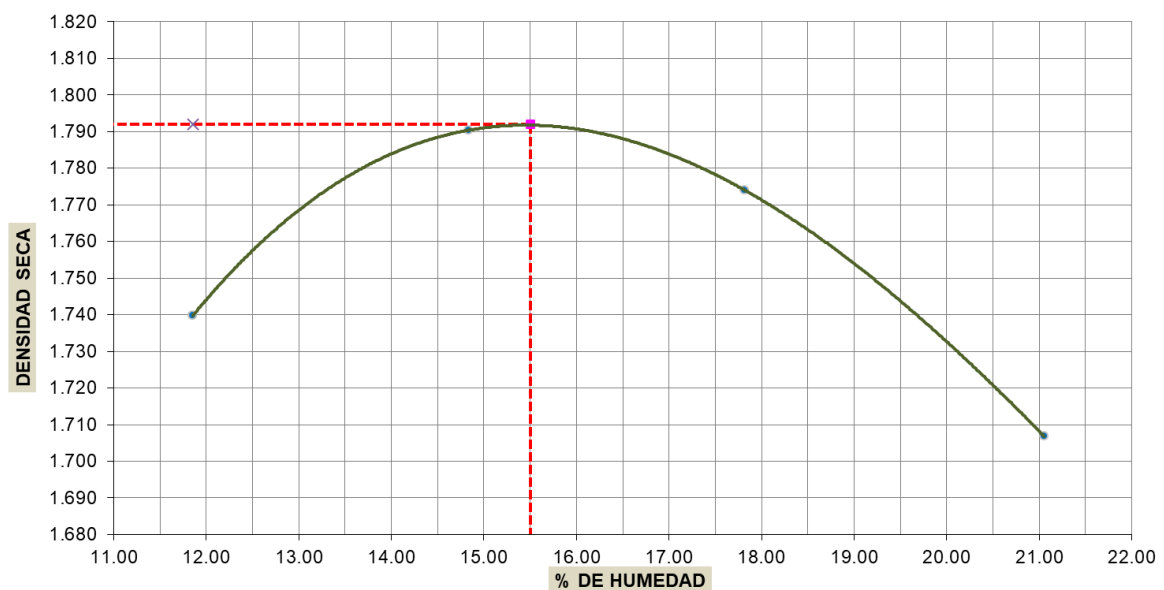
$$\rho_{seca} = \frac{\rho_{humeda}}{1 + \frac{\%Agua}{100}} \quad (9)$$

Donde:  $\rho_{seca}$  = Densidad Seca ( $\frac{gr}{cm^3}$ )

- En la tabla N° 10 se graficará una curva polinómica de tercer grado con los datos de %Agua en las Abscisas y en las Ordenadas la Densidad Seca.

**Figura 10**

Tabla de Grafico de la Curva de Compactación



Fuente: Elaboración Propia

### 2.2.9. Relación de Soporte California (CBR)

Procedimiento del Ensayo se realizara de acuerdo a la norma del MTC E 132.

#### Equipos:

- Una prensa manual o automática realiza la inmersión del pistón en la muestra (comprimida). El desplazamiento entre la base y la cabeza debe ser ajustable a una tasa constante de 1,27 mm por minuto. La capacidad de la prensa debe ser de 44,5 kN (10 000 lbf). Se requiere un acoplamiento para un transductor de desplazamiento con un valor aproximado de 0,01 mm y un recorrido de 25,4 mm

#### **Figura 11**

*Equipo CBR para Penetración*



Nota: "Equipo CBR automático"

Fuente: Elaboración Propia

- Molde cilíndrico de acero, con un diámetro interior de  $152,4 \text{ mm} \pm 0,66 \text{ mm}$  y de altura de  $177,8 \pm 0,46 \text{ mm}$ , un collar de  $50,8 \text{ mm}$  de altura y una placa fondo perforada con un espesor de  $9,53 \text{ mm}$ . Las perforaciones de la placa base no excederán de  $1,6 \text{ mm}$  y deberán estar uniformemente espaciadas en la circunferencia interior del molde.
- Tamices N°4 y  $\frac{3}{4}$  pulgada,
- Un martillo con características similares utilizadas en el ensayo de Proctor modificado.
- Disco en forma circular espaciador de acero de  $150,8 \text{ mm}$  que pueda ser introducido al molde cilíndrico.
- Regla enrasadora.
- Dos papeles filtro, en cada molde.
- Horno (Estufa) termostáticamente controlada, que mantenga una temperatura de  $110 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$ .
- Balanzas electrónicas de  $1 \text{ gr}$  y  $0,1 \text{ gr}$  de calibración.
- Otros materiales para medir la cantidad de agua y triturar el suelo, etc.

Para la expansión:

- Placa metálica perforada y vástago con tornillo en el centro con altura regulable, esta tiene perforaciones que no excedan los  $1,6 \text{ mm}$  distribuidos en distancias homogéneas.
- Trípode, que se apoya al borde del molde
- Extensómetro (deformímetro) con lecturas de  $0,01 \text{ mm}$ ,
- Pesas de metal, con pesos de  $2,27 \pm 0,02 \text{ kg}$ , que calcen exactamente al diámetro del molde.
- Un tanque para sumergir la muestra

Procedimiento: Se encuentra detallado en el Manual de Ensayos de Material del MTC

- Para determinar la expansión se calcula mediante la siguiente formula:

$$\%Expansión = \frac{L_f - L_i}{116} \times 100 \quad (10)$$

Donde:

Li: lectura inicial (mm)

Lf: lectura final (mm)

- Al culminar la saturación de la muestra durante cuatro días, se drena el agua, invirtiendo el molde y sujetando la todo lo colocado por encima de la muestra por un tiempo aprox. de 15 minutos.
- Se retiran todos los materiales colocado encima del molde y se pesan las muestras.

#### Resistencia a la penetración

- Coloque la muestra y el troquel con sobrecargas anulares y ranuradas en el piso de la prensa y ajuste de manera que el émbolo esté centrado y la carga de asiento se aplique a la muestra.
- El equipo tiene dos transductores, el primero da valores de carga y el segundo de deformación, este último se calibra en cero.
- La penetración del pistón se da a 0.05" como velocidad constante por minuto
- Las lecturas se anotarán de acuerdo a la tabla N° 5

**Tabla 5**  
*Valores asignados de lectura de Carga (CBR)*

Pulgadas	Milímetros	esfuerzo patrón correspondiente
0.025	0.63	
0.050	1.27	
0.075	1.90	
0.100	2.54	1000 lb/pulg <sup>2</sup>
0.125	3.17	
0.150	3.81	
0.200	5.08	1500 lb/pulg <sup>2</sup>
0.300	7.62	
0.400	10.16	
0.500	12,70	

*Nota. Valores de penetración y la carga patrón correspondiente a una piedra triturada. Fuente: MTC (2016).*

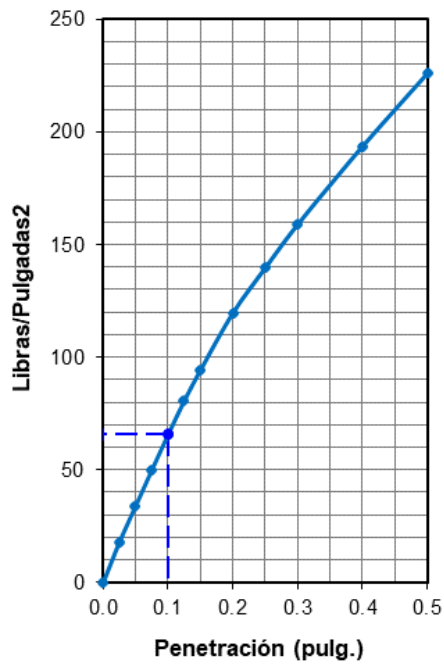
- Para hallar el valor de CBR se utiliza la fórmula siguiente:

$$CBR = \frac{\text{Resistencia a la penetración (psi) requerida para penetrar 0.1 pulg}}{\text{resistencia patrón (1000 lb/pulg}^2)} \times 100 \quad (11)$$

- Una vez tomados los valores la curva será CBR vs densidad seca. El valor CBR es al 95% de la densidad seca máxima de la prueba Proctor Modificado.
- Se dibujan los datos obtenidos de carga-penetración como se muestra en la Figura 12.

**Figura 12**

*Grafico de Penetración vs Carga*



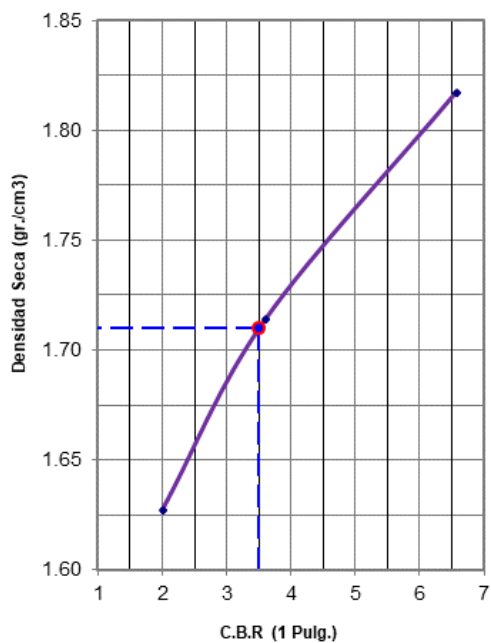
*Nota: Penetración vs Carga para 12, 25 y 56 golpes.*

*Fuente: Elaboración Propia*

- Por último, se grafican la Densidad Seca vs Valores CBR de 12, 25 y 56 golpes como se muestra en la Figura 13.

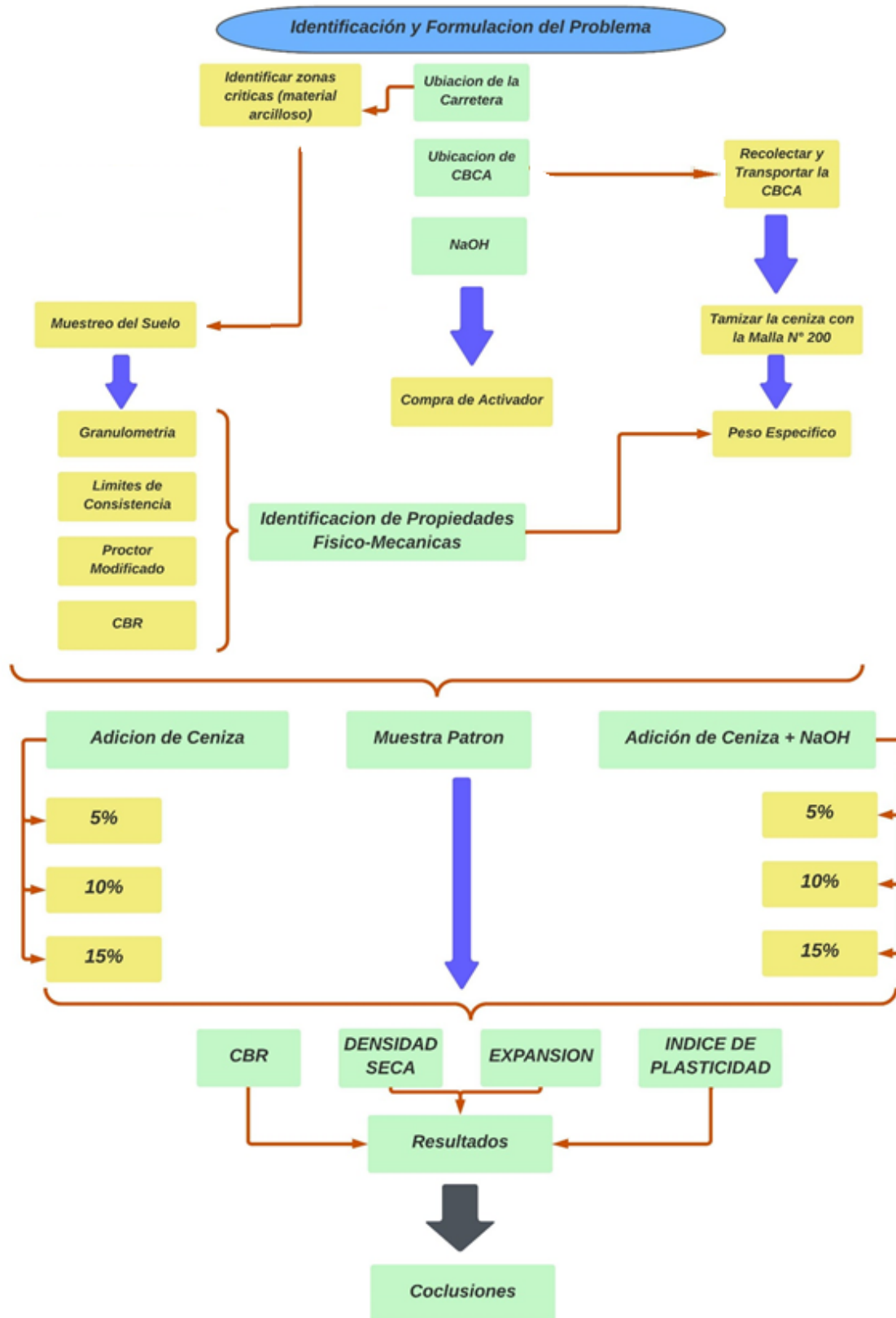
**Figura 13**

*Densidad Seca vs CBR*



*Fuente: Elaboración Propia*

2.2.10. Procedimiento de la Investigación



Fuente: Elaboración Propia

### 2.3. Marco Conceptual

- **Activador Alcalino:** Es uno de los componentes fundamentales para la elaboración de cementos alcalinos, suelen incluir en la mezcla como una disolución mezclando con la escoria y/o ceniza. (Torres y Puertas, 2017)
- **Granulometría:** Ensayo MTC E 107 por el cual se puede estimar cuantitativamente la distribución de las partículas por su tamaño.
- **Límites de Atterberg:** Ensayo MTC E 110 y 111 (Limite Liquido, Limite Plástico e Índice de Plasticidad), utilizados para categorizar el suelo y determinar su comportamiento.
- **Proctor Modificado:** MTC E 115, Determina la relación entre porcentaje de humedad y el peso unitario seco del suelo, anticipadamente se debe conocer la clasificación del espécimen para determinar el método. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016)
- **Densidad Máxima Seca:** Esto corresponde a la mayor densidad que un suelo puede alcanzar cuando se compacta en relación con su contenido óptimo de agua. (Cardenaz & Donoso, 2008)
- **Humedad Óptima:** Porcentaje de humedad para el cual un suelo compactado a una energía específica presenta su máxima densidad. (Cardenaz & Donoso, 2008)
- **Plasticidad:** es la propiedad del suelo de poder deformarse, hasta cierto límite sin romperse. (Crespo, 2004)
- **Expansión:** Aumento de volumen del suelo conforme a la absorción de humedad. (Hoyos, 2001)

- **California Bearing Ratio (CBR):** Es la relación entre el esfuerzo requerido para penetrar una muestra específica y el esfuerzo requerido para penetrar. (Hoyos, 2001)
- **Capacidad de soporte del suelo:** Cargas verticales sobre el suelo debido a la construcción de carreteras (Hoyos, 2001)
- **Subrasante:** Es la capa superficial de terreno natural. Para construcción de carreteras
- **Bagazo de caña de Azúcar:** Material que queda como residuo de la caña de azúcar, una vez que se ha extraído de esta el jugo.
- **Caña de azúcar:** especie de planta perteneciente a la familia de las poáceas.
- **Suelo natural:** Conjunto de partículas minerales, producto de la disgregación mecánica o la alteración química de las rocas. (Crespo, 2004)
- **Arcillas:** Suelos de grano fino que pueden exhibir un comportamiento plástico en una amplia gama de contenidos de agua y exhiben una resistencia al corte significativo cuando se secan al aire. (Hoyos, 2001)
- **Consolidación:** Disminución gradual del volumen de una masa de suelo debido al incremento de un esfuerzo de compresión. (Hoyos, 2001)
- **Geopolímeros:** Un subgrupo de materiales activados por álcali. Cenizas volantes bajas en calcio y arcilla calcinada.
- **NaOH:** Hidróxido de Sodio.

## Capítulo III

### Metodología de la Investigación

#### 3.1. Hipótesis

##### 3.1.1. *Hipótesis General*

La adición de saccharum officinarum y activador alcalino influye la capacidad de soporte a nivel de subrasante en suelos arcillosos en la trocha carrozable Sahuanay – Umaccata Tamburco – Abancay 2021.

##### 3.1.2. *Hipótesis Específicas*

- Existe variación entre la incorporación de saccharum officinarum y activador alcalino influye para mejorar las propiedades de densidad seca en suelos arcillosos en la trocha carrozable Sahuanay – Umaccata Tamburco – Abancay 2021.

- Existe diferencia entre la incorporación de saccharum officinarum y activador alcalino para mejorar las propiedades de expansión en suelos arcillosos a nivel de subrasante en la trocha carrozable Sahuanay – Umaccata Tamburco – Abancay 2021.
- Establecer diferencia entre la adición de cenizas de saccharum officinarum y activador alcalino influye las propiedades de plasticidad en suelos arcillosos a nivel de subrasante en la trocha carrozable Sahuanay – Umaccata Tamburco – Abancay 2021.

### **3.2. Método**

El método de investigación planteada será hipotético-deductivo, debido a que Bernal (2016) indica que este método consiste en aseverar desde la formulación de las hipótesis, de tal manera que se buscara refutar o falsear dicha hipótesis, considerando de ellas las deducciones generales, que serán confrontadas con los hechos. (p.71)

### **3.3. Tipo de Investigación**

En cuanto al tipo de investigación será de tipo aplicada. De acuerdo con Muñoz Razo (2011), este tipo de investigación también es conocido como tecnológico, práctico o empírico, de tal manera que es caracterizado por la aplicación del conocimiento obtenido de la investigación básica para resolver problemas de naturaleza práctica, empírica y técnica para el avance y beneficio de los sectores de producción de bienes y servicios de la sociedad. Por ende, consideramos la Incorporación de cenizas del bagazo de saccharum officinarum y

Activador Alcalino para mejorar la capacidad de soporte de la subrasante en la trocha Sahuanay – Umaccata Tamburco – Abancay.

### **3.4. Nivel o Alcance de la Investigación**

El nivel de la investigación de será de tipo experimental de nivel explicativo, así como indican Hernández y Mendoza (2018) si existe la intervención o manipulación de una variable, y se observa los efectos que produce entonces de habla de una investigación experimental – explicativo.

### **3.5. Diseño de la Investigación**

Hernández y Mendoza (2018) manifiestan que el diseño de una investigación tiene que ver con el plan o estrategia que se establece con la finalidad de recoger los datos y así responder al planteamiento del problema.

En ese sentido, la investigación tomará como diseño experimental de corte longitudinal ya que, se podrá ver los efectos que producirá, la incorporación de cenizas del bagazo de *saccharum officinarum* y Activador Alcalino para mejorar la capacidad de soporte de la subrasante en la trocha Sahuanay – Umaccata Tamburco – Abancay.

### 3.6. Operacionalización de Variables

**Tabla 6**

*Operacionalización de la variable*

Variables	Dimensiones e indicadores
<p>V. Independiente 01</p> <p><b>Cenizas del bagazo de saccharum officinarum</b></p> <p><b>Salas y Pinedo (2018) afirma que “la ceniza de bagazo de caña de azúcar es un sub producto de los desechos de la fabricación del azúcar. Se utiliza como combustible que sirve para las calderas para obtener el azúcar” (p. 26).</b></p> <p><b>Fernández et. Al (2006) indica que “la activación alcalina de cenizas volantes es un proceso químico por el que el componente vítreo de este subproducto es transformado en un material cementoso compacto (geopolímero)” (p. 52).</b></p>	<p>Incorporación de cenizas del bagazo de saccharum officinarum en un 5%, 10% y 15%</p> <hr/> <p>Incorporación de cenizas del bagazo de saccharum officinarum en un 5%, 10% y 15% adicionado el activador alcalino (NaOH)</p>
<p>V. DEPENDIENTE 02</p> <p><b>Capacidad de soporte de la subrasante</b></p> <p><b>La subrasante es la capa en el cual se apoya la estructura del pavimento, que esta se da de acuerdo a las propiedades como pueden ser plasticidad, drenaje, clasificación de suelos, granulometría y la resistencia a la corte.</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Densidad seca</li> <li>• Expansión</li> <li>• Plasticidad</li> </ul>

*Fuente: Elaboración propia.*

### 3.7. Población, Muestra y Muestreo

#### 3.7.1. Población

De acuerdo a Hernández Y Mendoza (2018) la población está referida al “Conjunto de todos los casos que concuerdan con determinadas especificaciones” (p. 199). En ese entendimiento la población estará constituida por la longitud de la carretera (AP-611) que tiene aproximadamente de 2.25 km, que une el sector de Sahuanay con Umaccata en el distrito de Tamburco, provincia de Abancay.

### **3.7.2. Muestra**

La muestra es una representación literal de la población del cual se obtiene la información o datos, por lo es necesario considerar todas las muestras necesarias, que se puedan tomar como máximo o mínimo. En ese sentido, dentro de esta longitud se considerará el tramo de estudio ubicado entre las progresivas 0+700 y 1+740.

Por lo tanto, del tramo considerado se tomó dos puntos para extraer las muestras (calicatas a una profundidad de 1.5 m), así como se puede observar en la tabla N° 3, de los cuales se consideró el segundo punto por motivos que presenta un suelo con mayor cantidad de Limos además de acuerdo a su clasificación este último resultó como "Arcilla Inorgánica de Plasticidad Media" el cual está dirigida esta investigación.

Por tanto, de cada calicata se extraerá las muestras para realizar los ensayos de laboratorio respectivos, con adición solamente de ceniza y otros con adición de ceniza y el activador alcalino (NaOH) para posteriormente comparar los resultados obtenidos.

### **3.7.3. Muestreo**

En cuanto al muestro es no probabilístico intencional, ya que este tipo de muestreo nos permite dirigir una investigación de acuerdo a la intención que se propone con la investigación, es de allí se fijó en dos puntos como en la tabla que nos antecede, para así tomar las dos muestras apara así llevar al laboratorio y obtener resultados.

### 3.8. Técnicas e Instrumentos

Considerando, (Muñoz Razo, 2011) la técnica está referido a los protocolos, normas y procedimientos que permiten lograr con el resultado determinado. Por lo que es necesario indicar que, en la investigación de tomar como técnica a la observación, ya que, nos permite visualizar a través de la vista de manera ordenada los fenómenos producidos según sea el objeto de estudio además esta técnica de utiliza en estudios experimentales y de ingeniera

Por otro lado, la investigación según la técnica a emplear que es la observación, su instrumento será la ficha de registro de observación, lo cual comprende una estructura que permite registrar características, funcionamientos, comportamientos, etc. Ya que esto se debe a que en la investigación se podrá observar y registrar sistemáticamente la incorporación de cenizas del bagazo de *saccharum officinarum* para mejorar la capacidad de soporte de la subrasante de la trocha Sahuanay – Umaccata Tamburco – Abancay, lo que permitirá recoger los datos, para así cumplir con los objetivos de la investigación.

- Ensayo de granulometría por tamizado (MTC E 107, ASTM D422).
- Ensayo de contenido de humedad (MTC E 108, ASTM D 2216).
- Ensayo de límites de consistencia (MTC E 110- 111, ASTM D 4318).
- Ensayo de compactación Proctor modificado (MTC E – 115, ASTM D 1557).
- Ensayo de CBR “MTC E– 132, ASTM D 1883”.

### **3.9. Consideraciones Éticas**

En la investigación, las muestras obtenidas en campo para el desarrollo del trabajo son representativas y los datos son manipulados con la máxima fidelidad, seriedad y honestidad, no es plagio o copia de investigaciones, publicaciones, o trabajos similares presentados por cualquier persona o entidad.

Se toma en cuenta que las citas de otros autores se reconocen debidamente en los trabajos de investigación, por lo cual cualquier información adquirida de medios digitales, escritos o de la internet no se ha asumido como mi autoría.

### **3.10. Procesamiento Estadístico**

En cuanto al procedimiento estadístico, para la presente investigación se tomará como referencia de acuerdo el límite de la muestra será según el t studen, ya que nos permite comparar las medias entre dos pruebas independientes, es de allí que se tomara para probar la validez de hipótesis alterna e hipótesis nula que se formuló en la presente investigación.

Según (Bencardino, 2012) Las pruebas de hipótesis, llamadas también pruebas de significación, tienen como objetivo principal evaluar afirmaciones o suposiciones referente a los valores estadísticos de la población, llamados parámetros.

Para tomar una decisión, necesitamos dibujar posibilidades sobre los rasgos que se evalúan en una población particular. En última instancia, esta suposición puede ser verdadera o falsa. Estos supuestos se denominan hipótesis estadísticas y deben formularse y establecerse lógicamente antes de tomar datos de muestra.

(p. 324,327)

La presente investigación consideró las hipótesis nula y alterna. Su uso depende de lo que estés probando. La diferencia entre ambas hipótesis se muestra a continuación.

Hipótesis nula  $H_0: [\mu_x = \mu_y]$ : es aquella por el cual se hace una afirmación sobre un parámetro que se va a constatar con el resultado muestral (Bencardino, 2012, p. 328).

Hipótesis alterna  $H_a: [\mu_x > \mu_y], [\mu_x < \mu_y], [\mu_x \neq \mu_y]$ , : diferente de la hipótesis nula. En otras palabras, proporciona una forma alternativa de confirmar que la hipótesis nula es falsa. La hipótesis alterna establece que el parámetro será mayor (prueba de la cola derecha), menor (prueba del lado izquierdo) o igual (prueba de dos colas), dependiendo de lo que sugiera la hipótesis nula (Bencardino, 2012, p. 328)

### **3.10.1. Procedimiento realizado a la prueba de hipótesis**

Bencardino (2012), En su libro sobre Estadística y Muestreo, especifica un procedimiento para crear pruebas de hipótesis, los pasos son:

- Formular los dos tipos de Hipótesis  $H_0, H_a$
- Elegir el nivel de significancia
- Calcular la varianza
- Determinar la técnica y la prueba estadística
- Determinar los valores críticos y sus regiones de rechazo
- Hallar los datos muestrales
- Decidir estadísticamente si aceptar o rechazar

Los pasos para crear una prueba de hipótesis se detallan a continuación.

Cabe señalar que cada una de las hipótesis específicas del suelo arcilloso fue

probada en subrasante con adición de ceniza de saccharum officinarum y activador alcalino

### a) Planteamiento de la hipótesis.

Las pruebas de hipótesis se consideraron de dos colas, suponiendo medir la influencia de la adición de ceniza de saccharum officinarum y activador alcalino, por lo tanto, se desconoce qué tipo de resultados a obtener, pues hay la probabilidad que los resultados sean favorables o desfavorables.

$$H_0 : [\mu_x = \mu_y]$$

$$H_a : [\mu_x \neq \mu_y]$$

Donde:

$$H_0 = \text{hipótesis nula}$$

$$H_a = \text{hipótesis alterna}$$

### b) Nivel de significación o significancia.

En la investigación se considera un nivel de significación de 5%, con “ $\alpha=0.05$ ”, el cual indica la probabilidad de error.

### c) Estadístico.

Se consideró la distribución “t” de Student para diferencia entre dos medias muestrales. El cual tiene la siguiente fórmula:

$$t_1 = \frac{\bar{x}_1 - \bar{y}}{\sqrt{\frac{s^2}{n_{x1}} + \frac{s^2}{n_y}}} \quad (12)$$

$$t_1 = s^2 = \frac{\sum(x_i - \bar{x}_1)^2 + \sum(y_i - \bar{y})^2}{n_{x1} + n_y - 2} \quad (13)$$

Donde:

$t_1 = t_c$  ("t" calculado).

$\bar{x}_1$ : Promedio de la muestra 1 (con adición de ceniza)

$\bar{y}$ : Promedio de la muestra 2 (sin adición)

$n_{x1}$ : Muestra 1 (con adición de ceniza)

$n_{y1}$ : Muestra 2 (sin adición)

$s^2$ : Desviación estándar

Además:

$$t_2 = \frac{\bar{x}_2 - \bar{y}}{\sqrt{\frac{s^2}{n_{x2}} + \frac{s^2}{n_y}}} \quad (14)$$

$$t_2 = s^2 = \frac{\sum(x_i - \bar{x}_2)^2 + \sum(y_i - \bar{y})^2}{n_{x2} + n_y - 2} \quad (15)$$

Donde:

$t_1 = t_c$  ("t" calculado).

$\bar{x}_2$ : Promedio de la muestra 1 (con adición de ceniza+NaOH)

$\bar{y}$ : Promedio de la muestra 2 (sin adición)

$n_{x1}$ : Muestra 1 (con adición de ceniza+NaOH)

$n_y$ : Muestra 2 (sin adición)

$s^2$ : Desviación estándar

#### d) Determinación de la región crítica.

Se determinó como una prueba bilateral, debido a que se desconoce si la adición de Saccharum Officinarum y activador alcalino al material arcilloso influye de forma favorable o desfavorable. El nivel de significación (asumido 5%) al ser dividido entre la mitad, se asume un nivel de significancia de 2.50% es decir ambas colas tendrán un valor de  $\alpha=0.025$ . La región crítica se determina con el "t" tabulado, y se determina mediante la figura 14:

**Figura 14**

Distribución “t” Student.

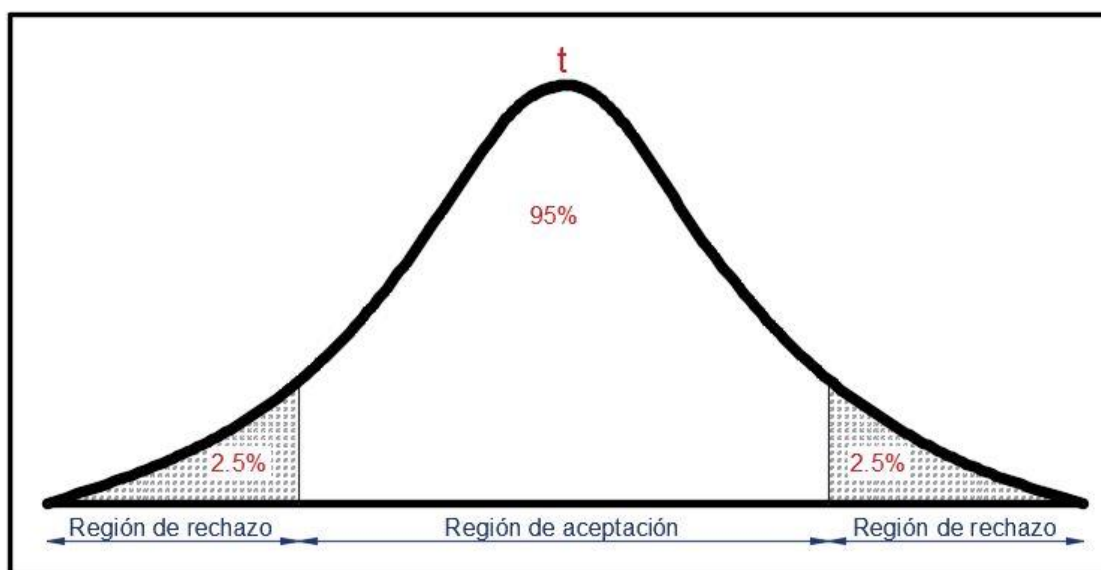
		$\alpha/2$												
		0,0005	0,001	0,005	0,01	0,025	0,05	0,1	0,2	0,25	0,3	0,4	0,45	0,475
v grados de libertad	1	636,619	318,309	63,657	31,821	12,706	6,314	3,078	1,376	1,000	0,727	0,325	0,158	0,079
	2	31,599	22,327	9,925	6,965	4,303	2,920	1,886	1,061	0,816	0,617	0,289	0,142	0,071
	3	12,924	10,215	5,841	4,541	3,182	2,353	1,638	0,978	0,765	0,584	0,277	0,137	0,068
	4	8,610	7,173	4,604	3,747	2,776	2,132	1,533	0,941	0,741	0,569	0,271	0,134	0,067
	5	6,869	5,893	4,032	3,365	2,571	2,015	1,476	0,920	0,727	0,559	0,267	0,132	0,066
	6	5,959	5,208	3,707	3,143	2,447	1,943	1,440	0,906	0,718	0,553	0,265	0,131	0,065
	7	5,408	4,785	3,499	2,998	2,365	1,895	1,415	0,896	0,711	0,549	0,263	0,130	0,065
	8	5,041	4,501	3,355	2,896	2,306	1,860	1,397	0,889	0,706	0,546	0,262	0,130	0,065
	9	4,781	4,297	3,250	2,821	2,262	1,833	1,383	0,883	0,703	0,543	0,261	0,129	0,064
	10	4,587	4,144	3,169	2,764	2,228	1,812	1,372	0,879	0,700	0,542	0,260	0,129	0,064
	11	4,437	4,025	3,106	2,718	2,201	1,796	1,363	0,876	0,697	0,540	0,260	0,129	0,064
	12	4,318	3,930	3,055	2,681	2,179	1,782	1,356	0,873	0,695	0,539	0,259	0,128	0,064
	13	4,221	3,852	3,012	2,650	2,160	1,771	1,350	0,870	0,694	0,538	0,259	0,128	0,064
	14	4,140	3,787	2,977	2,624	2,145	1,761	1,345	0,868	0,692	0,537	0,258	0,128	0,064
	15	4,073	3,733	2,947	2,602	2,131	1,753	1,341	0,866	0,691	0,536	0,258	0,128	0,064
	16	4,015	3,686	2,921	2,583	2,120	1,746	1,337	0,865	0,690	0,535	0,258	0,128	0,064
	17	3,965	3,646	2,898	2,567	2,110	1,740	1,333	0,863	0,689	0,534	0,257	0,128	0,064
	18	3,922	3,610	2,878	2,552	2,101	1,734	1,330	0,862	0,688	0,534	0,257	0,127	0,064
	19	3,883	3,579	2,861	2,539	2,093	1,729	1,328	0,861	0,688	0,533	0,257	0,127	0,064
	20	3,850	3,552	2,845	2,528	2,086	1,725	1,325	0,860	0,687	0,533	0,257	0,127	0,063
	21	3,819	3,527	2,831	2,518	2,080	1,721	1,323	0,859	0,686	0,532	0,257	0,127	0,063
	22	3,792	3,505	2,819	2,508	2,074	1,717	1,321	0,858	0,686	0,532	0,256	0,127	0,063
	23	3,768	3,485	2,807	2,500	2,069	1,714	1,319	0,858	0,685	0,532	0,256	0,127	0,063
	24	3,745	3,467	2,797	2,492	2,064	1,711	1,318	0,857	0,685	0,531	0,256	0,127	0,063
	25	3,725	3,450	2,787	2,485	2,060	1,708	1,316	0,856	0,684	0,531	0,256	0,127	0,063
	26	3,707	3,435	2,779	2,479	2,056	1,706	1,315	0,856	0,684	0,531	0,256	0,127	0,063
	27	3,690	3,421	2,771	2,473	2,052	1,703	1,314	0,855	0,684	0,531	0,256	0,127	0,063
	28	3,674	3,408	2,763	2,467	2,048	1,701	1,313	0,855	0,683	0,530	0,256	0,127	0,063
	29	3,659	3,396	2,756	2,462	2,045	1,699	1,311	0,854	0,683	0,530	0,256	0,127	0,063
	30	3,646	3,385	2,750	2,457	2,042	1,697	1,310	0,854	0,683	0,530	0,256	0,127	0,063
	31	3,633	3,375	2,744	2,453	2,040	1,696	1,309	0,853	0,682	0,530	0,256	0,127	0,063
	32	3,622	3,365	2,738	2,449	2,037	1,694	1,309	0,853	0,682	0,530	0,255	0,127	0,063
	33	3,611	3,356	2,733	2,445	2,035	1,692	1,308	0,853	0,682	0,530	0,255	0,127	0,063
	34	3,601	3,348	2,728	2,441	2,032	1,691	1,307	0,852	0,682	0,529	0,255	0,127	0,063
	35	3,591	3,340	2,724	2,438	2,030	1,690	1,306	0,852	0,682	0,529	0,255	0,127	0,063
$\alpha$	0,001	0,002	0,01	0,02	0,05	0,1	0,2	0,4	0,5	0,6	0,8	0,9	0,95	

Nota. “valores para el cálculo de la región crítica en una distribución “t””.

Fuente: Bencardino (2012)

**Figura 15**

Diagrama de distribución “t” Student



Nota. zonas (región) de aceptación y rechazo que establece la distribución “t” para pruebas bilaterales para un nivel de significación del 5%.

Fuente: (Quispe , 2021, p. 60).

La región crítica  $t_t$  se halla mediante la Figura 13

Por lo que se necesita los datos siguientes

$gl = (n_1 + n_2 - 2)$  grados de libertad.

Donde,

$n_1$  = Corresponde a la muestra con adición de Ceniza.

$n_2$  = Corresponde a la muestra sin adición de Ceniza

$\alpha$  = nivel de significacion

**e) Adoptar una decisión.**

Con los datos resultantes del cálculo del estadístico y nivel de significancia del área crítica, se finaliza aceptando o rechazando la hipótesis nula.

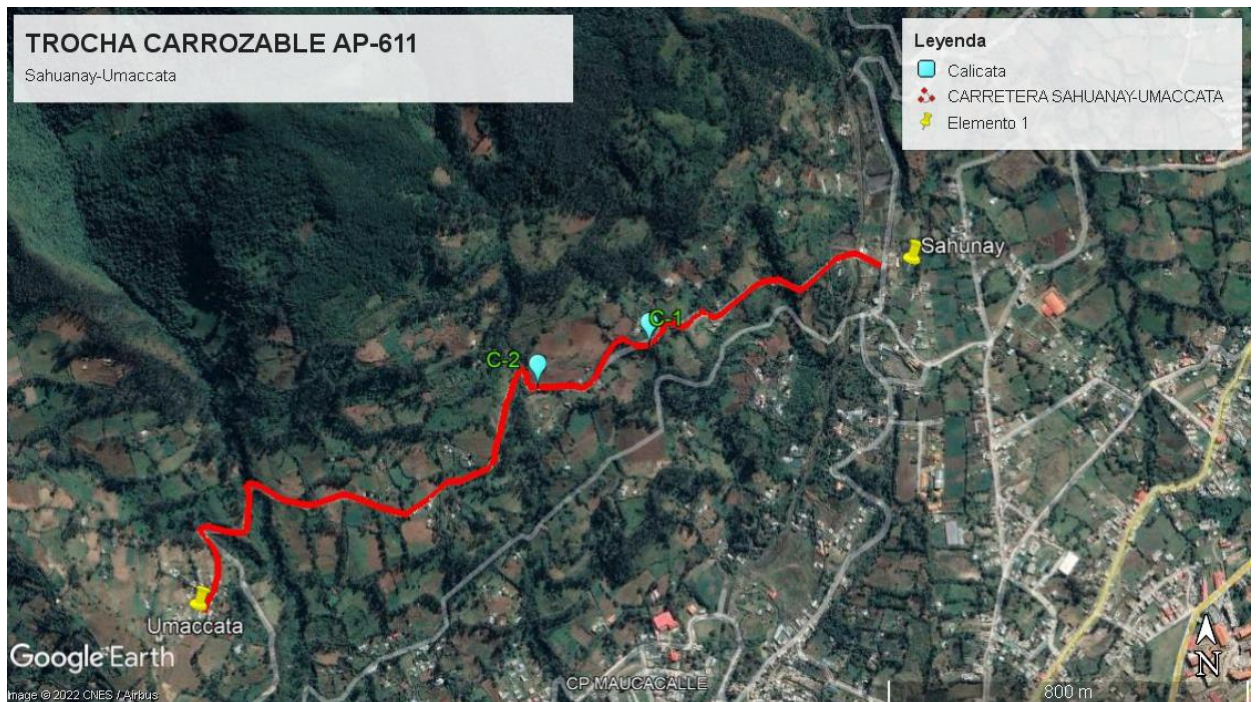
## Capítulo IV

### Resultados y Discusión

#### 4.1. Resultados

##### 4.1.1. *Ubicación de la Trocha Carrozable AP-611 y Muestreo*

En toda construcción de una carretera a nivel de subrasante se evalúan diferentes aspectos, comenzando por la ubicación de los puntos donde se extraerá la muestra representativa, seguidamente la caracterización del suelo, en esta investigación que se desarrolló la trocha carrozable se encuentra al norte de la plaza de Armas del distrito de Tamburco que une Sectores de Sahuanay (lado Este) y Umaccata (Lado Oeste), y en la Progresiva 1+740 se realizó la recolección de la muestra representativa ( muestra patron).

**Figura 16***Ubicación de la Carretera*

*Nota.* Ubicación de la Trocha Carrozable y Muestra extraída, imagen obtenida de Google Earth.

### ***Ubicación Calicata C-1***

Ubicación: Progresiva km. 0+700

Tipo de Suelo por Inspección Visual: Material fino color Rojo Oscuro con presencia de Materia Orgánico.

Coordenadas: Este: 729397 m, Norte: 8494302 m, Altura: 2796.0 msnm

### ***Ubicación Calicata C-2***

Ubicación: Progresiva km. 1+740

Tipo de Suelo por Inspección Visual: Arcillosos color Rojo Intenso.

Coordenadas: Este: 729148 m, Norte: 8494212 m, Altura: 2804.3 msnm

### 3.1.1.1. Análisis de la Muestra por Tamizado (MTC E 107)

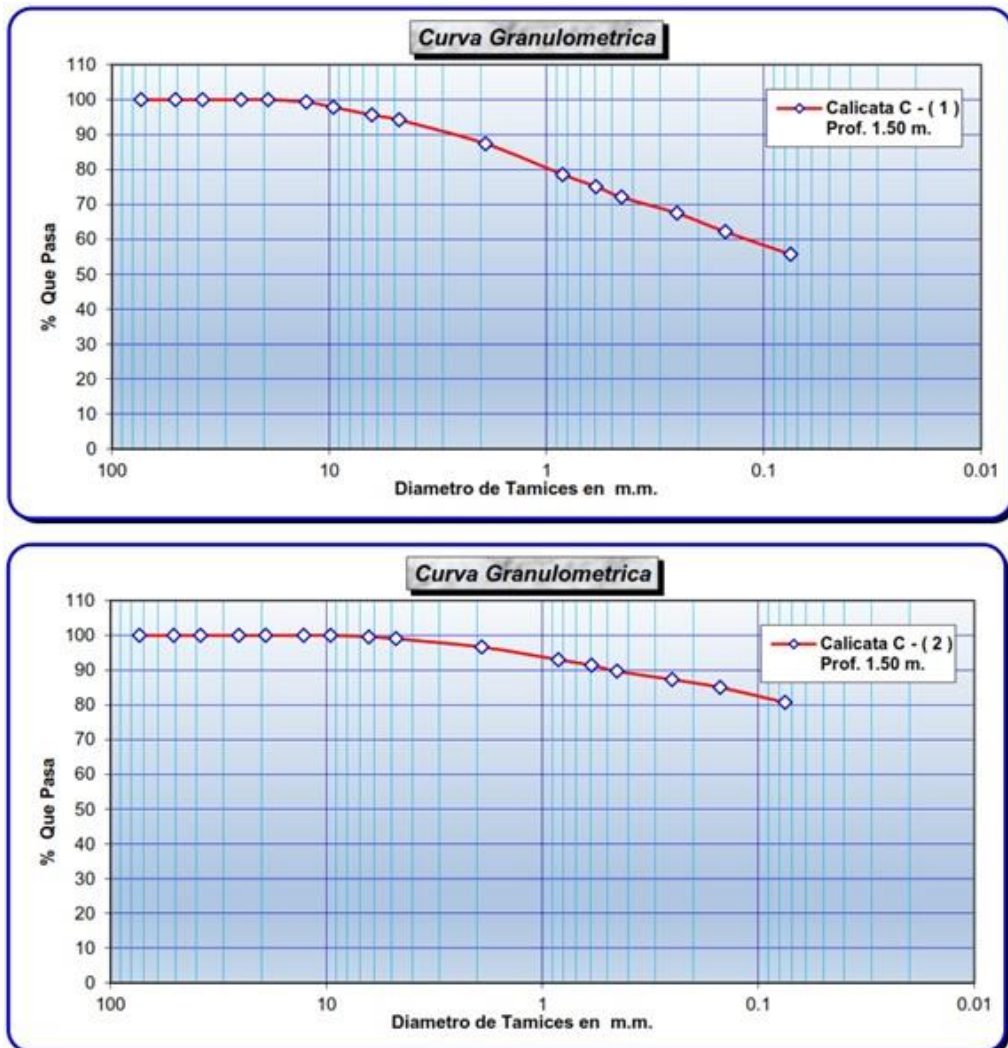
De la tabla 9, se grafica La Curva Granulométrica (Figura con los porcentajes del peso de las muestras que atraviesan los distintos tamices donde se observa que la diferencia del porcentaje entre C-2 y C-1 del suelo que pasa la malla N° 200 es de 24.97 %

**Tabla 7**  
*Análisis Granulométrico por Tamizado*

Tamizado de Calicatas					
		C-1		C-2	
Tamiz	Abertura (mm)	% Retenido	% Que Pasa	% Retenido	% Que Pasa
3"	73.20	0.00	100.0	0.00	100.00
2"	50.80	0.00	100.0	0.00	100.00
1 1/2"	38.10	0.00	100.0	0.00	100.00
1"	25.40	0.00	100.0	0.00	100.00
3/4"	19.00	0.00	100.0	0.00	100.00
1/2"	12.50	0.71	99.29	0.00	100.00
3/8"	9.50	1.45	97.84	0.00	100.00
1/4"	6.35	2.23	95.61	0.44	99.56
N°4	4.75	1.43	94.18	0.54	99.02
N°10	2.00	6.82	87.36	2.39	96.62
N°20	0.84	8.81	78.55	3.63	92.99
N° 30	0.59	3.44	75.10	1.63	91.37
N°40	0.425	3.03	72.07	1.71	89.65
N°60	0.30	4.60	67.46	2.38	87.28
N°100	0.150	5.30	62.16	2.26	85.02
N°200	0.075	6.47	55.69	4.36	80.66
CAZUELA	0.00	55.69	0.00	80.66	0.00

*Nota. se comparan la muestra C-1 y C-2*  
*Fuente: Elaboración propia.*

**Figura 17**  
**Curva Granulométrica**



*Nota. %pasa tamices vs diámetro de los Tamices.*  
*Fuente: Elaboración propia.*

Después de haber realizado los ensayos detallados anteriormente dentro de las bases teóricas para poder clasificar el suelo, se obtuvieron los siguientes resultados:

**Tabla 8**  
*Resumen de Ensayos de Calicatas*

Ensayo	Resultados	
	C-01	C-02
Análisis Granulométrico por tamizado	% Pasa Tamiz N° 4 :94.18	% Pasa Tamiz N° 4 :99.02
	% Pasa Tamiz N° 10 :87.36	% Pasa Tamiz N° 10 :96.62
	% Pasa Tamiz N° 40 :72.07	% Pasa Tamiz N° 40 :89.65
	% Pasa Tamiz N° 100 :62.16	% Pasa Tamiz N° 100 :85.02
	% Pasa Tamiz N° 200 :55.69	% Pasa Tamiz N° 200 :80.66
Índice de Grupo (IG)	4	10
Limite Líquido (%)	40.14 %	36.62 %
Limite Plástico (%)	29.92 %	24.28 %
Índice de Plasticidad (%)	10.23%	12.34 %
Contenido de Humedad (%)	27.46 %	19.49 %
Clasificación SUCS	ML	CL
Clasificación AASHTO	A-7-6 (4)	A-6 (10)

*Nota. Resumen de diferentes ensayos.*

*Fuente: Elaboración propia.*

Una vez obtenidos los resultados de la clasificación de C-01 y C-02 como se observa en la Tabla N° 8 se tomó en consideración trabajar con la Muestra de la Calicata C-2 por ser un material que contiene mayor cantidad de finos, además de ello según su clasificación AASHTO es “arcillas inorgánicas de plasticidad media” a la cual va dirigida esta investigación.

#### **4.1.2. Ubicación de lugares de acopio de Ceniza de *saccharum officinarum***

Los puntos de recolección de la ceniza se especifican en la Tabla N° 1 donde se establecen 4 puntos de recolección como se puede identificar en la figura 16.

**Figura 18**  
**Puntos de Acopio de Ceniza**



*Nota.* Ubicación donde se recolectó la ceniza de *saccharum officinarum*, imagen obtenida de Google Earth.

### **Ubicación 1**

Ubicación: Valle Pachachaca

Nombre del Productor: Moisés Vásquez

Coordenadas: Este: 724043 m, Norte: 8488233 m, Altura: 1803.8 msnm

### **Ubicación 2**

Ubicación: Valle Pachachaca

Nombre del Productor: José León

Coordenadas: Este: 723690 m, Norte: 8488142 m, Altura: 1753.4 msnm

### **Ubicación 3**

Ubicación: Valle Pachachaca

Nombre del Productor: Trapiche Espinoza

Coordenadas: Este: 724508 m, Norte: 8488033 m, Altura: 1789.9 msnm

### **Ubicación 4**

Ubicación: Valle Pachachaca

Nombre del Productor: Oscar Donaires

Coordenadas: Este: 723990 m, Norte: 8488607 m, Altura: 1842.7 msnm

#### 4.1.2.1. Tamizado y Secado de la Muestra de Ceniza

Según (Morales, 2015) afirma que la ceniza de carbón para mezclarse con diferentes tipos de suelos debe ser tamizada por el tamiz N°100 o mayor. En esta investigación al tratarse de Ceniza de Bagazo de *Saccharum Officinarum* se tomarán las mismas consideraciones para la adición de 5% , 10% y 15%. al suelo Arcilloso.

En los puntos de recolección, la ceniza se obtiene de la combustión del bagazo en los hornos rústicos, como se observa en la Figura 19 en el cual se encuentra con múltiples partículas que de bagazo que no se quemaron, por lo que el material óptimo utilizable de ceniza que queda fue aproximadamente el 70% del peso.

**Figura 19**

*Hornos de Combustión de Bagazo de *Saccharum Officinarum**



Nota. Imagen izquierda, Productor: Trapiche Espinoza / Imagen derecha, Productor: Oscar Donaires

Fuente. Elaboración Propia

Después de haber realizado el tamizado de la Ceniza podríamos estimar un costo promedio de la obtención de la Ceniza lista para su utilización de acuerdo a la tabla N° 9

**Tabla 9****Costo Estimado de Ceniza Tamizada**

Ceniza Tamizada (30kg)	
transporte	20
mano de obra	35
instrumentos	15
<b>total</b>	<b>70</b>

Nota. Costo referencial del insumo obtenido para realizar esta investigación

Fuente. Elaboración Propia

De la Tabla N° 9 se infiere que para obtener un Kg. de Ceniza el costo referencial sería de  $\text{s}/2.33$  por lo tanto para obtener 1 Tonelada de Ceniza Lista para Usar costaría  $\text{s}/2333$ .

**Figura 20****Secado de la Ceniza de Bagazo de *Saccharum Officinarum***

Nota. Secado de Ceniza Tamizada por la malla N° 100

Fuente. Elaboración Propia

**4.1.2.2. Peso Específico de Ceniza de Bagazo de *Saccharum Officinarum***

Para determinar el Peso Específico de la Ceniza, se realizó el ensayo MTC E 113 Gravedad específica mediante el picnómetro de agua, donde se obtuvo tres resultados para finalmente obtener un promedio y asumirlo como el Peso Específico final de la ceniza, se sabe:

$$\delta_{ceniza} = \frac{W_{ceniza}}{\frac{(W_{pic+agua+muestra} - W_{pic+agua})}{\delta_{agua}}} \quad (16)$$

Donde :

$\delta$  = Peso Especifico  $gr/cm^3$

$W_{ceniza} = 100 \text{ gr.}$

$W_{pic+agua+muestra}$  = Peso de Picnomtero+agua+ceniza

$W_{pic+agua}$  = Peso de Picnomtero+agua

$\delta_{agua}$  = Peso Especifico del agua a  $20^\circ \text{ C} = 0.998 \text{ gr}/\text{cm}^3$

### Figura 21

*Ensayo de Gravedad Especifica de la ceniza*

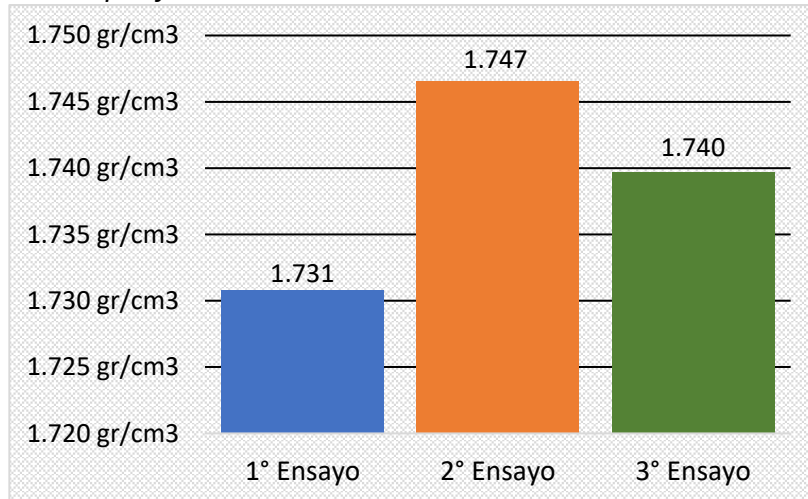


Nota. Ensayo MTC E 113 para hallar peso específico de la Ceniza  
Fuente. Elaboración Propia

Para este ensayo se utilizó 100 gr. de ceniza seca tamizada por la malla N° 100 el cual nos sirve para obtener el peso específico o gravedad específica como se observa en la Figura 21.

**Figura 22**

*Peso Específico de la Ceniza*



Fuente. Elaboración Propia

De la Figura 22, el promedio del peso específico de la ceniza se considera un valor de  $1.739 \text{ gr/cm}^3$ .

#### **4.1.3. Activador Alcalino (NaOH)**

Existen Diferentes tipos de activadores alcalinos que se encuentran disponibles, para esta investigación se usó el Hidroxido de Sodio en estado solido de grado comercial con un 98% de pureza como indica sus especificaciones de fabricacion.

Figura 23

Soda Caustica (NaOH) – venta comercial



Nota. Imagen izquierda, parte frontal del producto / Imagen derecha, parte posterior del producto  
Fuente. Elaboración Propia

#### 4.1.3.1. Dosificación de NaOH

“Para la solución activadora se utilizó una molaridad de 3.5M, debido a que esta concentración comercial es equivalente al utilizarse cemento al 7% en muestras de suelo cemento”. (Morales, 2015, p. 36)

Para elaborar la solución activadora se disuelve la cantidad suficiente de NaOH, se deja reposar un promedio de 5 minutos y finalmente se vierte la solución en la mezcla de suelo y ceniza. para determinar cuántos gramos de soluto se debe conocer que:

$$1M = \frac{\text{mol}_{\text{soluto}}}{1\text{litro}_{\text{solucion}}} \quad (17)$$

$$3.5M = \frac{140 \text{ gr}}{1 \text{ litro}_{\text{solucion}}}$$

Donde:

$mol$  = peso molecular de la sustancia química (gr)

$mol_{NaOH}$  = 40 gr

$solución$  = Agua

Entonces para obtener una solución de 3.5M de debe mezclar 140 gr del activador alcalino en 01 litro de agua.

#### 4.1.4. Límites de Consistencia e Índice de Plasticidad

**Tabla 10**

*Resultados de Límites de Atterberg más adición de Ceniza*

ENSAYOS	C-2	+5% de Ceniza	+10% de Ceniza	+15% de Ceniza
LIMITE LIQUIDO (LL)	36.62 %	38.40 %	39.90 %	41.30 %
LIMITE PLASTICO (LP)	24.80 %	27.60 %	30.20 %	32.60 %
IP	11.82 %	10.80 %	9.70 %	8.70 %

*Nota. se observa un decrecimiento en el IP debido al incremento de ceniza.*

*Fuente: Elaboración propia.*

**Tabla 11**

*Resultados de Límites de Atterberg más adición de Ceniza +NaOH*

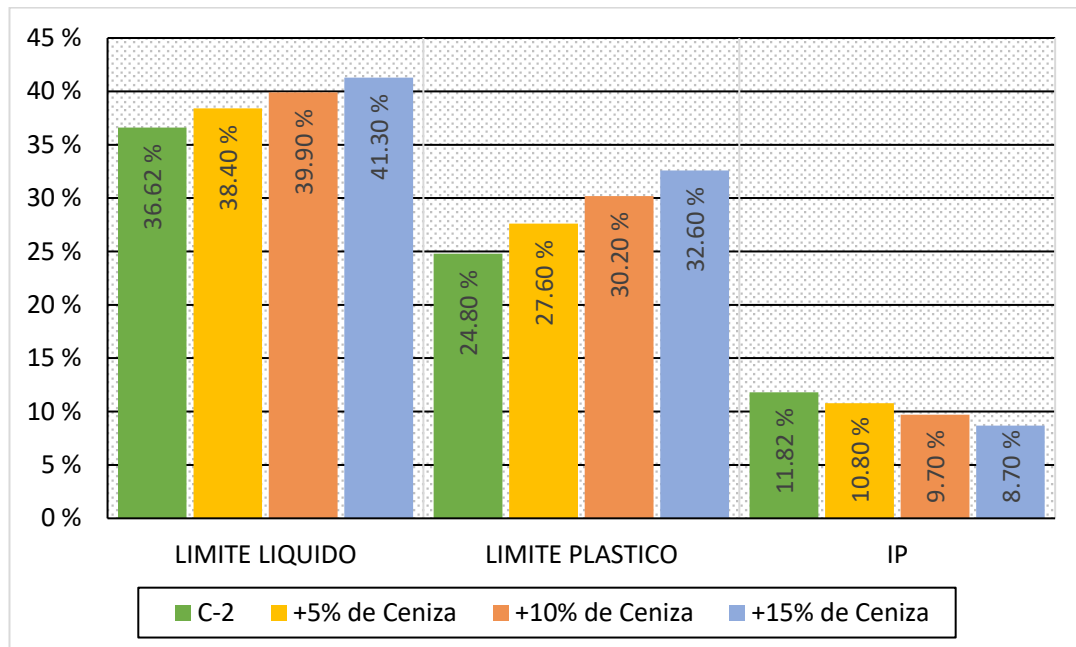
ENSAYOS	C-2	+5% de Ceniza + NaOH	+10% de Ceniza + NaOH	+15% de Ceniza + NaOH
LIMITE LIQUIDO (LL)	36.62 %	37.10 %	38.55 %	40.90 %
LIMITE PLASTICO (LP)	24.80 %	26.90 %	29.20 %	32.35 %
IP	11.82 %	10.20 %	9.35 %	8.55 %

*Nota. se observa un decrecimiento en el IP debido al incremento de ceniza.*

*Fuente: Elaboración propia.*

**Figura 24**

Resultados de Limites de Atterberg más adición de Ceniza

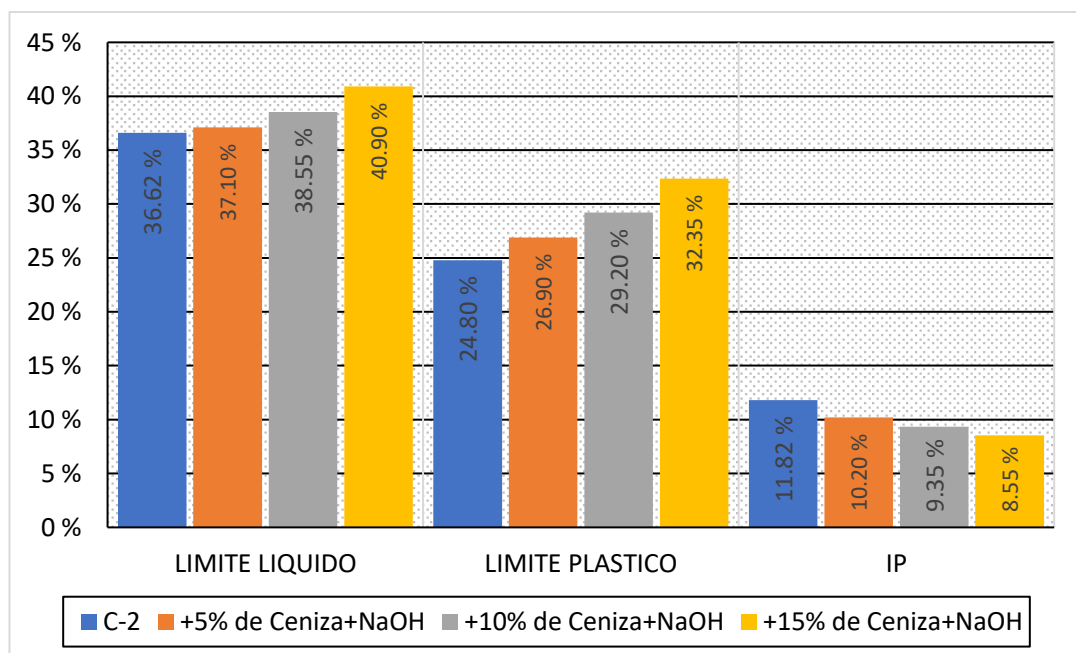


Nota. el LL y el LP presentan un crecimiento, el IP disminuye.

Fuente. Elaboración Propia.

**Figura 25**

Resultados de Limites de Atterberg más adición de Ceniza + NaOH



Nota. el LL y el LP presentan un crecimiento, el IP disminuye.

Fuente. Elaboración Propia

Según los resultados obtenidos en el laboratorio el Limite Liquido y el Limite Plástico observados en la Figura 24 presentan un incremento proporcional a la adición de ceniza, por el contrario, el Índice de Plasticidad disminuye conforme aumenta la adición de Ceniza.

Así mismo en la Figura 25 se observa que el Índice de Plasticidad (IP) También disminuye con respecto a la muestra C-2, y al comparar los resultados del IP entre C2+Ceniza y C2+Ceniza+NaOH. El activador alcalino genera una disminución mayor del IP al obtener una variación de 0.20%.

#### **4.1.5. Proctor Modificado**

##### **4.1.5.1. Adición con Ceniza de Saccharum Officinarum**

Para la mezcla del suelo arcilloso y Ceniza de Bagazo de Saccharum Officinarum se encontró que la Densidad Máxima resultante para cada adición disminuye constantemente un promedio 0.025 gr/cm<sup>3</sup> tomando como valor inicial la muestra sin adición. Por el contrario, la Humedad Optima con la primera adición disminuye su valor y según aumenta la cantidad de Ceniza también incrementa el porcentaje de humedad incluso superando el valor inicial de la muestra, como se Observa en la Tabla 12 y la Figura 26.

**Tabla 12**

*Resultados de Ensayo de Proctor Modificado con adición de Ceniza*

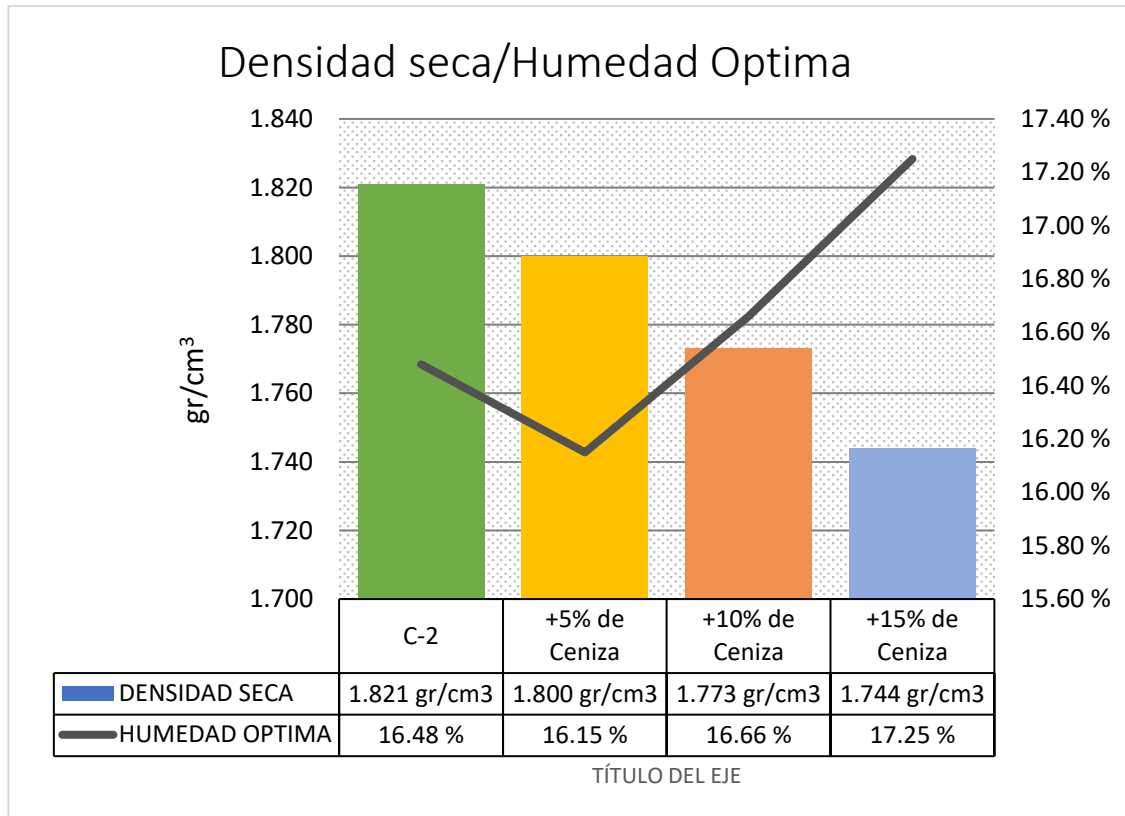
Muestra	DMS (gr/cm <sup>3</sup> )	Humedad Optima
C-2	1.821	16.48 %
C-2 + 5% de Ceniza	1.800	16.15 %
C-2 + 10% de Ceniza	1.773	16.66 %
C-2 + 15% de Ceniza	1.744	17.25 %

*Nota. Datos de Densidad Máxima Seca y Humedad Optima.*

Fuente: Elaboración propia.

**Figura 26**

*Resultados de Ensayo de Proctor Modificado adición de Ceniza*



*Nota. Datos de Densidad Máxima Seca y Humedad Optima.*

*Fuente: Elaboración propia.*

De acuerdo a la Figura 24 se observa que, mientras mayor es la adición de Ceniza de *Saccharum Officinarum* la Humedad se incrementa y la Densidad Seca decrece.

#### **4.1.5.2. Adición con Ceniza *Saccharum Officinarum* + NaOH**

Para la mezcla del suelo arcilloso, Ceniza de Bagazo de *Saccharum Officinarum* y Activador Alcalino se encontró que la Densidad Máxima resultante para cada adición también disminuye constantemente como ocurre con las muestras sin activador alcalino. De forma similar la Humedad Optima tiene el

mismo comportamiento respecto a la muestra sin activador alcalino, De acuerdo a los datos de la Tabla 13 y la Figura 27.

**Tabla 13**

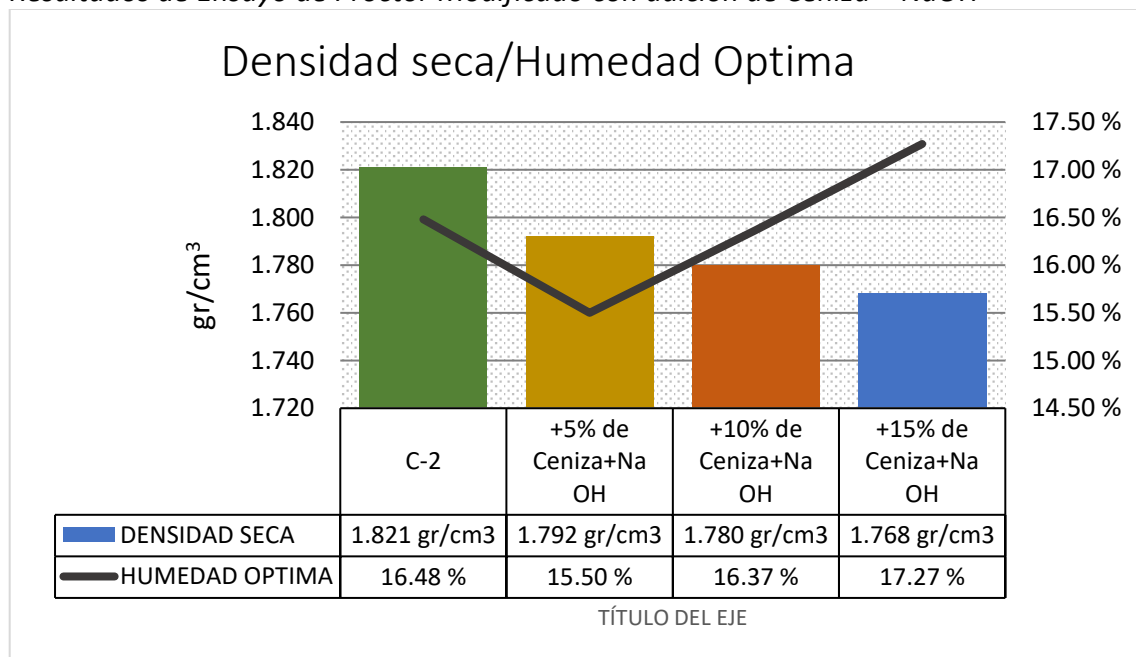
*Resultados de Ensayo de Proctor Modificado adición de Ceniza + NaOH*

Muestra	Densidad Máxima (gr/cm <sup>3</sup> )	Humedad Optima
C-2	1.821	16.48 %
C-2 + 5% de Ceniza	1.792	15.50 %
C-2 + 10% de Ceniza	1.780	16.37 %
C-2 + 15% de Ceniza	1.768	17.27 %

*Nota. Datos de Densidad Máxima Seca y Humedad Optima.  
Fuente: Elaboración propia.*

**Figura 27**

*Resultados de Ensayo de Proctor Modificado con adición de Ceniza + NaOH*



*Nota. Datos de Densidad Máxima Seca y Humedad Optima.  
Fuente: Elaboración propia.*

Con la mezcla del suelo, Ceniza y Activador Alcalino la Densidad Seca disminuye en menor proporción, el cual se puede afirmar que el activador alcalino logra un efecto favorable al suelo.

#### 4.1.6. Capacidad de Soporte

##### 4.1.6.1. Expansión

Los ensayos de CBR se realizaron de acuerdo al manual de ensayo de materiales:

Se compactaron 03 ensayos saturada con cantidad de agua optima identificado en el Proctor modificado, las muestras se compactaron a energías variables de 56 impactos, 25 impactos y 12 impactos, consecuentemente, se lleva la muestra a la etapa de sumergimiento durante 96 horas generalmente o hasta que la expansión sea constante, como se observa en la Figura 28.

**Figura 28**

*Saturación de las Muestras – Expansión*



*Nota.* Muestras Sumergidas durante 4 días para determinar la expansión del suelo  
*Fuente:* Elaboración propia.

Con respecto a los datos obtenidos en los ensayos se puede observar que el porcentaje de expansión disminuye según la adición de ceniza va en aumento, como se observa en la Figura 29, el cual al adicionar 15 % de Ceniza, su expansión al 4 día de haber sumergido la muestra de 56 golpes el porcentaje de expansión llega al 1.09% que significa haber disminuido un poco menos del 50% de su expansión inicial.

**Tabla 14**

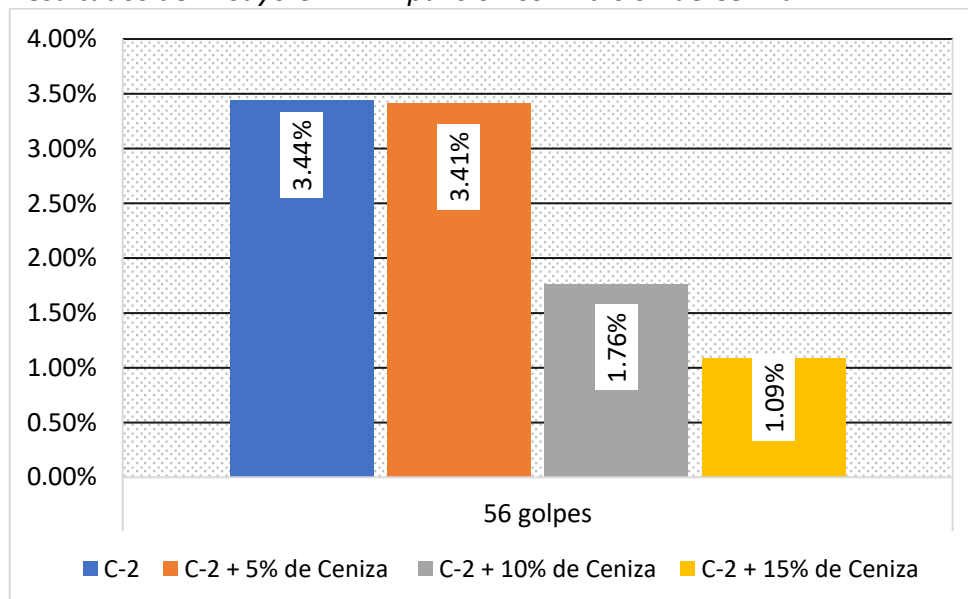
*Resultados de Ensayo CBR – Expansión con Adición de Ceniza*

Adición con Ceniza de Saccharum Officinarum			
Muestra	Expansión (%) – 96 horas		
	12 golpes	25 golpes	56 golpes
C-2	5.58 %	4.00 %	3.44 %
C-2 + 5% de Ceniza	3.91 %	3.63 %	3.4 %
C-2 + 10% de Ceniza	2.40 %	2.39 %	1.76 %
C-2 + 15% de Ceniza	1.80 %	1.56 %	1.09 %

*Nota. Datos de Expansión a las 96 horas de haber sumergido la muestra 12, 25 y 56 golpes*  
*Fuente: Elaboración propia.*

**Figura 29**

*Resultados de Ensayo CBR – Expansión con Adición de Ceniza*



*Nota. Datos de Expansión a las 96 horas de haber sumergido la muestra de 56 golpes*  
*Fuente: Elaboración propia.*

Al adicionar el activador alcalino se obtuvo que la expansión logra disminuir a 0.74% en el ensayo de 56 golpes de compactación el cual se toma como referencia para los cálculos del valor de CBR, como se puede observar en la Tabla 15 y en la Figura 30.

**Tabla 15**

*Resultados de Ensayo CBR – Expansión con Adición de Ceniza + NaOH*

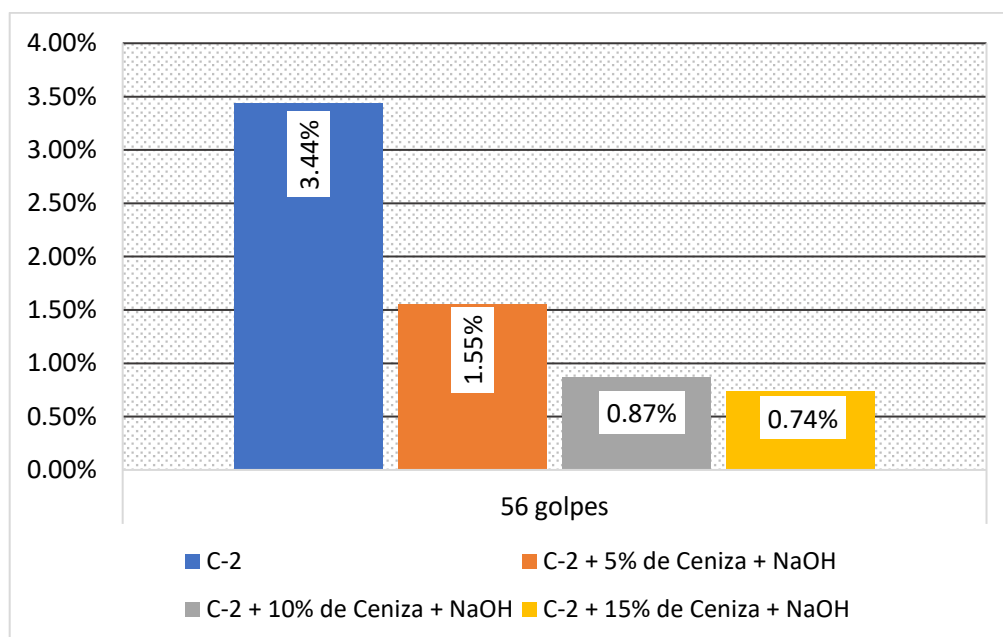
Adición con Ceniza de Saccharum Officinarum + NaOH			
Muestra	Expansión (%) – 96 horas		
	12 golpes	25 golpes	56 golpes
C-2	5.58 %	4.00 %	3.44 %
C-2 + 5% de Ceniza + NaOH	1.58 %	1.42 %	1.55 %
C-2 + 10% de Ceniza + NaOH	1.65 %	0.97 %	0.87 %
C-2 + 15% de Ceniza + NaOH	1.69 %	1.19 %	0.74 %

*Nota. Datos de Expansión a las 96 horas de haber sumergido la muestra de diferentes compactaciones*

*Fuente: Elaboración propia.*

**Figura 30**

*Resultados de Ensayo CBR – Expansión con Adición de Ceniza + NaOH*



*Nota. Datos de Expansión a las 96 horas de haber sumergido la muestra de 56 golpes*

*Fuente: Elaboración propia.*

Según (Beltrán, 2009) El potencial de deformación es la tasa de aumento en el volumen de una muestra confinada lateralmente, que se establece para saturarse de manera óptima a su peso volumétrico máximo en agua bajo una carga de 6,9 kN/m (0,07 kg/cm) después del estándar de prueba de compresión AASHTO. (p. 23)

Se concluye que el límite líquido y la expansión de las arcillas dependen de la cantidad de agua que este absorbe, por ello el autor establece una relación indicada en la Figura 31

**Figura 31**

*Relación entre potencial de expansión e índice de plasticidad*

<b>Potencial de expansión</b>	<b>Índice de Plasticidad</b>
Bajo	0-15
Medio	10-35
Alto	20-55
Muy Alto	35 ó más

*Fuente: (Beltran Martinez, 2009).*

De acuerdo a la Figura 30 y los datos obtenidos en la Tabla 15 la muestra sin adición tendría un potencial de expansión Medio y al adicionar gradualmente la ceniza el índice de plasticidad va disminuyendo obteniendo con una adición del 15% de ceniza 8.70 % el cual según la figura 31 resultaría un potencial de expansión Bajo, así de esa manera mejorando la calidad del suelo.

#### **4.1.6.2. Ensayo CBR**

Terminado el periodo de saturación mencionado en el ítem 4.1.6.1 se somete a la prensa CBR para luego hallar la resistencia al esfuerzo cortante a diferentes penetraciones, de acuerdo a la Figuras 32 y 33.

**Figura 32**

*Ensayo de CBR – Resistencia al Esfuerzo Cortante*



*Nota. Aplicación de Fuerza a la Muestra + 5% de ceniza + NaOH*  
*Fuente: Elaboración propia.*

**Figura 33**

*Ensayo de CBR – Resistencia al Esfuerzo Cortante finalizado*



*Nota. muestras de 56, 25 y 12 golpes después de ser sometidas al ensayo de CBR – Esfuerzo Cortante*  
*Fuente: Elaboración propia.*

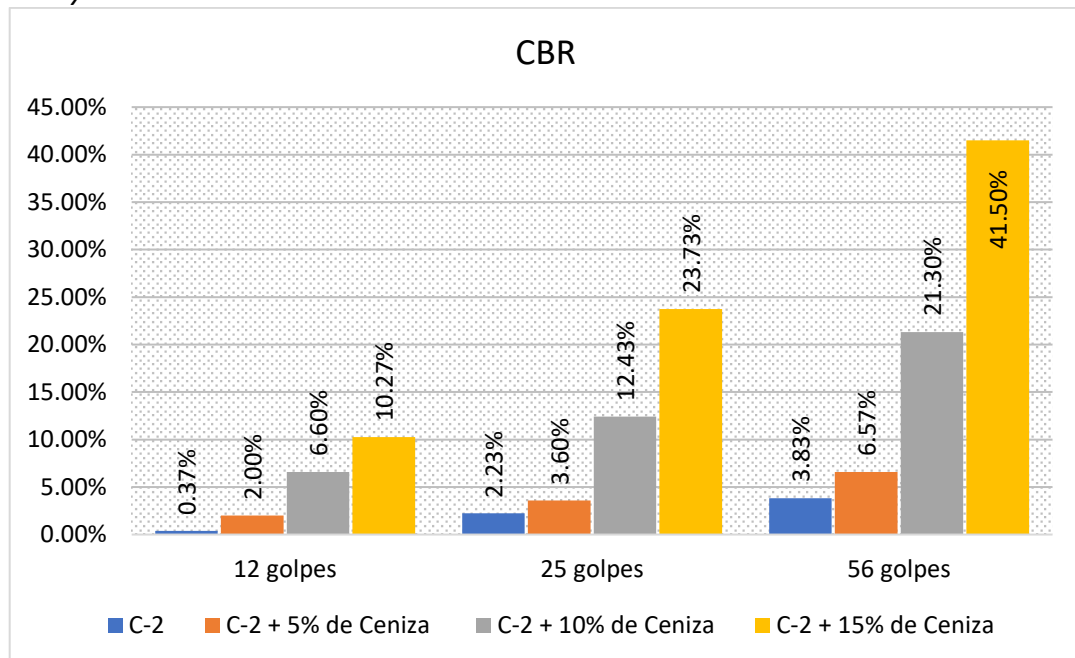
De acuerdo a la Tabla 16, tomando en cuenta con mayor énfasis el ensayo de 56 golpes se concluye que la muestra inicial sin adición alcanza un 3.83% y al analizar la última adición de ceniza se llega al 41.50% el cual se demuestra que adicionando ceniza de Bagazo de *Saccharum Officinarum* el suelo logra aumentar considerablemente su capacidad de soporte.

**Tabla 16**  
*Resultados de Ensayo CBR con Adición de Ceniza*

Muestra	CBR % (N° de golpes)		
	12	25	56
C-2	0.37%	2.23%	3.83%
C-2 + 5% de Ceniza	2.00%	3.60%	6.57%
C-2 + 10% de Ceniza	6.60%	12.43%	21.30%
C-2 + 15% de Ceniza	10.27%	23.73%	41.50%

*Nota. resultados de CBR a distintas energías de compactación.  
Fuente: Elaboración propia.*

**Figura 34**  
*Ensayo CBR con Adición de Ceniza*



*Nota. resultados de CBR.  
Fuente: Elaboración propia.*

Según la Figura 34 obtenida de la Tabla 16 la adición en todos los casos de las distintas energías de compactación se puede identificar que al incrementar el porcentaje de adición en 5% el valor del CBR se duplica con respecto al anterior resultado.

En el caso del ensayo de Esfuerzo Cortante de CBR para la adición de Ceniza + NaOH se puede concluir que al adicionar el activador alcalino (Hidróxido

de Sodio), este insumo sigue incrementando el valor de CBR de la muestra inicial llegando a un valor de 67.37% para la muestra de 56 golpes de 15% de Ceniza + NaOH como se observa en la tabla 17.

**Tabla 17**

*Resultados de Ensayo CBR con Adición de Ceniza + NaOH*

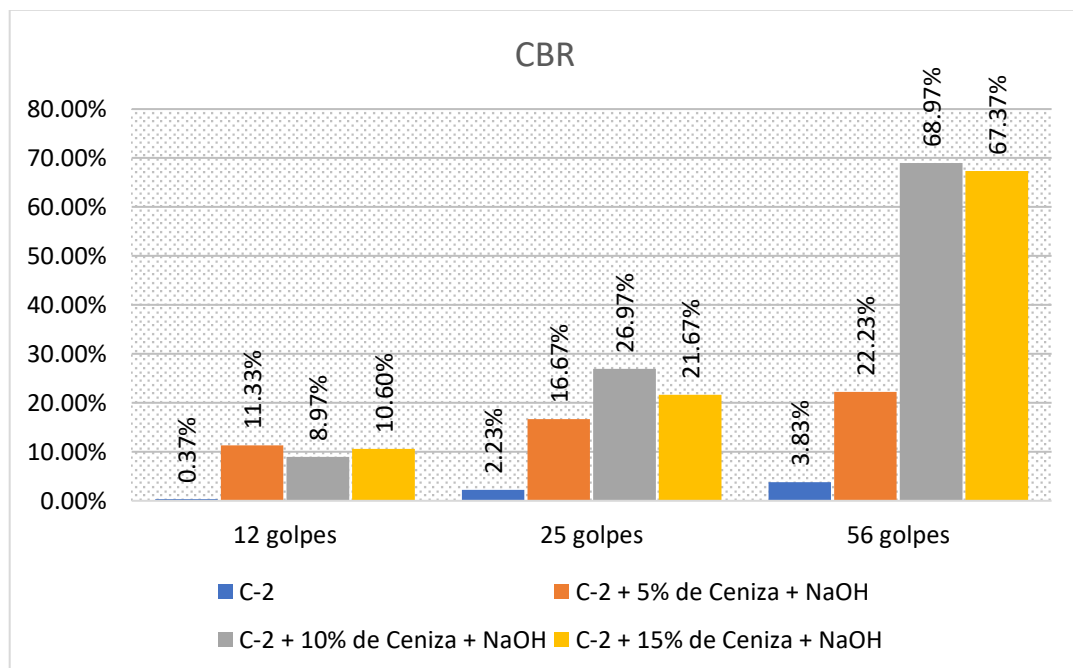
Muestra	CBR % (golpes)		
	12	25	56
C-2	0.37%	2.23%	3.83%
C-2 + 5% de Ceniza + NaOH	11.33%	16.67%	22.23%
C-2 + 10% de Ceniza + NaOH	8.97%	26.97%	68.97%
C-2 + 15% de Ceniza + NaOH	10.60%	21.67%	67.37%

*Nota. resultados de CBR a distintas energías de compactación.*

*Fuente: Elaboración propia.*

**Figura 35**

*Resultados de Ensayo CBR con Adición de Ceniza + NaOH*



*Nota. resultados de CBR a distintas energías de compactación.*

*Fuente: Elaboración propia.*

En el gráfico de barras de la Figura 35 se observa que la adición de C-2 + 10% de Ceniza + NaOH llega a un 68.97% y al seguir adicionando ceniza la muestra C-2 + 15% de Ceniza + NaOH disminuye un 1.5% por lo cual se concluye que al seguir adicionando mayor cantidad de Ceniza + NaOH el valor de CBR seguiría disminuyendo.

Para la tesis planteada según indica (Ministerio de comunicaciones y transportes, 2008, p. 102) para la construcción de carreteras no pavimentadas de bajo volumen de tránsito se establece que el CBR valor de soporte o resistencia del suelo, se calculará de acuerdo al 95% de la Máxima densidad seca, por lo cual los resultados se observan en la Tabla 18 y en la Figura 36.

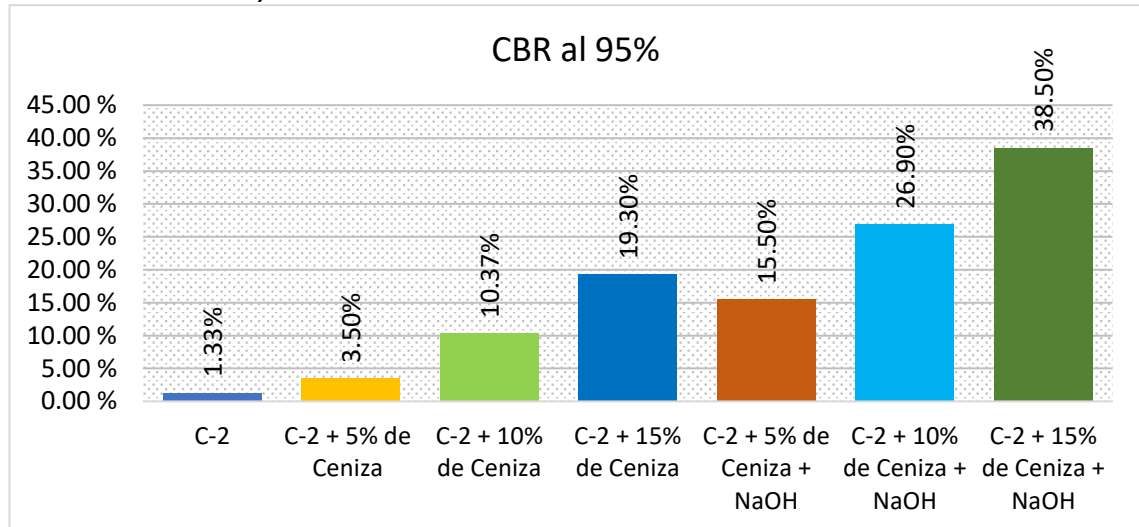
**Tabla 18**  
*Resultados de Ensayo CBR al 95%*

Muestra	CBR al 95%
	56 golpes
C-2	1.33%
C-2 + 5% de Ceniza	3.50%
C-2 + 10% de Ceniza	10.37%
C-2 + 15% de Ceniza	19.30%
C-2 + 5% de Ceniza + NaOH	15.50%
C-2 + 10% de Ceniza + NaOH	26.90%
C-2 + 15% de Ceniza + NaOH	38.50%

*Nota. resultados de CBR con energía de compactación de 56 golpes al 95% de su máximo valor.*

*Fuente: Elaboración propia*

**Figura 36**  
**Resultados de Ensayo CBR al 95%**



Fuente: *Elaboración propia.*

En la figura 36 se observa el incremento del valor CBR al 95% de su Densidad Máxima Seca obtenida en el ensayo de Proctor Modificado, el incremento es considerable según aumenta la proporción de la Ceniza de Bagazo de *Saccharum Officinarum* en el suelo arcilloso, como también al comparar la muestra de C-2 + 15% de Ceniza con la muestra C-2 + 15% de Ceniza + NaOH en encontró que la adición de NaOH como Activador Alcalino incrementa el valor en un 19.2%.

#### **4.1.7. Rendimiento de la Ceniza para la aplicación en suelo arcilloso**

De acuerdo a los ensayos realizados de CBR al 95% las adiciones de 15% de ceniza y 5% de Ceniza + NaOH se obtuvo 19.30% y 15.5% lo cual se clasifica como material "bueno" para subrasante, además de ello la densidad natural del suelo es de 1.45 gr/cm<sup>3</sup>, por lo tanto, la cantidad de ceniza para la utilización en el mejoramiento se vera de acuerdo a la tabla N° 19.

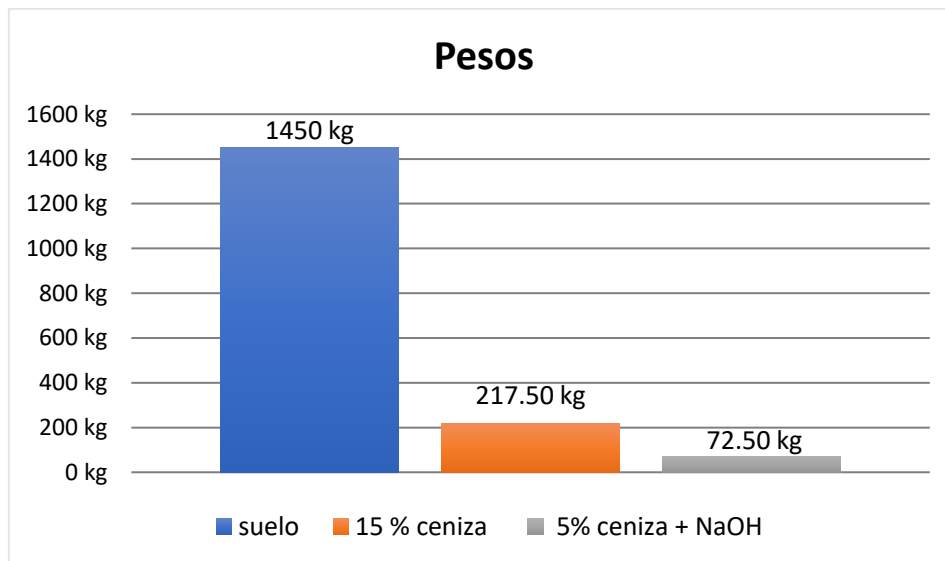
**Tabla 19**

Cantidad de Ceniza por metro cubico

peso por 1m <sup>3</sup>		
suelo	15 % ceniza	5% ceniza + NaOH
1450 kg	217.50 kg	72.50 kg

Fuente: *Elaboración propia.***Figura 37**

Cantidad de Ceniza por metro cubico

Fuente: *Elaboración propia.*

#### 4.2. Discusión de Resultados

De acuerdo a los resultados obtenidos de la Calicata C-2 que es un suelo arcilloso de baja compresibilidad y plasticidad media, al adicionar Ceniza en diferentes proporciones las cuales para esta investigación se consideró: C-2 + 5% de Ceniza, C-2 + 10% de Ceniza y C-2 + 15% de Ceniza.

Así mismo para realizar un análisis comparativo se procedió a adicionar activador alcalino, en este caso específicamente Hidróxido de Sodio (NaOH) en estado sólido con pureza del 98% de grado comercial, el cual es una solución de 3.5M y la adición de Ceniza fue la misma como se menciona a continuación: C-2 +

5% de Ceniza + NaOH, C-2 + 10% de Ceniza + NaOH y C-2 + 15% de Ceniza + NaOH.

a) En lo que corresponde a la Capacidad de Soporte (Valor CBR):

El Valor CBR Para la adición de ceniza de las muestras, correspondiente al 95% de su Densidad Máxima Seca, C-2 + 5% de Ceniza, C-2 + 10% de Ceniza y C-2 + 15% de Ceniza. se obtuvo 3.50%, 10.37% y 19.30%, y un incremento de 2.17%, 9.04% y 17.97% respectivamente comparándola de acuerdo a la muestra arcillosa sin adición de la Calicata C-2.

Terrones (2018), utilizó combinaciones de 5%, 10% y 15% de Ceniza de Caña de Azúcar, obteniendo un CBR promedio con adición de 22.27% con su máxima adición considerada, los resultados fueron mayores por motivos que las cenizas recolectadas proceden de hornos industriales donde se controla de mejor manera la temperatura de Combustión del bagazo.

Para la adición de Ceniza más Activador Alcalino de las muestras C-2 + 5% de Ceniza + NaOH, C-2 + 10% de Ceniza + NaOH y C-2 + 15% de Ceniza + NaOH. Se obtuvieron los valores de 15.50%, 26.90% y 38.50% respectivamente, resultando una variación con la muestra de la Calicata C-2 existe un incremento de 14.17%, 25.57% y 37.17%.

Según Corrêa (2016), en su tesis de investigación llamada "Mejoramiento de un suelo arcilloso con recurso la activación de residuos alcalinos para la aplicación en infraestructura de transporte" utilizó adiciones de 10%, 15% y 20% donde se determinó que existe un incremento hasta de 5 veces su valor inicial sin adición de cenizas activadas alcalinamente

Al comparar los resultados con adición de NaOH y sin ella, la variación del Valor de CBR será 12%, 16.53% y 19.20% respectivamente, de acuerdo a lo indicado se puede afirmar que la adición de ceniza activada alcalinamente incrementa el valor CBR de suelos arcillosos en comparación a solamente la adición de Cenizas.

b) En lo que corresponde al Índice de Plasticidad:

De acuerdo a los resultados obtenidos de Índice de Plasticidad (IP) que son 11.82% de la muestra de la calicata C-2, según va aumentando el porcentaje de Ceniza presenta un decrecimiento con respecto a la muestra sin ninguna adición de los cuales se obtuvieron 10.80%, 9.70% y 8.70% respectivamente.

Para los resultados obtenidos con adiciones de C-2 + 5% de Ceniza + NaOH, C-2 + 10% de Ceniza + NaOH y C-2 + 15% de Ceniza + NaOH. El IP también se observó que disminuye con respecto a la muestra sin adición y a las muestras con adición de solamente Ceniza donde logró alcanzar 10.20%, 9.35% y 8.55%

Según Espinoza y Velásquez (2018) en su tesis, se adicionó 10%, 20% y 30% de ceniza obteniendo un IP de 11.59%, 9.73% y 12.11% respectivamente, el cual se observa que adicionando ceniza el IP disminuye y que al adicionar un 30% de ceniza el IP tiende a subir.

De acuerdo con Araújo (2015) en su investigación titulada "Mejoramiento de un Suelo Arenoso por Activación Alcalina" se adicionó un 10% y 20% de ceniza a un suelo arenoso donde los IP son muy bajos o inexistentes y al adicionar ceniza activada alcalinamente el IP aumenta disminuyendo la probabilidad de licuefacción.

En caso de suelos arcillosos como se mencionó anteriormente el IP tiene valores altos por lo que al agregar cenizas activadas alcalinamente el IP disminuye,

el cual ese factor es muy favorable para mejorar las propiedades físico-mecánicas de este tipo de suelos.

c) En lo que corresponde a Expansión

De acuerdo a los resultados obtenidos sobre el porcentaje de expansión, se toma en consideración las muestras de 56 golpes al cuarto día de saturación del Ensayo CBR, en estas se observa la reducción gradual de la expansión obteniéndose 3.45%, 1.76% y 1.09% para las muestras de C-2 + 5% de Ceniza, C-2 + 10% de Ceniza y C-2 + 15% de Ceniza respectivamente a comparación de la muestra sin adición que obtuvo un 3.44%.

De acuerdo a los resultados obtenidos sobre el porcentaje de expansión, se toma en consideración las muestras de 56 golpes al cuarto día de saturación del Ensayo CBR, en estas se observa la reducción gradual de la expansión obteniéndose 1.55%, 0.87% y 0.74% para las muestras de C-2 + 5% de Ceniza + NaOH, C-2 + 10% de Ceniza + NaOH y C-2 + 15% de Ceniza + NaOH respectivamente a comparación de la muestra sin adición que obtuvo un 3.44%.

Al comparar los resultados obtenidos entre las muestras de C-2 + % de Ceniza y C-2 + % de Ceniza + NaOH, se puede observar que el activador alcalino actúa favorablemente para reducir el porcentaje de expansión, por consiguiente, mejora las propiedades del suelo para ser utilizado con material de subrasante.

De acuerdo a Espinoza y Velásquez (2018) en su investigación, se visualiza que con adiciones de 10%, 20% y 30% de Ceniza de Caña de Azúcar el porcentaje de expansión obtuvo 0.54%, 0.24% y 0.60% con respecto a la expansión del suelo sin adición que obtuvo 1.47%.

Según Corrêa (2016), en su tesis de investigación denominada “Mejoramiento de un suelo arcilloso con recurso la activación de residuos alcalinos para la aplicación en infraestructura de transporte” la expansión con 20% de ceniza es mayor a la muestra que se adicionó 10% cemento y menor a 10% de cal.

d) En lo que corresponde a Densidad Seca

Según los resultados que arrojaron los ensayos de Proctor Modificado la Muestra C-2 (sin adición) obtuvo una Densidad seca de  $1.821 \text{ gr/cm}^3$ , y la densidad conforme se adicionaba más cantidad de Ceniza de *saccharum officinarum* fue disminuyendo ligeramente a proporción de  $0.02 \text{ gr/cm}^3$ , al finalizar la última adición de C-2 + 15% de Ceniza se obtuvo  $1.744 \text{ gr/cm}^3$  teniendo una Variación final de  $0.077 \text{ gr/cm}^3$ .

En el caso de las adiciones de C-2 + 5% de Ceniza + NaOH, C-2 + 10% de Ceniza + NaOH y C-2 + 15% de Ceniza + NaOH. Se obtuvo  $1.792 \text{ gr/cm}^3$ ,  $1.780 \text{ gr/cm}^3$  y  $1.768 \text{ gr/cm}^3$  respectivamente, lo cual hace inferir que la adición de activador Alcalino (NaOH) reduce el decrecimiento de la densidad máxima del suelo.

De acuerdo a Ojeda-Farias et al. (2018) en su investigación, al sustituir parcialmente al cemento para mejorar la capacidad de soporte de un suelo granular se concluyó que se puede sustituir un 25 % de cemento por Ceniza de *Saccharum Officinarum* logrando una densidad máxima seca de  $2.919 \text{ gr/cm}^3$ , que a comparación de utilizar solamente Cemento donde se logró una densidad de  $3.085 \text{ gr/cm}^3$ , estos dos resultados no tienen una gran variación comparándolo respecto a los costos.

Cubas y Falen (2016) en su investigación adicionaron 7%, 14% y 21% de ceniza activada alcalinamente el cual se obtuvieron resultados de 2.114 gr/cm<sup>3</sup>, 1.709 gr/cm<sup>3</sup> y 1.698 gr/cm<sup>3</sup> respectivamente reduciéndose la densidad seca según aumenta el porcentaje de ceniza en suelos arcillosos.

#### 4.3. Prueba de Hipótesis

##### 4.3.1. Hipótesis Especifica 1

###### 1.1.1.1. Adición con Ceniza de *Saccharum Officinarum*

- **Planteamiento de la hipótesis.**

$H_0: [\mu_x = \mu_y]$  La adición de Ceniza de Bagazo de *saccharum officinarum*, no influye en la Densidad Seca a nivel de subrasante en suelos arcillosos en la trocha carrozable Sahuanay – Umaccata Tamburco – Abancay.

$H_a: [\mu_x \neq \mu_y]$  La adición de Ceniza de Bagazo de *Saccharum Officinarum*, influye en la Densidad Seca a nivel de subrasante en suelos arcillosos en la trocha carrozable Sahuanay – Umaccata Tamburco – Abancay.

- **Nivel de Significación.**

Se asumió  $\alpha=0.05$

- **Estadístico.**

Para el estadístico o “ $t_c$ ” se calculó para cada una de las adiciones de Ceniza de Bagazo de *Saccharum Officinarum*, se empezó para el primer caso por los datos obtenidos en la adición de C-2 + 5% de Ceniza, C-2 + 10% de Ceniza y C-2 + 15%, para lo cual se utilizó la siguiente fórmula:

$$t_c = \frac{\bar{x} - \bar{y}}{\sqrt{\frac{s^2}{n_1} + \frac{s^2}{n_2}}}$$

$$s^2 = \frac{\sum(x_i - \bar{x})^2 + \sum(y_i - \bar{y})^2}{n_1 + n_2 - 2}$$

Donde:

$t = t_c$  ("t" calculado).

$\bar{x}$ : Media del especimen con adición de Ceniza

$\bar{y}$ : Media del especimen sin adición

$n_1$ : Muestra con adición de Ceniza

$n_2$ : Muestra sin adición de Ceniza

$s^2$ : Desviación estándar

En las siguientes tablas e imágenes se detalla la prueba de hipótesis realizada, correspondiente a la hipótesis general, para las adiciones de Ceniza al material extraído de la Calicata C-2.

**Tabla 20**

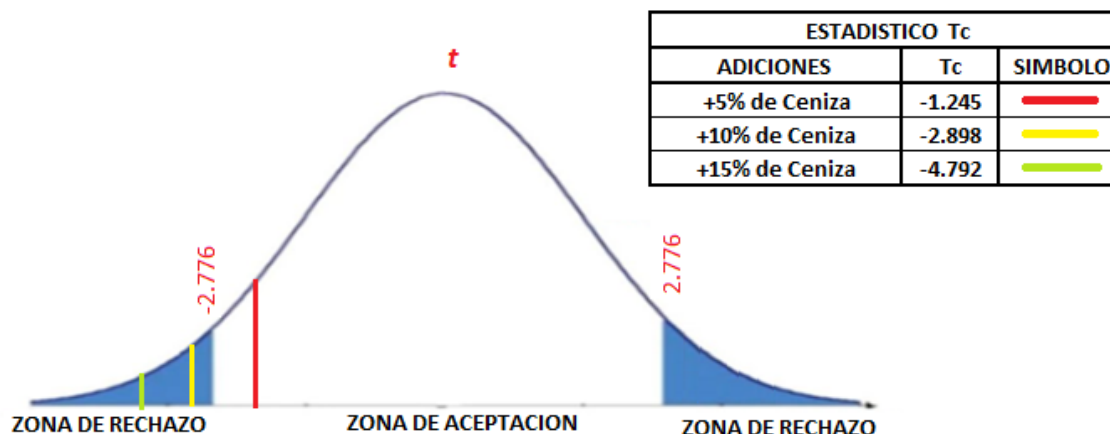
*Resultado de Hipótesis General con adición de Ceniza – Densidad Seca*

Descripción	Adiciones: C-2 + Ceniza de Saccharum Officinarum		
	5 % de Ceniza	10 % de Ceniza	15 % de Ceniza
Planteamiento de hipótesis	$H_0: [\mu_x = \mu_y]$ = Hipótesis Nula		
	$H_a: [\mu_x \neq \mu_y]$ = Hipótesis Alterna		
Nivel de significancia	0.025		
"t" tabulado	2.776		
Región crítica	$<-\infty; -2.776]$ y $[2.776; +\infty>$		
"t" calculado	-1.245	-2.898	-4.792
Condición	Si $t_c \in R.A.$ $\Rightarrow$ Se acepta $H_0$ Si $t_c \in R.C.$ $\Rightarrow$ Se rechaza $H_0$		
Decisión	Como la adición 5% de ceniza, $t_c \in R.A.$ $\Rightarrow$ Se acepta $H_0$ = La adición de 5% Ceniza de Bagazo de Saccharum Officinarum, no influye en la Densidad Seca de suelos arcillosos Como la adición 10% y 15% $t_c \in R.C.$ $\Rightarrow$ Se rechaza $H_0$ y se acepta $H_a$ = La adición de Ceniza de Bagazo de Saccharum Officinarum, influye en la Densidad Seca de suelos arcillosos		

*Nota.* Resumen de resultados obtenidos por el método T - Student

**Figura 38**

Diagrama de los estadísticos de la muestra con adición de Ceniza – Densidad Seca



Nota Campana de Gauss valores  $t_c$ , diferentes adiciones de Ceniza

Fuente: Elaboración propia.

Finalmente se concluye que, la adición de Ceniza de 5% Bagazo de Saccharum Officinarum no influye en la Densidad Seca, por el contrario, las adiciones de 10% y 15% influyen en la Densidad Seca, según el proceso estadístico, de forma negativa el cual esta variación negativa de la Densidad con Diferentes adiciones se debe a que la densidad de la Ceniza es menor a la del suelo, por lo tanto mientras más adición de Ceniza se agregue la Densidad Seca Continuará bajando.

### 1.1.1.2. Adición con Ceniza de Saccharum Officinarum + NaOH

- **Planteamiento de la hipótesis.**

$H_0: [\mu_x = \mu_y]$  La adición de Ceniza de Bagazo de saccharum officinarum y Activador Alcalino, no influye en la Densidad Seca a nivel de subrasante en suelos arcillosos en la trocha carrozable Sahuanay – Umaccata Tamburco – Abancay.

$H_a: [\mu_x \neq \mu_y]$  La adición de Ceniza de Bagazo de Saccharum Officinarum y Activador Alcalino, influye en la Densidad Seca a nivel de subrasante en

suelos arcillosos en la trocha carrozable Sahuanay – Umaccata Tamburco – Abancay.

- **Nivel de Significación.**

Se definió  $\alpha=0.05$

- **Estadístico.**

Para el estadístico o “ $t_c$ ” se calculó para cada una de las adiciones de Ceniza de Bagazo de *Saccharum Officinarum*, se empezó para el primer caso por los datos obtenidos en la adición de C-2 + 5% de Ceniza + NaOH, C-2 + 10% de Ceniza + NaOH y C-2 + 15%+ NaOH, para lo cual se utilizó la siguiente fórmula:

$$t_c = \frac{\bar{x} - \bar{y}}{\sqrt{\frac{s^2}{n_1} + \frac{s^2}{n_2}}}$$

$$s^2 = \frac{\sum(x_i - \bar{x})^2 + \sum(y_i - \bar{y})^2}{n_1 + n_2 - 2}$$

Donde:

$t = t_c$  (“t” calculado).

$\bar{x}$ : Media del especimen con adición de Ceniza + NaOH

$\bar{y}$ : Media del especimen sin adición

$n_1$ : Muestra con adición de Ceniza + NaOH

$n_2$ : Muestra sin adición de Ceniza

$s^2$ : Desviación estándar

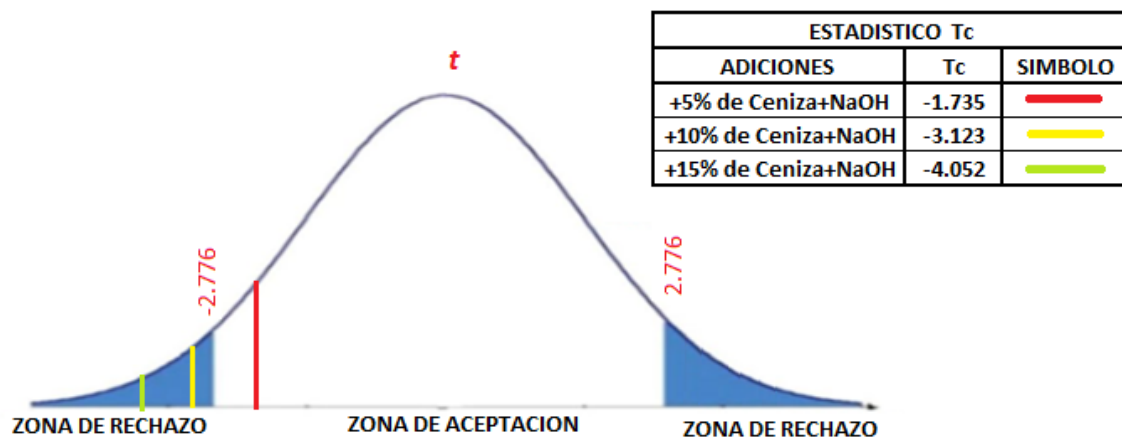
En las siguientes tablas e imágenes se detalla la prueba de hipótesis realizada, correspondiente a la hipótesis general, para las adiciones de Ceniza + NaOH al material extraído de la Calicata C-2.

**Tabla 21***Resultado de Hipótesis General con adición de Ceniza+NaOH – Densidad Seca*

Descripción	Adiciones: C-2 + Ceniza de Saccharum Officinarum + NaOH		
	5% de Ceniza+NaOH	10% de Ceniza+NaOH	15% de Ceniza+NaOH
Planteamiento de hipótesis	$H_0: [\mu_x = \mu_y]$ = Hipótesis Nula		
	$H_a: [\mu_x \neq \mu_y]$ = Hipótesis Alterna		
Nivel de significación o significancia	0.025		
"t" tabulado	2.776		
Región crítica	$<-\infty; -2.776]$ y $[2.776; +\infty>$		
"t" calculado	-1.735	-3.123	-4.052
Condición	Si $t_c \in$ R.A. $\Rightarrow$ Se acepta $H_0$ Si $t_c \in$ R.C. $\Rightarrow$ Se rechaza $H_0$		
Decisión	Como la adición 5% de ceniza + NaOH, $t_c \in$ R.A. $\Rightarrow$ Se acepta $H_0$ = La adición de 5% Ceniza de Bagazo de Saccharum Officinarum, no influye en la Densidad Seca de suelos arcillosos		
	Como la adición 10% y 15% + NaOH $t_c \in$ R.C. $\Rightarrow$ Se rechaza $H_0$ y se acepta $H_a$ = La adición de Ceniza de Bagazo de Saccharum Officinarum, influye en la Densidad Seca de suelos arcillosos		

Nota. Resumen de resultados obtenidos por el método T - Student

Fuente: Elaboración propia.

**Figura 39***Diagrama de los estadísticos de la muestra con adición de Ceniza+NaOH – Densidad Seca*

Nota Campana de Gauss, valores  $t_c$ , diferentes adiciones de Ceniza + Activador Alcalino

Fuente: Elaboración propia.

Finalmente se concluye que, la adición de Ceniza de 5% Ceniza + NaOH no influye en la Densidad Seca, de acuerdo al procesamiento estadístico. Por el contrario, las adiciones de 10% y 15% si influyen en pequeñas proporciones en la Densidad Seca.

Al comparar los dos resultados se concluye que al adicionar Ceniza activada Alcalinamente logra disminuir el decrecimiento de la Densidad Seca del suelo arcilloso que cuando solamente se adiciona Ceniza, esto ocurre por el proceso químico que realiza el Hidróxido de Sodio que al mezclarse con la Ceniza de Saccharum Officinarum forma un compuesto cementante.

#### **4.3.2. Hipótesis Específica 2**

##### **1.1.2.1. Adición con Ceniza de Saccharum Officinarum**

- **Planteamiento de la hipótesis.**

$H_0: [\mu_x = \mu_y]$  La adición de Ceniza de Bagazo de saccharum officinarum, no influye en la expansión a nivel de subrasante en suelos arcillosos en la trocha carrozable Sahuanay – Umaccata Tamburco – Abancay.

$H_a: [\mu_x \neq \mu_y]$  La adición de Ceniza de Bagazo de Saccharum Officinarum, influye en la expansión a nivel de subrasante en suelos arcillosos en la trocha carrozable Sahuanay – Umaccata Tamburco – Abancay.

- **Nivel de Significación.**

Se estimó  $\alpha=0.05$ .

- **Estadístico.**

Para el estadístico o “ $t_c$ ” se calculó para cada una de las adiciones de Ceniza de Bagazo de Saccharum Officinarum, se empezó para el primer caso por

los datos obtenidos en la adición de C-2 + 5% de Ceniza, C-2 + 10% de Ceniza y C-2 + 15%, para lo cual se utilizó la siguiente fórmula:

$$t_c = \frac{\bar{x} - \bar{y}}{\sqrt{\frac{s^2}{n_1} + \frac{s^2}{n_2}}}$$

$$s^2 = \frac{\sum(x_i - \bar{x})^2 + \sum(y_i - \bar{y})^2}{n_1 + n_2 - 2}$$

Donde:

$t = t_c$  ("t" calculado).

$\bar{x}$ : Media del espécimen con adición de Ceniza

$\bar{y}$ : Media del espécimen sin adición

$n_1$ : Muestra con adición de Ceniza

$n_2$ : Muestra sin adición de Ceniza

$s^2$ : Desviación estándar

En las siguientes tablas e imágenes se detalla la prueba de hipótesis realizada, correspondiente a la hipótesis general, para las adiciones de Ceniza al material extraído de la Calicata C-2.

Tabla 22

Resultado de Hipótesis General con adición de Ceniza - Expansión

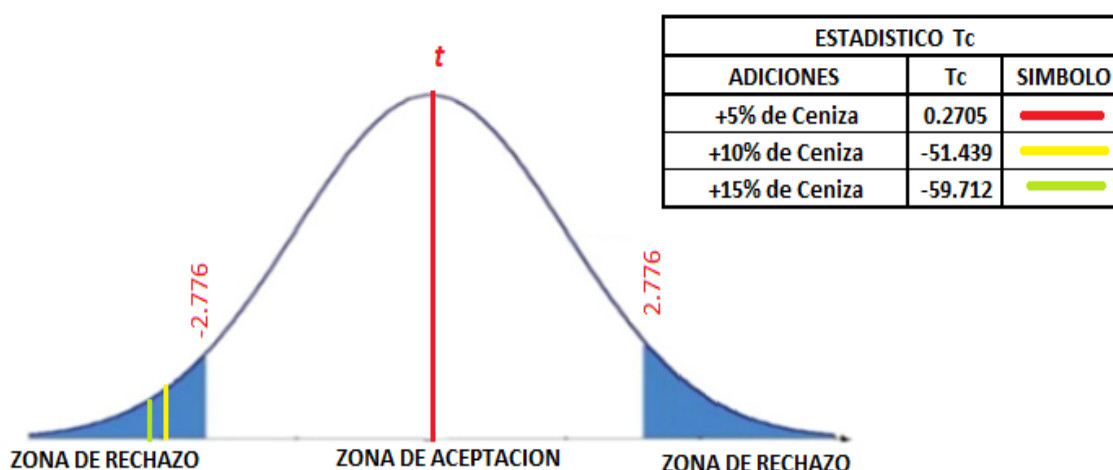
Descripción	Adiciones: C-2 + Ceniza de Saccharum Officinarum		
	5 % de Ceniza	10 % de Ceniza	15 % de Ceniza
Planteamiento de hipótesis	$H_0: [\mu_x = \mu_y]$ = Hipótesis Nula		
	$H_a: [\mu_x \neq \mu_y]$ = Hipótesis Alterna		
Nivel de significancia	0.025		
"t" tabulado	2.776		
Región crítica	$<-\infty; -2.776]$ y $[2.776; +\infty >$		
"t" calculado	0.2705	-51.439	-59.712
Condición	Si $t_c \in R.A. \Rightarrow$ Se acepta $H_0$ Si $t_c \in R.C. \Rightarrow$ Se rechaza $H_0$		
Decisión	Como la adición 5% de ceniza, $t_c \in R.A. \Rightarrow$ Se acepta $H_0$ = La adición de 5% Ceniza de Bagazo de Saccharum Officinarum, no influye en la expansión de suelos arcillosos Como la adición 10% y 15% $t_c \in R.C. \Rightarrow$ Se rechaza $H_0$ y se acepta $H_a$ = La adición de Ceniza de Bagazo de Saccharum Officinarum, influye en la expansión de suelos arcillosos		

Nota. Resumen de resultados obtenidos por el método T - Student

Fuente: Elaboración propia.

Figura 40

Diagrama de los estadísticos de la muestra con adición de Ceniza – Expansión



Nota Campana de Gauss valores  $t_c$ , adiciones de Ceniza

Fuente: Elaboración propia.

Finalmente se concluye que, la adición de Ceniza de 5% Bagazo de Saccharum Officinarum no influye en la Expansión de acuerdo al procesamiento estadístico. Por el contrario, las adiciones de 10% y 15% disminuye el porcentaje de Expansión el cual favorece al mejoramiento del suelo para ser utilizado como material de Subrasante.

#### **1.1.2.2. Adición con Ceniza de Saccharum Officinarum + NaOH**

- **Planteamiento de la hipótesis.**

$H_0: [\mu_x = \mu_y]$  La adición de Ceniza de Bagazo de saccharum officinarum y Activador Alcalino, no influye en la expansión a nivel de subrasante en suelos arcillosos en la trocha carrozable Sahuanay – Umaccata Tamburco – Abancay.

$H_a: [\mu_x \neq \mu_y]$  La adición de Ceniza de Bagazo de Saccharum Officinarum y Activador Alcalino, influye en la expansión a nivel de subrasante en suelos arcillosos en la trocha carrozable Sahuanay – Umaccata Tamburco – Abancay.

- **Nivel de Significación.**

Se estimó  $\alpha=0.05$

- **Estadístico.**

Para el estadístico o “ $t_c$ ” se calculó para cada una de las adiciones de Ceniza de Bagazo de Saccharum Officinarum, se empezó para el primer caso por los datos obtenidos en la adición de C-2 + 5% de Ceniza + NaOH, C-2 + 10% de Ceniza + NaOH y C-2 + 15%+ NaOH, para lo cual se utilizó la siguiente fórmula:

$$t_c = \frac{\bar{x} - \bar{y}}{\sqrt{\frac{s^2}{n_1} + \frac{s^2}{n_2}}}$$

$$s^2 = \frac{\sum(x_i - \bar{x})^2 + \sum(y_i - \bar{y})^2}{n_1 + n_2 - 2}$$

Donde:

$t = t_c$  ("t" calculado).

$\bar{x}$ : Media del especimen con adición de Ceniza + NaOH

$\bar{y}$ : Media del especimen sin adición

$n_1$ : Muestra con adición de Ceniza + NaOH

$n_2$ : Muestra sin adición de Ceniza

$s^2$ : Desviación estándar

En las siguientes tablas e imágenes se obser la prueba de hipótesis correspondiente a la hipótesis general, para las adiciones de Ceniza + NaOH al material extraído de la Calicata C-2.

**Tabla 23**

*Resultado de Hipótesis General con adición de Ceniza+NaOH – Expansión*

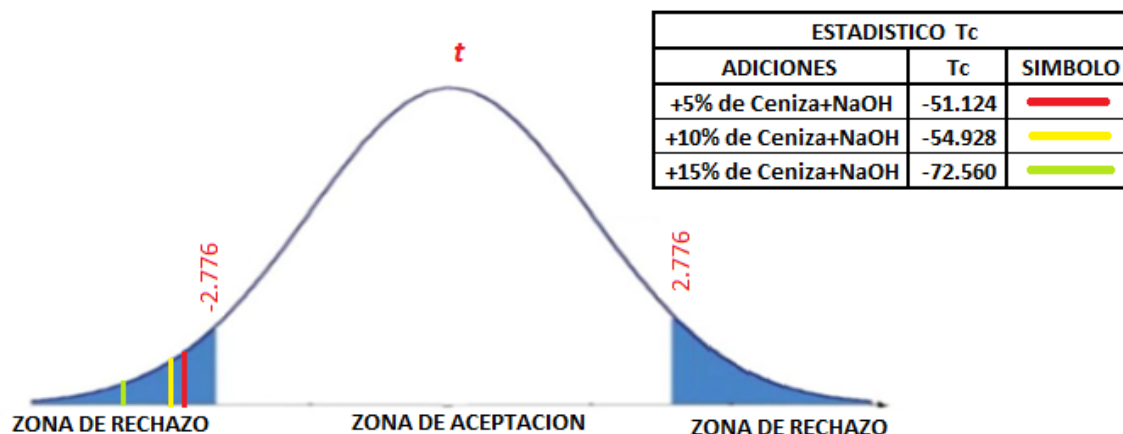
Descripción	Adiciones: C-2 + Ceniza de Saccharum Officinarum + NaOH		
	5 % de Ceniza+NaOH	10 % de Ceniza+NaOH	15 % de Ceniza+NaOH
Planteamiento de hipótesis	$H_0: [\mu_x = \mu_y]$ = Hipótesis Nula		
	$H_a: [\mu_x \neq \mu_y]$ = Hipótesis Alterna		
Nivel de significancia	0.025		
"t" tabulado	2.776		
Región crítica	$<-\infty; -2.776]$ y $[2.776; +\infty>$		
"t" calculado	-51.124	-54.928	-72.560
Condición	Si $t_c \in R.C. \Rightarrow$ Se rechaza $H_0$		
Decisión	Como $t_c \in R.C. \Rightarrow$ Se rechaza $H_0$ y se acepta $H_a$ = La adición de Ceniza de Bagazo de Saccharum Officinarum y Activador Alcalino, influye en la Expansión de suelos arcillosos		

*Nota.* Resumen de resultados obtenidos por el método T - Student

*Fuente:* Elaboración propia.

**Figura 41**

Diagrama de los estadísticos de la muestra con adición de Ceniza+NaOH - Expansión



Nota Campana de Gauss, valores  $t_c$ , diferentes adiciones de Ceniza + Activador Alcalino  
Fuente: Elaboración propia.

Asimismo, también se puede afirmar que la adición de Ceniza de Bagazo de Saccharum Officinarum más Activador Alcalino influye de manera positiva disminuyendo el Porcentaje de Expansión como se demuestra estadísticamente. Al comparar los dos resultados se concluye que al adicionar Ceniza activada Alcalinamente alcanza una mayor disminución de la Expansión del suelo arcilloso que cuando solamente se adiciona Ceniza.

### 4.3.3. Hipótesis Específica 3

#### 5.3.1.1. Adición con Ceniza de Saccharum Officinarum

- **Planteamiento de la hipótesis.**

$H_0: [\mu_x = \mu_y]$  La adición de Ceniza de Bagazo de saccharum officinarum, no influye en la plasticidad a nivel de subrasante en suelos arcillosos en la trocha carrozable Sahuanay – Umaccata Tamburco – Abancay.

$H_a: [\mu_x \neq \mu_y]$  La adición de Ceniza de Bagazo de Saccharum Officinarum, influye en la plasticidad a nivel de subrasante en suelos arcillosos en la trocha carrozable Sahuanay – Umaccata Tamburco – Abancay.

- **Nivel de Significación.**

Se estimó  $\alpha=0.05$

- **Estadístico.**

Para el estadístico o “ $t_c$ ” se calculó para cada una de las adiciones de Ceniza de Bagazo de *Saccharum Officinarum*, se empezó para el primer caso por los datos obtenidos en la adición de C-2 + 5% de Ceniza, C-2 + 10% de Ceniza y C-2 + 15%, para lo cual se utilizó la siguiente fórmula:

$$t_c = \frac{\bar{x} - \bar{y}}{\sqrt{\frac{s^2}{n_1} + \frac{s^2}{n_2}}}$$

$$s^2 = \frac{\sum(x_i - \bar{x})^2 + \sum(y_i - \bar{y})^2}{n_1 + n_2 - 2}$$

Donde:

$t = t_c$  (“t” calculado).

$\bar{x}$ : Media del especimen con adición de Ceniza

$\bar{y}$ : Media del especimen sin adición

$n_1$ : Muestra con adición de Ceniza

$n_2$ : Muestra sin adición de Ceniza

$s^2$ : Desviación estándar

En las siguientes tablas e imágenes se detalla la prueba de hipótesis realizada, correspondiente a la hipótesis general, para las adiciones de Ceniza al material extraído de la Calicata C-2.

Tabla 24

Resultado de Hipótesis General con adición de Ceniza - IP

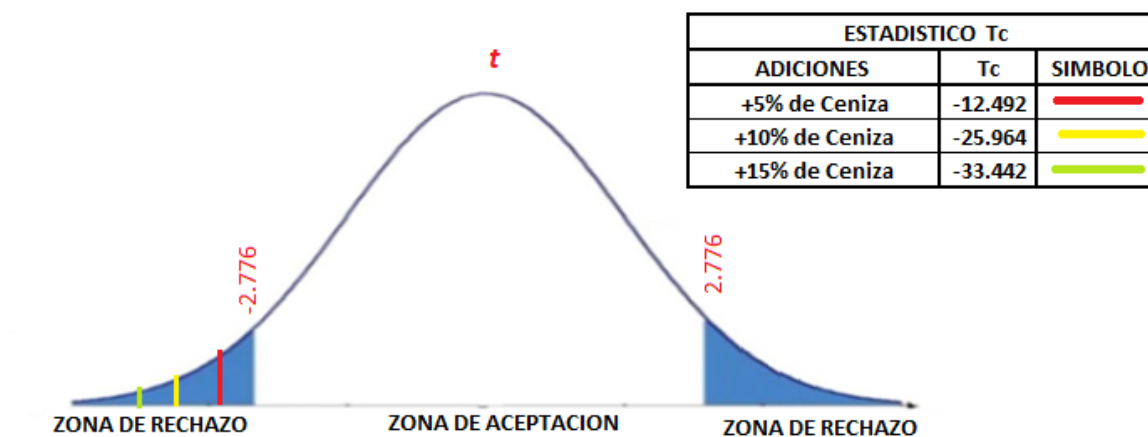
Descripción	Adiciones: C-2 + Ceniza de Saccharum Officinarum		
	5 % de Ceniza	10 % de Ceniza	15 % de Ceniza
Planteamiento de hipótesis	$H_0: [\mu_x = \mu_y]$ = Hipótesis Nula		
	$H_a: [\mu_x \neq \mu_y]$ = Hipótesis Alterna		
Nivel de significancia	0.025		
"t" tabulado	2.776		
Región crítica	$<-\infty; -2.776]$ y $[2.776; +\infty>$		
"t" calculado	-12.492	-25.964	-33.442
Condición	Si $t_c \in \text{R.C.} \Rightarrow$ Se rechaza $H_0$		
Decisión	Como $t_c \in \text{R.C.} \Rightarrow$ Se rechaza $H_0$ y se acepta $H_a$ = La adición de Ceniza de Bagazo de Saccharum Officinarum, influye en la plasticidad de suelos arcillosos		

Nota. Resumen de resultados obtenidos por el método T - Student

Fuente: Elaboración propia.

Figura 42

Diagrama de los estadísticos de la muestra con adición de Ceniza - IP



Nota Campana de Gauss valores  $t_c$  adición de Ceniza

Fuente: Elaboración propia.

Finalmente se concluye que, la adición de Ceniza de Bagazo de Saccharum Officinarum influye de manera de tal manera que disminuye el porcentaje de Índice de Plasticidad el cual favorece al mejoramiento del suelo para ser utilizado como material de Subrasante.

### 5.3.1.2. Adición con Ceniza de *Saccharum Officinarum* + NaOH

- **Planteamiento de la hipótesis.**

$H_0: [\mu_x = \mu_y]$  La adición de Ceniza de Bagazo de *saccharum officinarum* y Activador Alcalino, no influye en la Plasticidad a nivel de subrasante en suelos arcillosos en la trocha carrozable Sahuanay – Umaccata Tamburco – Abancay.

$H_a: [\mu_x \neq \mu_y]$  La adición de Ceniza de Bagazo de *Saccharum Officinarum* y Activador Alcalino, influye en la Plasticidad a nivel de subrasante en suelos arcillosos en la trocha carrozable Sahuanay – Umaccata Tamburco – Abancay.

- **Nivel de Significación.**

Se estimó  $\alpha=0.05$

- **Estadístico.**

Para el estadístico o “ $t_c$ ” se calculó para cada una de las adiciones de Ceniza de Bagazo de *Saccharum Officinarum*, se empezó para el primer caso por los datos obtenidos en la adición de C-2 + 5% de Ceniza + NaOH, C-2 + 10% de Ceniza + NaOH y C-2 + 15%+ NaOH, para lo cual se utilizó la siguiente fórmula:

$$t_c = \frac{\bar{x} - \bar{y}}{\sqrt{\frac{s^2}{n_1} + \frac{s^2}{n_2}}}$$

$$s^2 = \frac{\sum(x_i - \bar{x})^2 + \sum(y_i - \bar{y})^2}{n_1 + n_2 - 2}$$

Donde:

$t = t_c$  ("t" calculado).

$\bar{x}$ : Media del especimen con adición de Ceniza + NaOH

$\bar{y}$ : Media del especimen sin adición

$n_1$ : Muestra con adición de Ceniza + NaOH

$n_2$ : Muestra sin adición de Ceniza

$s^2$ : Desviación estándar

En las siguientes tablas e imágenes se detalla la prueba de hipótesis realizada, correspondiente a la hipótesis general, para las adiciones de Ceniza + NaOH al material extraído de la Calicata C-2.

**Tabla 25**

*Resultado de Hipótesis General con adición de Ceniza+NaOH - IP*

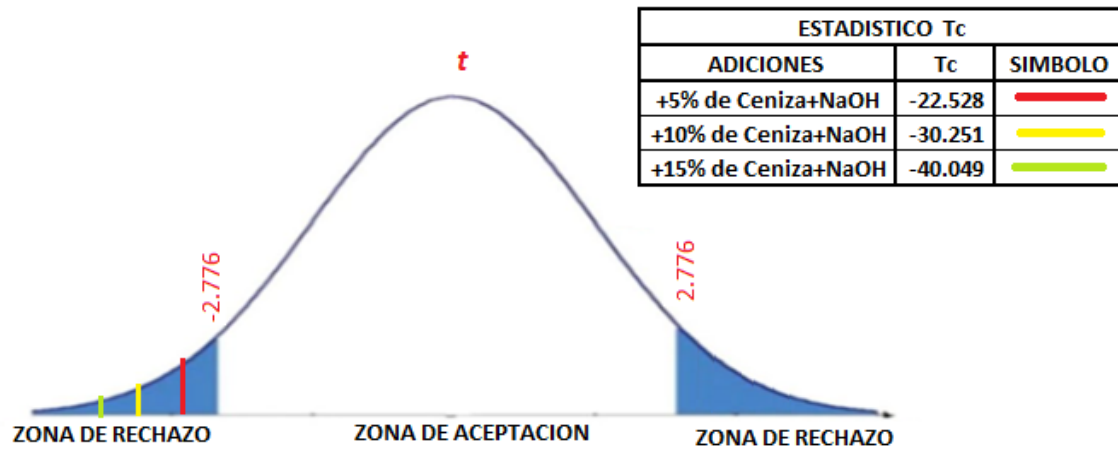
Descripción	Adiciones: C-2 + Ceniza de Saccharum Officinarum + NaOH		
	5 % de Ceniza+NaOH	10 % de Ceniza+NaOH	15 % de Ceniza+NaOH
Planteamiento de hipótesis	$H_0: [\mu_x = \mu_y]$ = Hipótesis Nula		
	$H_a: [\mu_x \neq \mu_y]$ = Hipótesis Alterna		
Nivel de significancia	0.025		
"t" tabulado	2.776		
Región crítica	$<-\infty; -2.776]$ y $[2.776; +\infty>$		
"t" calculado	-22.528	-30.251	-40.049
Condición	Si $t_c \in R.C. \Rightarrow$ Se rechaza $H_0$		
Decisión	Como $t_c \in R.C. \Rightarrow$ Se rechaza $H_0$ y se acepta $H_a$ = La adición de Ceniza de Bagazo de Saccharum Officinarum y Activador Alcalino, influye en la Plasticidad de suelos arcillosos		

*Nota.* Resumen de resultados obtenidos por el método T - Student

*Fuente:* Elaboración propia.

**Figura 43**

Diagrama de los estadísticos de la muestra con adición de Ceniza+NaOH - IP



Nota Campana de Gauss, valores  $t_c$ , diferentes adiciones de Ceniza + Activador Alcalino  
Fuente: Elaboración propia.

Asimismo, también se puede afirmar que la adición de Ceniza de Bagazo de Saccharum Officinarum más Activador Alcalino influye de manera positiva disminuyendo el Índice de Plasticidad como se demuestra estadísticamente. Al comparar los dos resultados se concluye que al adicionar Ceniza activada Alcalinamente alcanza una mayor disminución del IP que cuando solamente se adiciona Ceniza.

## Conclusiones

De acuerdo a los diversos ensayos ejecutados y tras realizar el análisis comparativo sobre la influencia de la adición de Ceniza de Bagazo de Saccharum Officinarum y activador alcalino en suelos arcillosos en la trocha carrozable Sahuanay – Umaccata Tamburco – Abancay, se concluye lo siguiente:

1. La influencia de la adición de Ceniza de Bagazo de Saccharum Officinarum en suelos arcillosos obtenidos en la progresiva Km. 1+740 en el valor de CBR se demostró que influye de manera positiva en todos los porcentajes de adición que se estimó, las cuales fueron: C-2 + 5% de Ceniza, C-2 + 10% de Ceniza y C-2 + 15% de Ceniza. Los valores de CBR al 95% de su densidad máxima seca obtuvo 3.50%, 10.37% y 19.30% respectivamente como se observa en la figura 36 teniendo un incremento favorable a comparación de la muestra sin adición donde el valor CBR fue de 1.33%, considerada muy pobre según el MTC.

Por otro lado, la adición de Ceniza más activador alcalino, donde se tomó los mismos porcentajes de adición incluyendo Hidróxido de Sodio, como se muestra a continuación: C-2 + 5% de Ceniza + NaOH, C-2 + 10% de Ceniza + NaOH y C-2 + 15%+ NaOH donde se observó una mejora considerable en cuanto al valor CBR los cuales fueron, 15.50%, 26.90% y 38.50% también mencionadas en la figura 36. Para esta investigación se concluye que el activador alcalino resulta más eficaz para mejora el valor CBR para mejorar suelos a nivel de subrasante, donde la adición de C-2 + 5% de Ceniza + NaOH logra una categoría de Subrasante Buena lo cual logra superar el estándar mínimo para su utilización. En el caso de las adiciones de C-2 + 10% de Ceniza + NaOH al aplicar un esfuerzo de 839 lb/pulg<sup>2</sup> llega al máximo esfuerzo y luego presenta un comportamiento plástico disminuyendo el esfuerzo, en la adición

de C-2 + 15%+ NaOH se presenta un caso similar al llegar a un esfuerzo de 1098 lb/pulg<sup>2</sup>, como se pueden observar en las páginas 156 y 158 respectivamente (ANEXO 3).

2. La influencia de la adición de Ceniza de Bagazo de *Saccharum Officinarum* en suelos arcillosos obtenidos en la progresiva Km. 1+740 se demostró que influye negativamente en la Plasticidad, lo cual significa una disminución del Índice de Plasticidad y por ende mejora las propiedades físicas y mecánicas del suelo, las adiciones consideradas C-2 + 5% de Ceniza, C-2 + 10% de Ceniza y C-2 + 15% de Ceniza obtuvieron resultados de 10.80%, 9.70% y 8.70% respectivamente. Comparándolo con un valor de 11.82% de la Muestra sin adición como se observa en la **figura 24**.

De acuerdo a la adición de Ceniza más activador alcalino, donde se tomó los mismos porcentajes de aditamentos incluyendo Hidróxido de Sodio, como se muestra a continuación: C-2 + 5% de Ceniza + NaOH, C-2 + 10% de Ceniza + NaOH y C-2 + 15%+ NaOH se obtuvo valores de 10.20%, 9.35% y 8.55% como se observa en la **figura 25**, el cual al comprarlos con los valores de las adiciones de ceniza solamente, se concluye que el activador alcalino favorece en la disminución del Índice de Plasticidad, donde se reduce en promedio de 0.6%, 0.35%, 0.15% respectivamente

3. La influencia de la adición de Ceniza de Bagazo de *Saccharum Officinarum* en suelos arcillosos obtenidos en la progresiva Km. 1+740 se demostró que influye negativamente en la Expansión, lo cual significa una disminución del hinchamiento de suelos saturado, mejorando las propiedades físicas y mecánicas del suelo, las adiciones consideradas C-2 + 5% de Ceniza, C-2 + 10% de Ceniza y C-2 + 15% de Ceniza, obtuvieron resultados de 3.41%, 1.76%

y 1.09% para las muestras de 56 golpes el cual en comparación a porcentaje obtenido en la muestra C-2 donde se encontró 3.44% se redujo considerablemente observado en la **figura 29**.

Con respecto a la adición de Ceniza más activador alcalino, donde se tomó los mismos porcentajes de aditamentos incluyendo Hidróxido de Sodio, como se muestra a continuación: C-2 + 5% de Ceniza + NaOH, C-2 + 10% de Ceniza + NaOH y C-2 + 15%+ NaOH se obtuvo valores de 1.55%, 0.87% y 0.74% de porcentaje de Expansión para las muestras de 56 golpes de compactación observado en la **figura 30**, en este caso también se concluye que la adición de Activador Alcalino influye en la reducción del porcentaje de expansión, lográndolo con mayor eficacia que adicionando ceniza solamente a suelos arcillosos.

4. La influencia de la adición de Ceniza de Bagazo de *Saccharum Officinarum* en suelos arcillosos obtenidos en la progresiva Km. 1+740 se demostró que influye negativamente en la Densidad Máxima Seca, se consideró las adiciones de C-2 + 5% de Ceniza, C-2 + 10% de Ceniza y C-2 + 15% de Ceniza donde se obtuvo resultados de 1.800 gr/cm<sup>3</sup>, 1.773 gr/cm<sup>3</sup> y 1.744 gr/cm<sup>3</sup> respectivamente como se observa en la **Tabla 12**, de acuerdo a la muestra C-2 donde se encontró que su densidad es 1.821 gr/cm<sup>3</sup>, si bien la Densidad Seca Máxima disminuye la variación no es de consideración al encontrarse un rango de 0.02 gr/cm<sup>3</sup> en promedio.

Con respecto a la adición de Ceniza más activador alcalino, donde se tomó los mismos porcentajes de aditamentos incluyendo Hidróxido de Sodio, como se muestra a continuación: C-2 + 5% de Ceniza + NaOH, C-2 + 10% de Ceniza +

NaOH y C-2 + 15%+ NaOH se obtuvo valores de 1.792 gr/cm<sup>3</sup>, 1.780 gr/cm<sup>3</sup> y 1.768 gr/cm<sup>3</sup>, como se observa en la **Tabla 13**, el cual también presenta una disminución comparándola con la muestra C-2, en este caso el descenso de la Densidad va ser menor en el caso de la muestra C-2 + 15%+ NaOH y la muestra C-2 + 15% de Ceniza .

5. La adición de Ceniza de Bagazo de Saccharum Officinarum al suelo arcilloso ubicado en la progresiva Km. 1+740 influye de manera positiva, con respecto a el valor de CBR, Plasticidad, Expansión y de manera desfavorable a la Densidad Máxima Seca en comparación a la muestra de suelo encontrado en la trocha carrozable.

La adición de Ceniza de Bagazo de Saccharum Officinarum más Activador Alcalino al suelo arcilloso ubicado en la progresiva Km. 1+740 influye de manera positiva, con respecto a el valor de CBR, Plasticidad, Expansión y de manera desfavorable a la Densidad Máxima Seca en comparación a la muestra de suelo encontrado en la trocha carrozable.

Finalmente se concluye que al adicionar Cenizas de Bagazo de Saccharum Officinarum activadas alcalinamente mejora en mayor proporción las propiedades físicas y mecánicas de suelos arcillosos en comparación con la adición de Ceniza de Bagazo de Saccharum Officinarum.

### Recomendaciones

1. Se recomienda para investigaciones posteriores considerar mayor porcentaje de adiciones de Cenizas de Bagazo de Saccharum Officinarum, con el objetivo de ampliar los conocimientos sobre este material para no solamente el uso en subrasantes, además podría recomendarse el uso para bases y subbases de la estructura de las carreteras de nuestra región y del país al obtenerse 38.50% en el valor de CBR para la adición de C-2 + 15%+ NaOH.
2. Se recomienda tener una mayor precisión en la cuantificación de la producción del Bagazo de Saccharum Officinarum, por lo que para esta investigación se consideró producciones estimadas por dueños y productores del Valle de Pachachaca.
3. Estudiar diferentes tipos de Activadores Alcalinos para evaluar los efectos al adicionarlos al suelo en carreteras, para diferentes usos como base y subbase.
4. Analizar la adición de Cenizas activadas Alcalinamente en diferentes tipos de suelos como, suelos granulares, suelos arenosos y como afecta en el comportamiento físico mecánico.
5. Por ser un recurso calificado como residuo de un proceso productivo la obtención de ceniza es mucho más sencilla, por lo cual se recomendaría el uso de este material como contingencia en caso de no contar con materiales usuales para el mejoramiento de subrasante.

## Referencias

- Araújo Castro, J. F. (2015). *Mejoramiento de un Suelo Arenoso por Activación Alcalina*. Portugal: aFacultad de Ingenieria Universidad de Porto. Obtenido de <https://docplayer.com.br/73193106-Melhoramento-de-um-solo-arenoso-por-ativacao-alcalina.html>
- Beltran Martinez, R. (2009). *Diseño geotecnico y estructural de una cimentacion en arcilla expansiva*. México DF: Universidad Nacional Autonoma De México. Obtenido de <https://fdocuments.es/document/beltran-martinez.html?page=155>
- Bencardino, C. M. (2012). *Estadística y Muestreo*. Colombia: Ecoe Ediciones. Obtenido de [https://www.academia.edu/39626329/Estad%C3%ADstica\\_y\\_muestreo\\_Cir\\_o\\_Mart%C3%ADnez\\_Bencardino\\_13ED](https://www.academia.edu/39626329/Estad%C3%ADstica_y_muestreo_Cir_o_Mart%C3%ADnez_Bencardino_13ED)
- Bernal, C. (2016). *Metodología de la investigación*. Colombia: Pearson.
- Cardenaz Piucol, A., & Donoso Montero, A. (2008). *Proposición de una Metodología Particular para obtener la Capacidad de Soporte para Suelos Granulares sin Curva Proctor Definida*. Punta Arenas: Universidad de Magallanes. Obtenido de [http://www.umag.cl/biblioteca/tesis/cardenas\\_piucol\\_2008.pdf](http://www.umag.cl/biblioteca/tesis/cardenas_piucol_2008.pdf)
- Carrasco Mejía, D. A. (2017). *Estabilización de los Suelos Arcillosos Adicionando Cenizas de Caña de Azúcar en el Tramo de Moro a Virahuanca en el Distrito de Moro – Provincia del Santa - 2017*. Nuevo Chimbote: Universidad César Vallejo. Obtenido de <http://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/10223>
- Chávez Arbayza, D. M., & Odar Yabar, G. (2019). *Propuesta de estabilización con cal para subrasantes con presencia de suelos arcillosos en bofedales y su influencia en el pavimento rígido bajo la metodología de diseño AASHTO 93 aplicado al tramo 1 de la carretera Oyón-Ambo*. Lima: Universidad de Ciencias Aplicadas. Obtenido de [https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/625903/Ch%C3%A1vez\\_ad.pdf?sequence=3&isAllowed=y](https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/625903/Ch%C3%A1vez_ad.pdf?sequence=3&isAllowed=y)
- Chávez Bazán, C. H. (2017). *Empleo de la ceniza de bagazo de caña de azucar (CBCA) como sustituto porcentual del agregado fino en la elaboración del concreto Hidráulico*. Cajamarca: Universidad Nacional de Cajamarca. Obtenido de [http://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/UNC/1048/T016\\_44477012\\_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/UNC/1048/T016_44477012_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

- Corrêa Alves Da Silva, M. (2016). *Mejoramiento de un suelo arcilloso con recurso la activación de residuos alcalinos para la aplicación en infraestructura de transporte*. Braga: Universidad de Minho. Obtenido de <http://hdl.handle.net/1822/48362>
- Crespo Villalaz, C. (2004). *Mecánica de suelos y cimentaciones*. México: Limusa Noriega editores.
- Cubas Benavides, K., & Falen Chávez Arroyo, J. (2016). *Evaluación de las cenizas de Carbon para la estabilización de suelos mediante Activación Alcalina y Aplicación en carreteras no pavimentadas*. Lambayeque: Universida Señor de Sipan. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12802/3134>
- Das, B. M. (2013). *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica* (Cuarta ed.). Santa Fe, Mexico D.F: Cengage Learning Editores, S.A. Obtenido de <https://es.pdfdrive.com/fundamentos-de-ingenieria-geotecnica-e33997636.html>
- Espinoza Chuquino, A. E., & Velásquez Pérez, J. J. (2018). *Estabilización de Suelos Arcillosos Adicionando Ceniza de Caña de Azúcar en el Tramo de Pinar-Marian, Distrito de Independencia 2018*. Huaraz: Universidad César Vallejo. Obtenido de <http://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/26696>
- Fernandez, A., Palomo, A., & Criado, M. (2006). Activación Alcalina de Cenizas Volantes. Estudio comparativo entre Activadores Sódicos y Potásicos. *ResearchGate*, 1-16. doi:10.3989 / mc.2008.v58.i291.101
- Fernandez-Jimenez, A., Palomo, A., & Criado, M. (2008). Activación Alcalina de Cenizas Volantes. Estudio comparativo entre Activadores Sódicos y Potásicos. *ResearchGate*, 1-16. doi: 10.3989 / mc.2008.v58.i291.101
- García-Lodeiro Tristán, J., Cobelo Cristía, W., Quevedo Sotolongo, G., & Castro Martínez, L. Y. (2014). Capacidad de carga en suelos parcialmente saturados. *Convención Científica de ingeniería y arquitectura*, 1-12.
- Hernández Sampieri, R., & Mendoza Torres, C. P. (2018). *Metodología de investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. México: McGraw - Hill Interamericana Editores S.A.
- Hoyos Patiño, F. (2001). *Geotecnia Diccionario Básico*. Medellín: Universidad Nacional de Colombia. Obtenido de [https://www.academia.edu/1329261/GEOTECNIA\\_DICCIONARIO\\_B%C3%81SICO](https://www.academia.edu/1329261/GEOTECNIA_DICCIONARIO_B%C3%81SICO)

- Jara Rodríguez, R. A., & Palacios Ambrocio, R. D. (2015). *Utilización de la ceniza de bagazo de caña de azúcar (CBCA) como sustituto porcentual del cemento en la elaboración de ladrillos de concreto*. Nuevo Chimbote: Universidad Nacional de Santa. Obtenido de <http://repositorio.uns.edu.pe/bitstream/handle/UNS/2715/42983.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Juárez Badillo, E., & Rico Rdróquez, A. (2005). *Mecánica de suelos. fundamentos de la mecanica de los suelos*. México: Limusa Noriega editores.
- Landa Alarcon, J. Y., & Torres Montesinos, S. F. (2019). *Mejoramiento de suelos arcillosos en subrasante mediante el uso de cenizas volantes de bagazo de caña de azúcar y cal*. Lima: Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas. Obtenido de [https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/626177/Landa\\_A\\_J.pdf?sequence=6&isAllowed=y](https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/626177/Landa_A_J.pdf?sequence=6&isAllowed=y)
- Landa Sanchez, A., Gaona Tiburcio, C., Almeraya Calderón, F., Mendoza Rangel, J. M., Landa Gómez, A. E., Ramírez García, A. C., & Baltazar Zamora, M. A. (2019). Efecto de la adición de la ceniza de bagazo de caña de azúcar (cbca) en las propiedades geotécnicas de un material tipo base hidráulica para construcción de carreteras sustentables. *XV Congreso Latinoamericano de Patología de Construcción y XVII Congreso de Control de Calidad en la Construcción CONPAT 2019*, 1-9. Obtenido de <https://congresoconpat.org/index.php/congresosconpat/conpat2019/paper/viewFile/166/28>
- Lima, R. P. (2019). *Estabilização de Solo Laterítico Utilizando Resíduo de Cana de Açúcar (cinza)*. Campinas: Pontificia Universidad Católica de Campinas. Obtenido de <http://tede.bibliotecadigital.puc-campinas.edu.br:8080/jspui/bitstream/tede/1186/2/RICARDO%20PAGANELLI%20DE%20LIMA.pdf>
- López Lara, P. (2010). Polimeros para la estabilización volumetrica de arcillas expansiva. *Revista Iberoamericana*, 159-168.
- Ministerio de comunicaciones y transportes. (2008). *Manual para el diseño de carreteras no pavimentadas de bajo volumen de transito*. Lima: Ministerio de transportes y comunicaciones.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2013). *Manual de carreteras diseño geometrico DG- 2014*. Lima: Dirección generla de caminos y ferrocarriles.
- Ministerio de transportes y comunicaciones. (2014). *Manual de carreteras Suelos, geologia, geotecnia y pavimentos*. Lima: Dirección general de caminos y ferrocarriles.

- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2016). *Manual de Ensayo de Materiales*. Dirección Regional de Caminos y Ferrocarriles.
- Morales Zuluaga, D. (2015). *Valoración de las Cenizas de Carbón para la Estabilización de Suelos mediante activación alcalina y su uso en vías No Pavimentadas*. Medellín: Universidad de Medellín. Obtenido de <https://repository.udem.edu.co/handle/11407/1236>
- Muñoz Razo, C. (2011). *Cómo elaborar y asesorar una investigación de tesis*. México: Pearson.
- Nardi, J. V. (1975). *Estabilização de areia com cinza volante e cal; efeito do cimento como aditivo e de brita na mistura*. Brazil: Dissertação de Mestrado - Universidade Federal do Rio de Janeiro. Obtenido de <https://pantheon.ufrj.br/bitstream/11422/2751/1/141784.pdf>
- Ojeda Farías, O., Mendoza Rangel, J. M., & Baltazar Zamora, M. A. (2018). Influencia de la inclusión de ceniza de bagazo de caña de azúcar sobre la compactación, CBR y resistencia a la compresión simple de un material granular tipo subrasante. *Revista de la Asociación Latinoamericana de Control de Calidad, Patología y Recuperación de la Construcción*, 194-208. Obtenido de [https://www.researchgate.net/profile/Miguel\\_Zamora7/publication/324865837\\_Influencia\\_de\\_la\\_inclusion\\_de\\_ceniza\\_de\\_bagazo\\_de\\_cana\\_de\\_azucar\\_sobre\\_la\\_compactacion\\_CBR\\_y\\_resistencia\\_a\\_la\\_compresion\\_simple\\_de\\_un\\_material\\_granular\\_tipo\\_subrasante/links/5ae8766](https://www.researchgate.net/profile/Miguel_Zamora7/publication/324865837_Influencia_de_la_inclusion_de_ceniza_de_bagazo_de_cana_de_azucar_sobre_la_compactacion_CBR_y_resistencia_a_la_compresion_simple_de_un_material_granular_tipo_subrasante/links/5ae8766)
- Quispe Serrano, F. J. (2021). *Influencia en el valor del CBR de la base para pavimento flexible de tránsito liviano con adición de agregado de concreto reciclado al material granular de las canteras Condebamba y Quitasol de la ciudad de Abancay – Apurímac, 2019*. Apurímac: Escuela Profesional de Ingeniería Civil. Obtenido de <https://repositorio.utea.edu.pe/handle/utea/315>
- Real Academia Española. (2021). *Bagazo*. Obtenido de Diccionario de la lengua española: <https://dle.rae.es/bagazo?m=form>
- Real Academia Española. (2021). *Ceniza*. Obtenido de Diccionario de la lengua española: <https://dle.rae.es/ceniza?m=form>
- Road Research Laboratory D.S.I.R. (1963). *Mecánica del suelo para ingeniero de carreteras y aeropuertos*. (L. Valero Alonso, Trad.) Madrid: Centro de estudios y experimentación de obras públicas.
- Salas Solorzano, E. J., & Pinedo Infantes, A. J. (2018). *Ceniza de bagazo de caña de azúcar en la estabilización de sub rasante para pavimentos flexibles en el asentamiento humano los Conquistadores Nuevo Chimbote-2018*.

Chimbote: Universidad César Vallejo. Obtenido de  
<http://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/32320>

Terrones Cruz, A. T. (2018). *Estabilización de Suelos Arcillosos Adicionando Cenizas de Bagazo de Caña para el Mejoramiento de Subrasante en el Sector Barraza, Trujillo - 2018*. Trujillo: Universidad Privada del Norte. Obtenido de <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/14971>

Torres Carrasco, M., & Puertas, F. (2017). La activación alcalina de diferentes aluminosilicatos como una alternativa al Cemento Portland: cementos activados alcalinamente o geopolímeros. *Revista Ingeniería de Construcción RIC*, 1-8. Obtenido de [https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0718-50732017000200001](https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-50732017000200001)

## **ANEXOS**

Los anexos, panel fotográfico y otros documentos están resguardados en la oficina de Repositorio Digital Institucional de la Biblioteca Central de la Universidad Tecnológica de los Andes