



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

**“Estabilización de suelos arcillosos incorporando cenizas de  
madera, originadas por ladrilleras artesanales, en la red vial vecinal  
Antarumi – Macachacra, Ayacucho”**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
Ingeniero Civil

**AUTOR:**

Alanya Palomino, Cesar Eduardo (ORCID: 0000-0003-1951-3220)

**ASESOR:**

Dr. Ing. Tello Malpartida, Omart Demetrio (ORCID: 0000-0002-5043-6510)

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN**

Diseño de Infraestructura Vial

**LIMA NORTE – PERÚ**

2020

## **DEDICATORIA**

Dedico a Dios por acompañarme y guiado a lo largo de mi carrera; asimismo, agradecer a mis padres Elvis Alanya Millan y Pilar Palomino Poma por apoyarme en todo momento, por los valores que me han inculcado y por haberme dado la oportunidad de tener una excelente educación en el transcurso de mi vida, a mi hermano Pierre Alanya Palomino por acompañarme y brindarme su apoyo a lo largo de mi vida.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a mis padres y mi hermano por su amor y apoyo incondicional en todo momento. Agradecer a la escuela de Ingeniería Civil de la Universidad César Vallejo por brindarme conocimientos a través de sus docentes. A mi asesor por el apoyo brindado en las investigaciones realizadas y la elaboración de la tesis.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

Carátula-----	i
Dedicatoria-----	ii
Agradecimiento-----	iii
Índice de contenidos -----	iiiv
Índice de tablas-----	v
Índice de figuras-----	iii
Índice de gráficos -----	
iii Resumen -----	
viii Abstract-----	
iiixINTRODUCCIÓN-----	2
II. MARCO TEÓRICO-----	7
III. METODOLOGÍA-----	37
3.1. Tipo y diseño de la investigación-----	38
3.2. Variables y operacionalización -----	39
3.3. Población, muestra y muestreo-----	39
3.4.Técnicas e instrumentos de recolección de datos -----	42
3.5.Procedimiento -----	44
3.6. Método de análisis de datos-----	46
3.7. Aspectos éticos-----	46
IV. RESULTADOS-----	47
V. DISCUSIÓN-----	70
VI. CONCLUSIONES -----	73
VII. RECOMENDACIONES -----	76
REFERENCIAS-----	78
ANEXOS-----	85

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Clasificación de suelos según el tamaño de las partículas .....	19
Tabla 2 Tabla de tamices de granulometría .....	19
Tabla 3 Tabla de índice de plasticidad .....	22
Tabla 4 Tabla de Clasificación SUCS .....	23
Tabla 5 Tabla de Clasificación AASHTO.....	23
Tabla 6 Categoría de la subrasante .....	25
Tabla 7 Tabla de proporciones de cemento para la estabilización de suelos ..	28
Tabla 8 Distribución de ladrilleras artesanales en Ayacucho.....	29
Tabla 9 Composición de la ceniza de madera.....	33
Tabla 10 Ensayos de Mecánicas de suelos .....	40
Tabla 11 Medidas de Validez .....	43
Tabla 12 Ensayos para la comparativa con el expediente técnico .....	45
Tabla 13 Ensayos usados para la interpolación lineal .....	45
Tabla 14 Dosificaciones .....	51
Tabla 15 Análisis granulométrico de la zona de estudio.....	52
Tabla 16 Clasificación de suelos de la zona de estudio .....	52
Tabla 17 Límites de consistencia de la zona de estudio.....	53
Tabla 18 Gradación granulométrica de la muestra de la calicata 2 .....	53
Tabla 19 Granulometría del tipo de suelo 2.....	54
Tabla 20 Comparativa de clasificación de suelos.....	55
Tabla 21 Comparativa de los límites de consistencia.....	56
Tabla 22 Dosificaciones usadas para la comparativa del límite de consistencia .....	57
Tabla 23 Interpolación de dosificaciones (15% y 20%) para el óptimo contenido de humedad y máxima densidad seca .....	59
Tabla 24 Interpolación de dosificaciones (20% y 23%) para el óptimo contenido de humedad y máxima densidad seca .....	60
Tabla 25 Promedio de dosificaciones (25% y 25%) para el óptimo contenido de humedad y máxima densidad seca .....	61
Tabla 26 Interpolación de dosificaciones (15% y 20%) para el % de CBR .....	63
Tabla 27 Interpolación de dosificaciones (20% y 23%) para el % de CBR .....	64
Tabla 28 Promedio de dosificaciones (25% y 25%) para el % de CBR .....	65

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Ladrillera artesanal.....	3
Figura 2 Variaciones de la arcilla .....	15
Figura 3 Composición de las Caolinitas .....	16
Figura 4 Composición de las Illitas.....	16
Figura 5 Composición de las Montmorillonitas .....	17
Figura 6 Limites de Consistencia del Suelo.....	20
Figura 7 Ensayo de la copa de casagrande .....	21
Figura 8 Equipo para el ensayo Proctor .....	24
Figura 9 Ladrillera Artesanal en la región de Ayacucho .....	29
Figura 10 Proceso de Fabricación de los Ladrillos .....	30
Figura 11 Esquema del proceso de obtención de cenizas .....	31
Figura 12 Variaciones de cenizas volantes .....	32
Figura 13 Variaciones de cenizas de fondo.....	33
Figura 14 Equipo de Laboratorio para Difracción de Rayos X .....	34
Figura 15 Ceniza de madera ubicado al interior de la ladrillera .....	35
Figura 17 Mapa de la Región de Ayacucho.....	48
Figura 18 Mapa de la Provincia de Huanta .....	48
Figura 19 Mapa del Distrito de Iguaín .....	48
Figura 20 Extracción de suelo arcilloso muestra 2 (tesis de Goñas) .....	49
Figura 21 Recojo de la ceniza de madera (tesis de Goñas) .....	49
Figura 22 Adquisición de la muestra de suelo arcilloso .....	50
Figura 23 Ceniza de carbón para la dosificación.....	50
Figura 24 Formula de interpolación lineal.....	51

## ÍNDICE DE GRAFICAS

Grafica 1 Comparación de las curvas granulométricas .....	55
Grafica 2 Comparación de los límites de consistencia .....	56
Grafica 3 Índice de plasticidad comparativo y nuevas dosificaciones (17%, 21%, 25%) .....	59
Grafica 4 Variación y comparativa entre el óptimo contenido de humedad y los porcentajes agregados de ceniza.....	62
Grafica 5 Variación y comparativa entre la máxima densidad seca y los porcentajes agregados de ceniza.....	63
Grafica 6 Variación y comparativa entre el porcentaje de CBR y la adición de cenizas.....	65
Gráfico 7 Índice de Plasticidad vs % de Ceniza .....	66
Gráfico 8 Máxima Densidad Seca vs % de Ceniza .....	67
Gráfico 9 Optimo Contenido de Humedad vs % de Ceniza .....	68
Gráfico 10 CBR (%) vs % de Ceniza .....	69

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación tuvo como objetivo determinar la influencia de las cenizas de madera, originadas por ladrilleras artesanales, en la estabilización de los suelos arcillosos en la red vial vecinal Antarumi – Macachacra, Ayacucho. La investigación es de tipo aplicada, diseño de investigación es no experimental de corte transversal y la Técnica es la observación sistémica. El estudio, tuvo como población, todos los ensayos de mecánica de suelos y como muestra los ensayos de granulometría, límites de Atterberg, Proctor modificado y CBR, para ello se comparó e interpoló resultados de dos trabajos de investigación donde ambos autores utilizaron la ceniza de madera como aditivo, cada uno con diferentes dosificaciones; Para esta investigación, con el fin de obtener nuevos resultados se propusieron las dosificaciones de 17%, 21% y 25% de ceniza de madera. En los principales resultados de la investigación, se determinaron que las dosificaciones propuestas de ceniza de madera son las apropiadas para el desarrollo de la investigación ya que se aprecia una mejora en sus características físico – mecánicas de los suelos. Se concluye que al incorporar 25% de cenizas de madera se muestra una mejora en cada una de las características del suelo, la cual influye positivamente, dado que incrementa en un 18.53% la cohesión, en un 6.20% máxima densidad seca, en un 23.16% el óptimo contenido de humedad y en un 24.35% la capacidad de soporte, cada uno con valores que llegan a alcanzar las expectativas de la investigación, aseverando la hipótesis principal.

**Palabras Clave:** Cenizas de madera, suelos arcillosos, estabilización de suelos.

## ABSTRACT

The objective of this research work was to determine the influence of wood ashes, originated by artisan brick kilns, in the stabilization of clay soils in the Antarumi - Macachacra neighborhood road network, Ayacucho. The research is applied, the research design is non-experimental and cross-sectional and the Technique is systemic observation. The study had as a population, all the soil mechanics tests and as shown by the granulometry tests, Atterberg limits, modified Proctor and CBR, for this, the results of two research works were compared and interpolated where both authors used the ash of wood as an additive, each with different dosages; For this research, in order to obtain new results, the dosages of 17%, 21% and 25% of wood ash were proposed. In the main results of the research, it was determined that the proposed dosages of wood ash are appropriate for the development of the research since an improvement is observed in the physical-mechanical characteristics of the soils. It is concluded that by incorporating 25% of wood ash, an improvement is shown in each of the soil characteristics, which has a positive influence, since it increases cohesion by 18.53%, by 6.20% maximum dry density, by 23.16 % optimal moisture content and 24.35% support capacity, each with values that reach the expectations of the research, asserting the main hypothesis.

**Keywords:** Wood ash, clay soils, soil stabilization.

# I. INTRODUCCIÓN

## I. INTRODUCCIÓN

El desarrollo de un país depende principalmente de la infraestructura vial, ya que a través de ellas se pueden interconectar poblaciones lejanas con rapidez y a diversas partes, asimismo se puede promover actividades tales como el comercio, turismo y dar oportunidades a nuevos mercados en crecimiento, es por eso que las carreteras deben de ser de calidad y perdurar con el paso del tiempo. No obstante, uno de los problemas por el cual estas poblaciones no cuentan con una carretera de calidad es que no todos los suelos de fundación tienen la adecuada resistencia debido a la alta presencia de arcilla y/o limos. Es por eso que en la actualidad se están aplicando muchas técnicas o métodos para aumentar la resistencia como la cal, cemento, aditivos, entre otros, y que se usan de acuerdo a las características del suelo.

En el Perú de acuerdo al informe del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) el 89.9% de la red vial departamental o regional no se encuentran asfaltadas, de la misma manera el 99% de la red vial vecinal o rural no cuenta con pavimentación o se encuentran en mal estado debido a que los suelos de estas zonas que presentan alta inestabilidad. Tal es el caso de la red vial vecinal Antarumi – Macachacra, este tipo de suelo presenta alta cantidad de arcilla y debe ser mejorado con algún método anteriormente mencionado o por el método de estabilización propuesto en esta investigación. La que consiste en usar cenizas de madera, originadas por ladrilleras artesanales, en la estabilización de suelos.

En la actualidad el país cuenta con aproximadamente 2000 ladrilleras artesanales de los cuales cada horno segrega un aproximado de 25,000 toneladas al año de ceniza de madera, este material de por si actualmente es considerado como desperdicio o desmonte, pero recientes estudios revelan que estas cenizas contienen propiedades químicas similares a las del cemento y pueden usarse como material estabilizante o como conglomerante en la construcción.



*Figura 1 Ladrillera artesanal*

Por este motivo, la siguiente investigación se enfocará en evaluar de qué manera influye la ceniza de madera, originadas por ladrilleras artesanales, en la estabilización de la subrasante de un suelo arcilloso. De esta forma le daremos una buena utilidad a las cenizas de madera, mejorando las propiedades físico – mecánicas del terreno y mejorando el medio ambiente.

Para lograr el siguiente objetivo de la investigación se elaboraron diferentes porcentajes de mezclas entre ceniza y suelo arcilloso, posteriormente estas mezclas se insertaron a los ensayos De laboratorio, para la presente investigación es necesario realizar ensayos y analizar las propiedades físico – mecánicas de la mezcla, dichos ensayos permitirán obtener los análisis enfocados en el tamaño de la partícula, el límite de consistencia, la capacidad de soporte y el óptimo contenido de humedad.

## **Problema General**

¿De qué manera influyen las cenizas de madera, originadas por ladrilleras artesanales, en la estabilización de suelos arcillosos?

## **Problemas Específicos**

¿Cómo influyen las cenizas de madera, originadas por ladrilleras artesanales, en la cohesión de los suelos arcillosos?

¿Cómo influyen las cenizas de madera, originadas por ladrilleras artesanales, en la densidad máxima seca de suelos arcillosos?

¿Cómo influyen las cenizas de madera, originadas por ladrilleras artesanales, en el óptimo contenido de humedad de suelos arcillosos?

¿Cómo influyen las cenizas de madera, originadas por ladrilleras artesanales, en la capacidad de soporte de los suelos arcillosos?

**Justificación Práctica.** Esta investigación pretende ofrecer una alternativa de solución correspondiente al mejoramiento de las cualidades físicas y mecánicas de los suelos arcillosos presentes en las redes viales vecinales del país, de esta manera reduciríamos las pérdidas económicas y sociales que los pueblos alejados en su mayoría tienen debido a que no cuentan con una carretera de calidad.

Como dicha alternativa emplearemos ceniza de madera, originadas por ladrilleras artesanales, debido a que en la actualidad no se está dando el correcto uso. Es por eso que realizaremos estudios de mecánica de suelos con el fin de obtener información sobre el tipo de suelo perteneciente a la red vial vecinal Antarumi – Macachacra.

**Justificación Metodológica.** El presente trabajo de investigación se llevará a cabo con el propósito de mejorar el suelo perteneciente al terreno de estudio, para lo cual se incorporará ceniza de madera, originadas por ladrilleras artesanales, y de esta manera el resultado nos dé un suelo mejorado y así el pavimento no presente fallas durante su vida útil para la cual ha sido diseñada.

**Justificación Ambiental.** El Perú es un país que cuenta con aproximadamente 2000 ladrilleras artesanales y estas segregan toneladas de ceniza, este material de por si es considerado como desperdicio y contaminante del medio ambiente. Es por eso que al usar la ceniza de madera como material estabilizante del suelo arcilloso estaríamos contribuyendo con el medio ambiente.

**Justificación Económica.** En tanto justificante económico resulta favorable usarlo como material de mejora de la subrasante debido a que este material abunda cerca de la zona de estudio asimismo usarlo como material estabilizante nos ahorraría costos en traer material de cantera para reemplazar el suelo arcilloso.

### **Objetivo General**

Determinar la influencia de las cenizas de madera, originadas por ladrilleras artesanales, en la estabilización de los suelos arcillosos

### **Objetivos Específicos**

Determinar de qué manera influyen las cenizas de madera, originadas por ladrilleras artesanales, en la cohesión de los suelos arcillosos

Determinar de qué manera influyen las cenizas de madera, originadas por ladrilleras artesanales, en la densidad máxima seca de suelos arcillosos

Determinar de qué manera influyen las cenizas de madera, originadas por ladrilleras artesanales, en el óptimo contenido de humedad de suelos arcillosos

Determinar de qué manera influyen las cenizas de madera, originadas por ladrilleras artesanales, en la capacidad de soporte de suelos arcillosos

### **Hipótesis General**

El uso de cenizas de madera, originadas por ladrilleras artesanales, influirá significativamente la estabilización de suelos arcillosos

### **Hipótesis Específicas**

El uso de cenizas de madera, originadas por ladrilleras artesanales, influirá en la cohesión de los suelos arcillosos

El uso de cenizas de madera, originadas por ladrilleras artesanales, influirá en la densidad máxima seca los suelos arcillosos

El uso de cenizas de madera, originadas por ladrilleras artesanales, influirá en el óptimo contenido de humedad los suelos arcillosos

El uso de cenizas de madera, originadas por ladrilleras artesanales, influirá en la capacidad de soporte de los suelos arcillosos

## **II. MARCO TEÓRICO**

## II. MARCO TEÓRICO

**Mamani y Yataco**, (2017), en su tesis para obtener el título profesional de ingeniero civil titulado “***Estabilización de suelos arcillosos aplicando ceniza de madera de fondo, producto de ladrilleras artesanales en el departamento de Ayacucho***”, de la Universidad San Martín de Porres, **cuyo objetivo general fue:** Establecer el porcentaje de incidencia de la ceniza de madera de fondo, producto de ladrilleras artesanales, en la estabilización de suelo arcilloso, en el Región de Ayacucho. **La metodología empleada** es Aplicada, **cuya población** es el Distrito de Pacaicasa, Región de Ayacucho y su muestra a estudiar son las ladrilleras artesanales del Distrito de Pacaicasa, así como la arcilla ubicada en el km 17 del segmento Huamanga-Pacaicasa. **Se concluye que** la mezcla entre la ceniza de fondo correspondiente con el suelo arcilloso, reduce su Índice de Plasticidad correspondiente a la prueba de límites de consistencia y aumenta su gravedad en especialmente de los sólidos, favoreciendo las propiedades físicas del terraplén. Asimismo, la prueba de Proctor modificado, reduce la humedad óptima del suelo en su combinación arcilla y ceniza. **En sus resultados** muestra una mejoría en las características físicas de la arcilla, a causa de la cohesión de la ceniza de fondo, logrando disminuir el índice de plasticidad en un 43% correspondiente al I.P. del suelo arcilloso. También podemos observar que, en las pruebas de propiedades mecánicas, el de Proctor modificado facultó la densidad más alta y el porcentaje de la humedad adecuada de las combinaciones realizadas, obteniéndose disminución de humedad respecto a la adición de ceniza de fondo.

**Apolinarex**, (2018), en su tesis para obtener el título de ingeniera civil titulado “***Estabilización de la sub-rasante con la incorporación de ceniza vegetal, Jauja***”, sustentada en la Universidad Peruana de los Andes **cuyo objetivo general fue:** Establecer los efectos en la estabilización de la sub-rasante al incorporar ceniza vegetal para la Av. Huarancayo, Jauja. **El tipo de investigación** empleada en esta investigación es Aplicada. La **población** son todas las vías del barrio San Antonio, Provincia de Jauja y su **muestra** es de tipo no probabilístico intencional. La Av. Huarancayo cuadras 6 al 11, del barrio San Antonio, Provincia de Jauja. **Finalmente concluyo** que la dosis adecuada de ceniza vegetal que se requiere para mejorar la subrasante de la vía Av. Huarancayo, cuadra de la 6 a la 11, se

requiere para la muestra 1, que es un tipo de suelo arena limosa con grava, se necesita un 35% de ceniza vegetal y así alcanzar 24.7% de CBR. Para la muestra 2, que es un modelo de suelo arena limosa, se necesita un 35% de ceniza vegetal, para alcanzar el 23.7% de CBR. En ambos casos la capacidad de soporte CBR que se obtuvieron es de 24.7% y 23.7%, porcentajes que cumplen con la norma del manual carreteras de mínima capacidad de tránsito, clasificando a la subrasante de la vía en estudio, como muy buena.

**Cubas y Falen**, (2016), en su tesis para obtener el título de ingeniería civil titulado ***“Evaluación de las cenizas de carbón para la estabilización de suelos mediante activación alcalina y aplicación en carreteras no pavimentadas”***, sustentada en la Universidad Señor de Sipán **cuyo objetivo general fue:** Establecer la utilidad de las cenizas de carbón para mejorar el suelo mediante activación alcalina en carreteras sin pavimentar. **El tipo de investigación** fue Cuantitativo – Cuasiexperimental. **La población** en estudio de esta investigación fueron los suelos arenosos y arcillosos en diferentes zonas de la Región de Lambayeque, **La muestra** de tipo no probabilística. **Se concluye** que la estabilización con ceniza de carbón y NaOH (hidróxido de sodio) puede utilizarse para reducir que el polvo se levante, disminuyendo los precios de mantenimiento. Las cenizas de carbón en la muestra 2 (14% de cenizas) son las que responden mejor al tratamiento de suelos arenosos y arcillosos debido al alto contenido de sílice (CaO) la cual se asocia con la elaboración de cerámicas que tienen porcentajes de formas de cementación y favorecen el mejoramiento. El uso de cenizas de carbón e y NAOH en suelos arcillosos presenta un resultado positivo con respecto al uso de agua que se observa una gran diferencia en cuanto a resistencia. **Su resultado fue** que para todos los casos se observó que con la adherencia de cenizas reduce su densidad máxima y que esta puede estar asociada con los elementos químicos que está presente en las cenizas de carbón.

**Parra**, (2018), en su tesis para obtener el título ingeniería civil titulado ***“Estabilización de un suelo con cal y ceniza volante”***, sustentada en la Universidad Católica de Colombia **tuvo como objetivo general**, determinar el porcentaje óptimo de estabilizante por medio de la resistencia a la compresión y tracción de un suelo con presencia de arcilla(caolín) con la añadidura de cal y

ceniza. **El tipo de investigación** fue experimental, en la cual tuvo como **muestra** de ensayos suelos extraídos de la ciudad de Zipaquirá. **Finalmente concluyo** que el ensayo de Tracción nos mostró que tanto la ceniza como la cal obtuvieron un esfuerzo máximo similar, lo que podemos deducir que ambos materiales pueden ser usados satisfactoriamente en la estabilización de suelos ya que ambos aumentan la resistencia del suelo. El uso de cal o ceniza para el mejoramiento de suelo es viable ya que a través de los ensayos se puede apreciar que el suelo se puede mejorar in-situ, con esto también reduciríamos costos por transporte de material para mejorar el suelo. En el ensayo a compresión el porcentaje óptimo de cal viva es de 4% en lo que refiere a esfuerzo máximo, 8% en rigidez y 8% en lo que refiere a deformación y para la ceniza, el porcentaje óptimo para esfuerzo máximo fue de 4% de igual forma 4% para la rigidez y del 8% en lo que refiere a deformación. **Su resultado** fue que los porcentajes de 6% y 8% presentan un comportamiento más frágil debido a la caída de su resistencia luego de la ruptura. Asimismo, nos dice que el porcentaje con mayor resistencia es el de 8%.

**Castillo**, (2017), en su tesis para la obtención del grado de master en Ingeniería en Vialidad y Transportes titulado “**Estabilización de Suelos Arcillosos de Macas con Valores de CBR menores al 5% y Límites Líquidos superiores al 100%, para utilizarlos como Subrasantes en Carreteras**”, sustentada en la Universidad de Cuenca **cuyo objetivo general fue**: Mejorar con el uso de cal los suelos arcillosos que se encuentran el Km 3+000 del paso lateral de Macas con valores de CBR menores al 5% y límites líquidos mayores al 100%, para emplearlos como subrasantes mejorada en las carreteras de pavimento flexible. **El tipo de investigación** empleada es experimental debido a que se realizó ensayos de laboratorio, **su población** es la ciudad de Macas y tuvo como **muestra** el Km 3+000 **Concluyendo** que el suelo cuando es subyugado a energía de compactación del Proctor Estándar y Modificado incrementa los índices de su densidad seca en un 0.008 g/cm<sup>3</sup>. También concluye que el índice de CBR incrementa de manera notoria al aplicarle a estos suelos con cal y ceniza, señala que aumenta en un 15.8% por cada porcentaje que se le añada.

**Hernández, Mejía y Zelaya**, (2016), en su tesis para optar al título de ingeniero civil titulado “**Propuesta de estabilización de suelos arcillosos para su aplicación**

**en pavimentos rígidos en la facultad multidisciplinaria oriental de la Universidad de El Salvador**", sustentada en la Universidad de El Salvador **cuyo objetivo general fue:** Evaluar el progreso de un suelo arcilloso aplicando cal como estabilizador en la subrasante del pavimento rígido de la Facultad Oriental Multidisciplinaria de la Universidad de El Salvador. **El tipo de investigación** empleado es de tipo experimental, **su muestra** fue 5 calicatas del suelo con excavación a cielo abierto equidistantes en promedio a cada 250 metros a lo largo de la vía. **Se concluye que** la adición de cal redujo su ensanchamiento en un 88% de acuerdo a su consolidación unidimensional, además redujo su índice de plasticidad de 45% a 0%. El uso de cal como material estabilizador de suelo arcilloso reduce o mantiene el valor del proyecto debido a que se usa el material de la zona y no habría necesidad de traer material de cantera evitando así los costos de transporte. Con la unión de Cal al terraplén se pretendió incrementar la capacidad de resistencia del CBR, y de este modo se logre cumplir los requisitos indispensables para ser utilizado como subrasante. Con 5% de Cal se logra incrementar su índice de soporte de 1.93% a 54.00%, de esta forma se confirma que el material con suelo y cal al 5% es adecuado para ser parte de la capa subrasante. **Su resultado fue** que el análisis de límites a la muestra de suelo con cal sugiere que el suelo no plástico producto de las reacciones químicas que se genera de la cal a este elimina en su totalidad su plasticidad.

**Sinan**, (2017), in his thesis submitted as a partial requirement for the degree of master of technology in civil engineering titled "**The use of lime sludge for soil stabilization**", supported in Iowa State University, **having as a general objective:** Design a method of soil stabilization by incorporating lime sludge. This research is **experimental** design and finally **concludes** the following points: Increasing the use of scraps materials in pavement constructions helps industry to reduce the costs due to the disposal of scraps materials, to control possible contaminations of nearby areas, to create new income sources and to conserve energy and sources of other commonly-used materials. Fly ash and Portland Cement have been widely used for soil stabilization. The use of stabilizers having relatively higher CaO contents provided higher pH values. In addition, increases in stabilizer contents increased the pH values consequently. **These results** were attributed to an increment in Ca<sup>2+</sup> released from stabilizers due to increment in CaO and stabilizer contents.

En esta investigación el objetivo principal fue evaluar la estabilización del suelo incorporándole cal, asimismo nos menciona que usar materiales de desecho en el mejoramiento del terreno ayuda a reducir los costos ya que evitamos la eliminación de estos desechos y controlamos las posibles contaminaciones. También nos da como alternativas de material estabilizante las cenizas volantes y el cemento portland.

**Sarathi** (2015), in his thesis submitted as a partial requirement for the degree of master of technology in civil engineering titled “***Stabilization of expansive soils using alkali activated fly ash***”, supported in National Institute of Technology Rourkela Odisha, **having as a general objective:** To evaluate the suitability using alkali activated of fly ash as a stabilizing agent for expansive soil. This research is **experimental** design and **finally concludes** the following points: Alkali-activated fly ash can be used effectively as a chemical stabilizer for stabilizing expansive soils. There is a strong dependency between the activator/ash ratio and mechanical strength. **Results** showed that it is advantageous to reduce this ratio since it has a positive effect on strength results, which has also a positive effect on final cost.

En esta investigación la finalidad fue evaluar la capacidad de la ceniza de volante activada con álcali como un agente estabilizador para suelos expansivos. También nos menciona que esta mezcla entre el activador(álcali) y la ceniza tiene efectos positivos en los resultados de resistencia que asimismo se ve reflejado también en el costo final.

**Guo** (2015), in his thesis submitted as a partial requirement for the degree of master of technology in civil engineering titled “***Investigation of soil stabilization using biopolymers***”, supported in Iowa State University, **having as a general objective:** Design a method of soil stabilization by incorporating biopolymers. This research is **experimental** design and **finally concludes** the following points: The stiffness of the samples generally decreased with increasing biopolymers content, and the stress-strain conduct initially showed a slight reduction in ductility at 1 and 6 hours, but eventually showed an increase in ductility after a curing time of 30 days. The unconfined compressive energy extended with curing time for all specimens. For a

7-day curing time, the unconfined compressive electricity of the untreated specimens extended greater unexpectedly than for the biopolymers-amended specimens. For curing instances longer than 7 days, the unconfined compressive electricity of stabilized loess soil improved quicker than that of untreated loss soil.

En esta investigación tuvo como finalidad la evaluación de las muestras, tanto terreno de fundación como adicionado con biopolímeros, el cual nos brinda resultados positivos, donde arrojo que el terreno con biopolímeros es más rígido que el terreno de fundación asimismo nos dio que durante las primeras 6 horas del curado tiene una ligera reducción de la ductilidad, pero al cabo de 30 días la ductilidad aumenta.

**Gallardo, Cuanalo, Quintero, Muñoz y Martínez (2017)** en su artículo “**Análisis del comportamiento de suelos de alta plasticidad con la adición del material de residuo en la fabricación de ladrillo cerámico**” publicada en la Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada, el cual tiene como **objetivo principal**: Usar el residuo de ladrillo como componente estabilizante de la vía no asfaltada, la cual muestra dificultades en su plasticidad ante la concurrencia de lluvias. **El tipo de investigación** es descriptivo y experimental. **La población** en estudio son los suelos limosos que contienen alta plasticidad de la zona de acceso al Municipio de Ocaña Norte, **Para ello concluyo lo siguiente**: La mezcla remanente del suelo es una buena alternativa para mejorar el suelo con alta plasticidad, ya que se puede encontrar que el indicador de plasticidad puede reducirse a 22.27% en casos de que exista una dosis del 10% de esta dosificación. El CBR de la mezcla suelo – residuo no presenta una mejoría notable, por lo que el máximo es de 3% correspondiente a su estado natural. **Su resultado fue** que al utilizar insumos opcionales como es el restante de la elaboración de ladrillo permiten lograr una mejoría en la conducta física del suelo, así como también colaborar con el cuidado del medio ambiente al poder disponer de este material evitando una posible contaminación por arrastres de sedimentos de la principal fuente hidrológica de la Ciudad de Ocaña, Norte de Santander.

**Souto y Losada, (2016)** en su artículo “**Selección de técnicas de mejora de suelos en proyectos de obra civil**” publicada en la Revista Tecnología y

Equipamiento para las Obras Publicas, el cual tiene como **objetivo principal:** Explicarnos que hay varios métodos de refuerzo de terreno y evaluar cual es la opción más factible analizando el tiempo y costo que este refuerzo requiera. Asimismo, explicarnos que el refuerzo de terreno se puede clasificar en sustitución, reducción de humedad, refuerzo del suelo, adición de cemento o cal, térmicos e instalación de geo sintéticos. **El tipo de investigación** empleado es aplicado con diseño experimental, Para ellos **concluyo** lo siguiente: En caso de que el tipo de terreno sea demasiado inestable, se podría combinar técnicas de mejora y así obtener los resultados deseables. Es necesario contar con una Asistencia Geotécnica en los proyectos y su necesaria prolongación durante la fase de ejecución para realizar un análisis crítico de las soluciones adoptadas.

**Huaquisto, (2015)** en su artículo “*Efecto del aceite residual de vehículos motorizados en los factores físico mecánicos del suelo fino*” publicada en la Revista de Investigación Altoandinas, **el cual tiene como objetivo principal:** Evaluar la influencia que tiene el hidrocarburo residual en el mejoramiento físico – mecánico del suelo fino. **El tipo de investigación** es de alcance correlacional con diseño experimental, Para ello **concluyo lo siguiente:** El aceite residual favorece incrementando la textura seca, máxima en el intervalo de 2% al 4%. Disminuyendo este indicador en caso de que el contenido de aceite se incremente a más del 4%. La rigidez a compresión simple y adherencia se disminuyen con el incremento del aceite residual. Los indicadores físicos del suelo como el límite líquido, límite plástico, índice de plasticidad y contenido de humedad favorable son disminuidos con la presencia de aceite residual desde el 0% al 10% en 20.48%, 8.23%, 12.25%, 0.19g/cm<sup>3</sup>, 4.8% y 1.1x10 cm/s respectivamente. **Su resultado fue** que el límite líquido disminuyo en un 54.1% y el límite plástico en 37.5% con el 10% de contenido de aceite en comparación del terreno natural. En caso de que se emplee el aceite residual como estabilizador en el apisonado de terraplenes, se debe apreciar que en un inicio la densidad seca se incrementa y en consecuencia la rigidez por lo que el uso de aceite residual en mínimas cantidades, de 2% al 4% en peso seco de la muestra lograra mejorar la compactibilidad del suelo.

**Suelos arcillosos:** es un tipo de suelo que está conformado principalmente debido al mineral llamado arcilla, esto lo convierte en un suelo con una textura pesada y pegajosa cuando tiene humedad y muy resistente cuando carece de agua. El suelo arcilloso está conformado por arcillas o en su composición posee la mayoría de estas. Por lo general, no es adecuado para el tránsito vehicular.<sup>36</sup>

La arcilla es toda aquella partícula que posee un tamaño menor de 2 mm independientemente de su composición química, a veces incluyendo la fracción limo entre 50 y 2 m y aquel mineral que está formado por la unión de 1 o 2 láminas tetraédricas con una lámina octaédrica.<sup>3</sup>

Las arcillas como partículas finas con una dimensión menor a 2  $\mu\text{m}$  (0,002 mm) que provienen de la modificación fisicoquímica de minerales.<sup>36</sup>



*Figura 2 Variaciones de la arcilla*

### **Clasificación de las arcillas**

Muchos minerales pueden aumentar o disminuir la cantidad de tensioactivo que se ha perdido por adsorción, un claro ejemplo son los minerales arcillosos como son la caolinita, la Illita y la montmorillonita.<sup>40</sup>

**Caolinitas:** La caolinita es un mineral en capas, una hoja de este mineral contiene una capa de octaedros de aluminio, la otra capa de silicio con figura tetraédrica, las

cuales coinciden en un plano común de moléculas de oxígenos y de clases de hidróxidos<sup>29</sup>

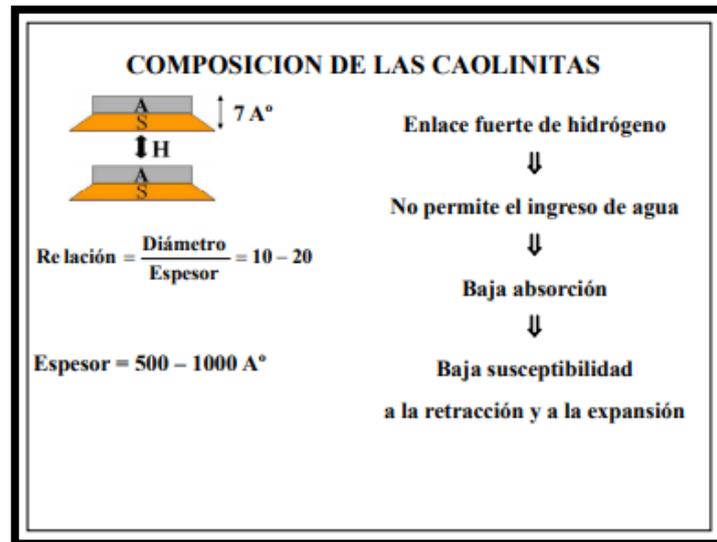


Figura 3 Composición de las Caolinitas

**Illitas:** Viene a ser un tipo de arcilla no expandible la cual presenta unidades cristalinas adheridas por iones de potasio, estos iones permiten la unión sin alterar procesos de expansión y contracción frente a los cambios de humedad. La illita está compuesta por una membrana de octaedros de Aluminio entre dos capas de tetraedros de Sílice, en esta estructura los vértices se direccionan hacia un mismo sentido.<sup>3</sup>

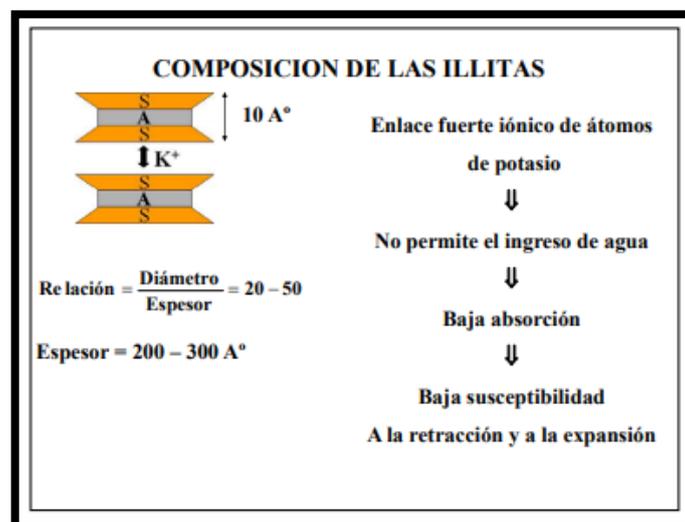


Figura 4 Composición de las Illitas

**Montmorillonitas:** Las montmorillonitas se forman a partir de rocas ígneas hidratadas lo que hace a este mineral un candidato idóneo para una reproducción, a nivel molecular, de una Tierra primitiva rica en vulcanismo. Tiene una amplia superficie de contacto y una elevada capacidad de intercambio catiónico y en su configuración posee una capa central que contiene Aluminio y Magnesio, estos están organizados en octaedros en forma de óxidos e hidróxidos.<sup>6</sup>

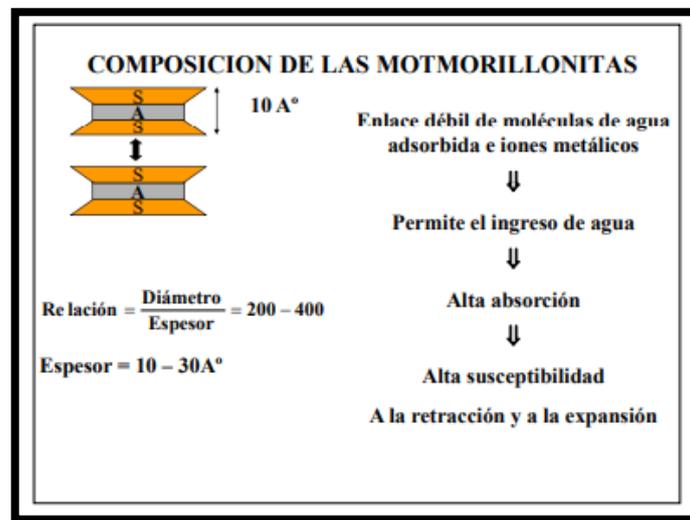


Figura 5 Composición de las Montmorillonitas

### Características Físico - Químicas

Las características más valiosas de las arcillas dependen de sus propiedades fisicoquímicas y estas de las arcillas dependen de:

- La dimensión de las partículas.
- La estructura de las láminas.
- Cambios isomórficos

Posteriormente explicaremos algunas propiedades que poseen estas arcillas:

**Plasticidad.** La plasticidad es la propiedad más importante del suelo arcilloso. Esta propiedad se debe al hecho de que las partículas de agua forman una carcasa en las partículas laminares, esto puede causar un deslizamiento cuando una carga

genera un esfuerzo. Esta propiedad puede cuantificarse utilizando los límites de Atteberg.

**Hidratación e Hinchamiento.** El hinchamiento es una característica particular de las montmorillonitas. La hinchazón es causada por la acumulación de agua, que ingresa a los espacios interlaminares y logra separar completamente las capas de las demás.

**Superficie específica.** La arcilla tiene una extensión específica alta. Esto se define como la fusión entre las superficies externa e interna de las partículas por unidad de masa.

**Capacidad de absorción.** Esta propiedad que se encuentra en algunas arcillas está directamente relacionada con las propiedades de textura (área de superficie específica y porosidad), esta propiedad de la arcilla permite absorber moléculas almacenadas en espacios interlaminares.

### **Descripción de Suelos Arcillosos**

**Análisis Granulométrico** Es la distribución de partículas de distinto tamaño presente en el suelo mediante su graduación y medición y tiene como propósito determinar la textura que presenta este suelo, desde una perspectiva técnica para emplearlo en carreteras se debe tener un suelo bien medido para realizar una buena compactación en el terreno.<sup>39</sup>

El propósito de este análisis granulométrico de un suelo es indagar la relación de sus diversos elementos, seleccionados según su medida.<sup>38</sup>

Según las dimensiones de las partículas de suelo, estas se clasificarían en:

Tabla 1 Clasificación de suelos según el tamaño de las partículas

Tipo de Material		Tamaño de las partículas
Grava		75 mm – 4.75 mm
Arena		Arena gruesa: 4.75 mm – 2.00 mm
		Arena media: 2.00 mm – 0.425mm
		Arena fina: 0.425 mm – 0.075 mm
Material Fino	Limo	0.075 mm – 0.005 mm
	Arcilla	Menor a 0.005 mm

Para distribuir las partículas de suelo por tamaño, se realizará el método de análisis granulométrico por tamizado la cual está conformada por mallas de diferentes tamaños que dan el tamaño agregado máximo para cada una de ellas.

Tabla 2 Tabla de tamices de granulometría

TAMICES	ABERTURA (mm)
3"	75.000
2"	50.800
1 ½"	38.100
1"	25.400
¾"	19.000
3/8"	9.500
Nº4	4.760
Nº10	2.000
Nº20	0.840
Nº40	0.425
Nº60	0.260
Nº140	0.106
Nº200	0.075

### Límites de Consistencia del Suelo

El límite de consistencia sirve para describir el estado físico del suelo. Asimismo, el factor que rige la consistencia de un suelo es el volumen de agua que alberga. <sup>39</sup>

En función a dicho factor, el suelo puede pasar por cuatro estados físicos:

Líquido: el suelo deja de tener cohesión y se comporta como un líquido viscoso

Plástico: el suelo puede sufrir pequeñas deformaciones, no recuperando su elasticidad, pero sin desmenuzarse

Semisólido: el suelo adquiere aspecto de un sólido, pero aún sigue disminuyendo su volumen

Sólido: El volumen ya no varía con un mayor secado

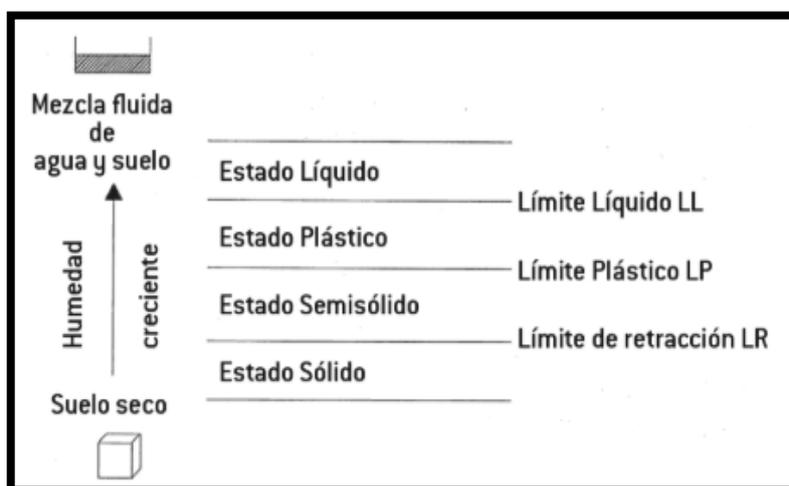


Figura 6 Límites de Consistencia del Suelo

Se entiende como una categoría en el contenido de humedad en el cual dicho suelo posee una consistencia plástica, los límites de Atterberg son fundamentales para estimar las consecuencias que surgirían en un largo periodo de tiempo al hacer uso del suelo y el efecto de la labor sobre la conducta mecánica del suelo.<sup>21</sup>

Los límites de Atterberg que permiten cuantificar la adhesión del suelo son los siguientes:<sup>25</sup>

**Límite Líquido (LL)**, Se llama así al estado del suelo que sufre un proceso de transición pasando de un estado semilíquido a uno plástico y este puede adoptar diferentes formas.

Para la determinación del LL (límite líquido), se elabora una pasta de arcilla y agua, colocándose en la cuchara de Casagrande. Con el rascador se divide la pasta en dos partes simétricas. Se acciona la manivela y se cuenta el número de golpes

dados deteniendo la actividad cuando estas dos mitades de la pasta se unen, determinando el contenido de humedad de la misma. Se repite el proceso con pastas de distintas proporciones de agua, representando gráficamente el porcentaje de humedad frente al logaritmo del número de golpes. La humedad correspondiente a 25 golpes será el límite líquido.<sup>10</sup>

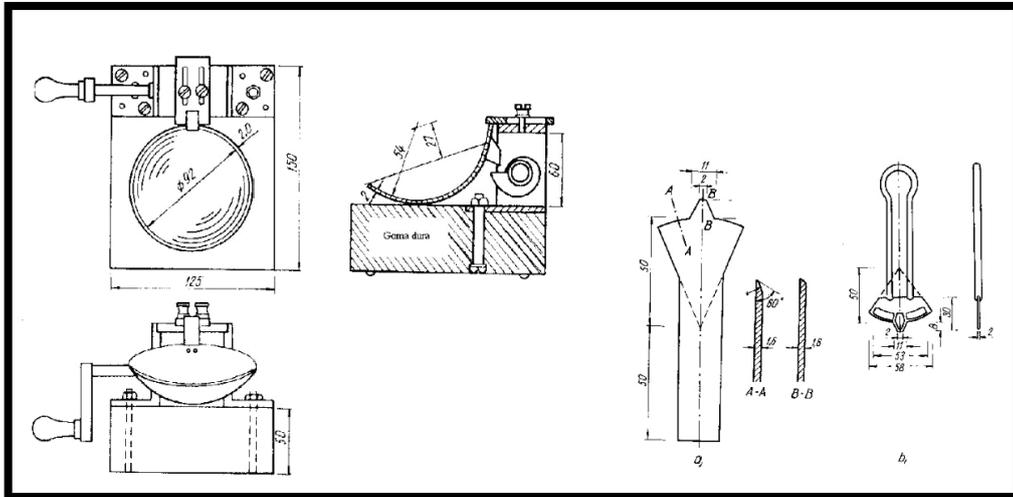


Figura 7 Ensayo de la copa de casagrande

**Límite Plástico (LP).** Se llama así en el momento que el suelo sufre un proceso de transición pasando de un estado plástico a uno semisólido y quiebra.

Para la determinar el LP (límite plástico) se realizan macarrones humedecidos, de unos veinticinco milímetros de largo y unos tres mm de grosor, que se amasan manualmente haciéndolos rodar sobre una superficie lisa no porosa y absorbente, hasta que en los mismos se observe el desarrollo de grietas (empiece a cuartearse). En ese momento su humedad es la del límite plástico, determinándose tras su pesada y secado en estufa.<sup>10</sup>

**Límite de Contracción,** Se llama así al estado del suelo que sufre un proceso de transformación de un estado semisólido a uno sólido y empieza a perder humedad.

Asimismo, del Límite Líquido y Plástico se obtiene el IP (índice de plasticidad) la cual es la proporción que indica el rango de humedad que determina la consistencia plástica que el suelo posee. Es decir, si el índice de plasticidad es mayor significa

que contiene alto porcentaje de arcillas y si el índice de plasticidad es menor entonces hablamos de un suelo poco arcilloso. Tal y como muestra en el siguiente cuadro.

*Tabla 3 Tabla de índice de plasticidad*

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

### **Clasificación de suelos**

En el diseño de una carretera se toma en cuenta las precauciones adecuadas para precaver el paso de terrenos inadecuados o de baja calidad como cimientos de la explanación.<sup>39</sup>

La clasificación de suelos admite comprender las características mecánicas de un terreno, asignándole características geotécnicas del sector en el que se encuentra. De los métodos que existen para identificar un suelo, resaltan dos. El Unified Soil Classification System (SUCS) y el otro sistema ideado por el Highway Research Board (AASHTO).

Tabla 4 Tabla de Clasificación SUCS

Divisiones principales				Símbolo del grupo	Nombre clásico
1	2			3	4
Suelos de grano grueso Más de la mitad del material es mayor que el t. n°200	GRAVAS Más de la mitad de los gruesos es > 5mm	Para clasificación visual el tamiz n°4 equivale a 5 mm	Gravas limpias (poco ó ningún fino)	GW	Gravas bien graduadas, mezclas de grava y arena, poco ó ningún fino.
			Gravas con finos (apreciable cantidad)	GP	Gravas pobremente graduadas, mezclas de grava y arena, poco ó ningún fino.
			ARENAS Más de la mitad de los gruesos es < 5 mm	Gravas limosas, mezclas de grava, arena y limo.	
				Gravas arcillosas, mezclas de grava, arena y arcilla.	
	ARENAS Más de la mitad de los gruesos es < 5 mm		Arenas limpias (poco ó ningún fino)	SW	Arenas bien graduadas, arenas con grava, poco ó ningún fino.
			Arenas con finos (apreciable cantidad)	SP	Arenas pobremente graduadas, arenas con grava, poco ó ningún fino.
			Arenas limosas, mezclas de arena y limo.		
			Arenas arcillosas, mezcla de arena y arcilla.		
los de grano fino Más de la mitad del material es menor que el t. n°200	Limos y arcillas. Límite líquido menor que 50			ML	Limos inorgánicos de baja compresibilidad.
				CL	Arcillas inorgánicas de baja a media compresibilidad arcillas con gravas, arcillas arenosas, arcillas limosas
				OL	Limos orgánicos y arcillas limosas orgánicas de baja compresibilidad
	Limos y arcillas. Límite líquido mayor que 50			MH	Limos inorgánicos de alta compresibilidad
				CH	Arcillas inorgánicas de alta compresibilidad
				OH	Arcillas y limos orgánicos de media a alta compresibilidad.
Suelos altamente orgánicos				Pt	Turba y otros suelos altamente orgánicos

Tabla 5 Tabla de Clasificación AASHTO

Clasificación general	Material Granular ( 35% o menos del total pasa No.200)						
	A - 1		A - 3	A - 2			
	A - 1 - a	A - 1 - b		A - 2 - 4	A - 2 - 5	A - 2 - 6	A - 2 - 7
Análisis de tamices (porcentaje que pasa)							
No. 10	50 max.						
No. 40	30 max.	50 máx.	51 min.				
No. 200	15 max.	25 max.	10 max.	35 max.	35 max.	35 max.	35 max.
Características de la fracción que pasa No.40							
Límite líquido				40 max.	41 min.	40 max.	41 min.
Índice de plasticidad	6 max.		NP	10 max.	10 max.	11 min.	11 min.
Tipos usuales de materiales que consta	Fragmentos pétreos, grava, y arena		Arena fina	Limos o gravas arcillosas y arena			
Valoración general del subgrupo	Excelente a bueno						

**Humedad Natural.** Es un indicador inestable temporal. Su conducta en el espacio provisional está regida por otros factores tales como su composición granulométrica, los índices de poros, rajadura, densidades de la capa de suelos, interior de la capa freática.<sup>33</sup>

La determinación de humedad natural se comparará con la humedad adecuada obtenida de las pruebas Proctor para alcanzar el CBR del suelo. En caso la humedad natural es semejante o menor que la humedad adecuada, se selecciona la compactación en un estado normal del suelo y se proporcionará una porción adecuada de agua. Sin embargo, en caso de que la humedad natural sea más alta que la humedad adecuada, se aumentara energía de compactación o se reemplazara el material saturado.

**Ensayo Proctor.** El ensayo de Proctor simula en laboratorio el proceso de compactación en obra, a través de golpes en la masa de suelo. Su objetivo es establecer la densidad seca máxima y su capacidad de agua óptima del geo material. Esta prueba de laboratorio se encuentra normada por diversas instituciones entre ellas, la sociedad americana para pruebas materiales (ASTM).<sup>42</sup>



*Figura 8 Equipo para el ensayo Proctor*

**Subrasante.** Es la capa final de la carretera producto de la alteración de tierras (corte o relleno), la que sirve de cimiento a la estructura del asfalto.<sup>36</sup>

Presenta singulares propiedades según el tráfico de diseño previamente calculado. La capa puede estar comprendida por corte o relleno, y en cuanto se encuentre adherida, debe mostrar una idónea firmeza con el fin de tolerar las diferentes tensiones que se capta desde la superficie debido al efecto de las sollicitaciones. La solidez de esta capa se puede obtener también mediante la estabilización de suelos, aplicando ello en caso de que no aseguren la solidez que se requiere según el tipo de tráfico.<sup>1</sup>

**Ensayo de C.B.R.** es un método empírico de diseño de pavimento flexible. Es un ensayo con carga aplicada al terreno y usada en su mayoría en el estudio de suelos con el propósito de diseñar el asfalto de la carretera. El indicador de CBR alcanzado en este ensayo es producto de distintos procedimientos de delineación de pavimentos flexibles.<sup>28</sup>

La prueba CBR es la más usada en el estudio vial, su propósito es medir la solidez del suelo, aunque estos productos adquiridos no muestren algo exacto y definido. Es decir, para el tipo de suelo muy arcillosos se considera como muy productivo, debido a que estos suelos llegan a hincharse con el tiempo.<sup>34</sup>

En la subsiguiente tabla se observa el índice correcto del CBR:

*Tabla 6 Categoría de la subrasante*

Categorías de Subrasante	CBR
S <sub>0</sub> : Subrasante Inadecuada	CBR < 3%
S <sub>1</sub> : Subrasante Pobre	De CBR ≥ 3% A CBR < 6%
S <sub>2</sub> : Subrasante Regular	De CBR ≥ 6% A CBR < 10%
S <sub>3</sub> : Subrasante Buena	De CBR ≥ 10% A CBR < 20%
S <sub>4</sub> : Subrasante Muy Buena	De CBR ≥ 20% A CBR < 30%
S <sub>5</sub> : Subrasante Excelente	CBR ≥ 30%

*Fuente: Manual de suelos, Geología, Geotecnia y pavimentos*

## **Estabilización De Suelos**

Consiste en cambiar algunas de sus propiedades no deseadas para el propósito requerido que queremos darle a dicho suelo. Por ende, si la función del suelo será usada como apoyo de una cimentación, sea cual sea su función, las principales propiedades no deseadas de una arcilla plástica serán: Un Índice de plasticidad demasiado alto significaría un alto valor de expansión, y su capacidad para aguantar cargas sería demasiado bajo.<sup>27</sup>

### **Estabilización Física - Mecánica**

Primero se emplea la estabilización física donde se realiza un correcto diseño de mezclas para la tierra con el fin de tener una composición granulométrica óptima; posteriormente la estabilización mecánica es la cual se somete a la mezcla de tierra a una prensa hidráulica<sup>26</sup>

### **Estabilización por compactación**

Se realiza a través de la compresión del suelo que tiene presencia de humedad para reducir la proporción de cavidades y aumentar la fricción interna y, por lo tanto, aumentar su capacidad de soporte. Al comprimir el suelo mejorará la densidad, la estabilidad y reducirá la contracción del suelo.

### **Estabilización por combinación de suelos**

Es la unión o mixtura de un material efectivo y material de préstamo. Se debe realizar un corte y extraer 15 cm en el piso existente y luego colocar el material del préstamo. Esta mezcla debe alcanzar la humedad de compactación óptima. Un ejemplo de este tipo de estabilización es cuando tenemos un suelo de grano grueso, este tipo de suelo tiene una alta fricción interna que puede soportar un gran esfuerzo, pero no tiene una cohesión entre sus partículas, por lo tanto, no puede ser estable como una superficie rodante en el camino

### **Estabilización por sustitución de suelos**

Este tipo de estabilización consiste en eliminar el material base porque no tiene buenas propiedades físicas y mecánicas y reemplazarlo con material de cantera. Se pueden considerar dos casos para este tipo de sustitución: el primero, donde el

lecho de sustrato se construye en el terreno natural y como segundo caso es el de cavar el suelo original y reemplazarlo con material agregado.

### **Estabilización Química**

Se llama estabilizador químico de suelos al elemento químico usado para agregarlo al suelo y mejorar sus características requeridas. Esta se da ya que una porción de mecanismos entre los que están incluidos el incremento de la compactación, densidad, portadores de resistencia, partículas vinculantes al suelo que disminuyen el sentido del mismo a cambios tales como el contenido de humedad óptimo, disminuyendo su cantidad de agua posible a incorporarse al suelo, así convirtiéndolo en un elemento impermeable.<sup>26</sup>

### **Estabilización con Cal**

la estabilización con cal es usada principalmente en suelos arcillosos, lo cual baja considerablemente su plasticidad y contrarresta en gran parte la humedad de los suelos.<sup>14</sup>

El cal requerido en este tipo de estabilización de terreno natural son el CaO o el hidróxido de calcio y deben cumplir con los requisitos establecidos.

### **Estabilización con Cemento**

La estabilización con cemento se lleva a cabo principalmente cuando se desea elevar la capacidad de soporte del terreno e incrementar la resistencia que el suelo ofrece a la erosión. La ración de cemento empleada está sujeta al tipo de superficie a estabilizar, determinándose en laboratorios, con pruebas de rigidez y de perdurabilidad con probetas en diferentes porciones de cemento.<sup>19</sup>

Tabla 7 Tabla de proporciones de cemento para la estabilización de suelos

Clasificación de Suelos según AASHTO	Rango usual de cemento requerido Porcentaje del peso de los suelos
A-1-a	3-5
A-1-b	5-8
A-2	5-9
A-3	7-11
A-4	7-12
A-5	8-1
A-6	9-15
A-7	10-16

Fuente: Federal Highway Administration

### **Estabilización con Asfalto**

El asfalto que ha perdido las características principales, puede ser recuperado a través, del reciclaje, agregándole un porcentaje de asfalto nuevo o se puede estabilizar para dejarla como base estabilizada.<sup>14</sup>

La mezcla con el asfalto depende principalmente de la granulometría del suelo. Cuando hay un exceso de asfalto en el suelo, las partículas pueden lubricarse y el rozamiento interno disminuye, lo que resulta en un suelo poroso e inestable.<sup>37</sup>

### **Estabilización con Ceniza de Madera**

La ceniza es el resultado de la reacción química producto de la quema de cualquier insumo que tenga propiedades inorgánicas (madera). A menudo esta suele mezclarse con impurezas de otros minerales.

### **Origen y Obtención de la Ceniza de Madera**

En la provincia de huamanga existen un total 117 empresas que se encargan de la elaboración del ladrillo artesanal, estas empresas ladrilleras generalmente se encuentran dentro del distrito de Pacaicasa, provincia de Huamanga, como se indica en el siguiente cuadro.<sup>34</sup>

Tabla 8 Distribución de ladrilleras artesanales en Ayacucho

Departamento	Provincia	Distrito	Anexo	N° de Ladrilleras
Ayacucho	Huamanga	Pacaicasa	La Compañía	70
Ayacucho	Huamanga	Pacaicasa	Huayllapampa	15
Ayacucho	Huamanga	Pacaicasa	Orcasitas	20
Ayacucho	Huamanga	Pacaicasa	Lagunillas	6
Ayacucho	Huamanga	Pacaicasa	Ocopa	3
Ayacucho	Huamanga	Pacaicasa	Paraíso	3
Total				117

Fuente: Informe Económico

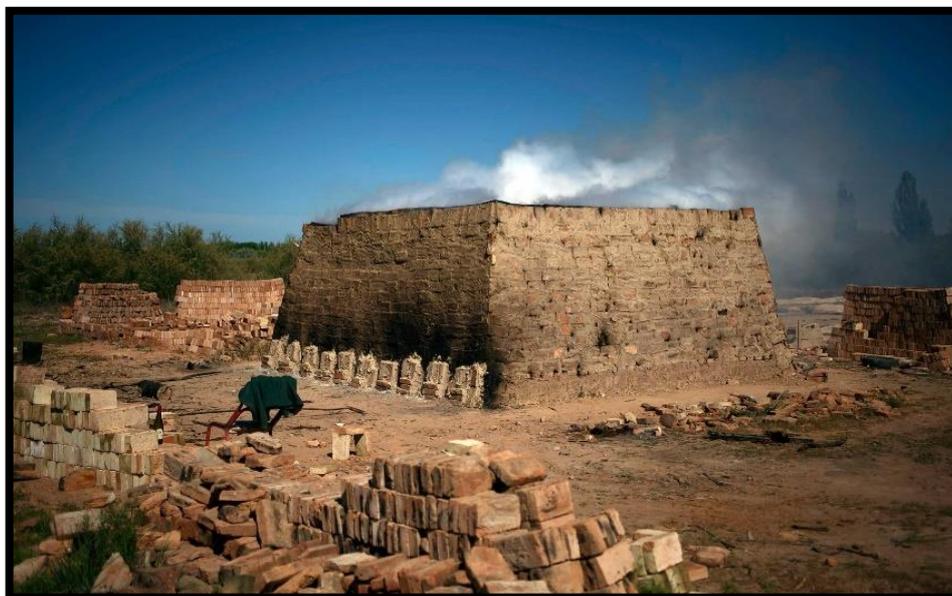


Figura 9 Ladrillera Artesanal en la región de Ayacucho

### Proceso de Fabricación de los Ladrillos

Las ladrilleras artesanales como aquellas ladrilleras que tiene como producción la mano de obra directa durante todo su proceso, estableciendo una línea de producción de la siguiente manera:<sup>48</sup>

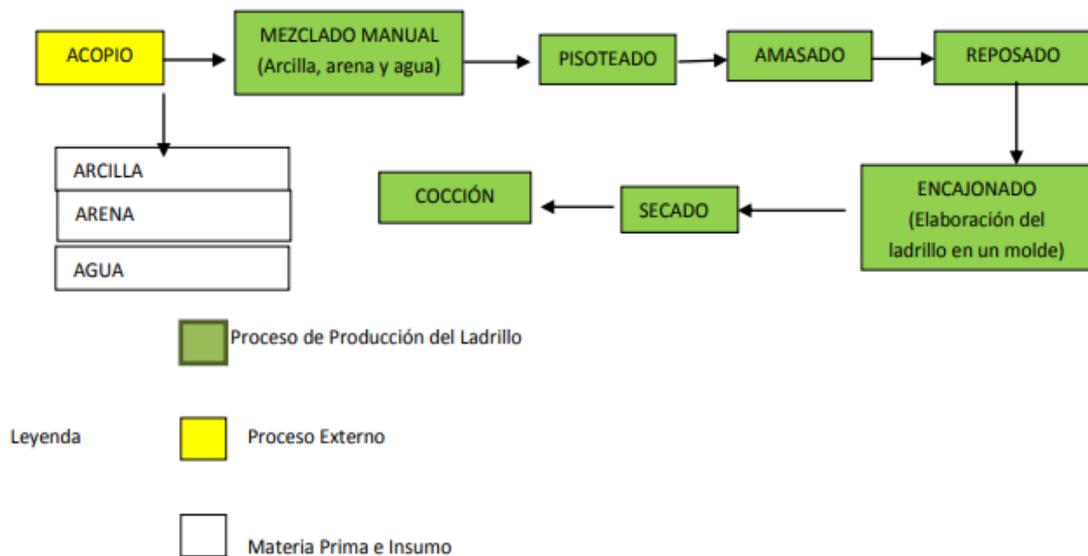


Figura 10 Proceso de Fabricación de los Ladrillos

El procedimiento que se requiere para la fabricación artesanal es ligeramente simple, requiere de poco apoyo mecánico, sin embargo, es imprescindible la utilización de mano de obra. La etapa fundamental de la elaboración de dichos ladrillos es la quema de estas, para este procedimiento se requiere hornos tipo volcán o colmena, para lograr estas condiciones se necesita una mínima inversión en la construcción; el elemento utilizado para la quema en estas construcciones artesanales está sujeta a dichos elementos que contribuirán con la colisión y se encuentren disponibles en el lugar; debido a esto generalmente se utiliza leña y carbón para la producción de ladrillos.<sup>31</sup>

### Ceniza de Madera

Son restos producto de la quema de carbón que se muestra en partículas en centrales térmicas, este proceso químico se puede clasificar cenizas de fondo, cenizas volantes y combinados; las cenizas volante son restos que se hallan al límite inferior de las calderas estos se caracterizan por tener un tamaño mayor a 0.075 milímetros (obstruidas en la malla N°200), este residuo generalmente se usa como material de relleno en vista de que no cuenta con un alto nivel puzolánico; las cenizas de fondo son residuos retenidos en el filtro de las calderas, estos son de menor tamaño a las cenizas volantes ya que cuenta con un diámetro menor a 0.075 milímetros (logran pasar la malla N° 200)<sup>44</sup>

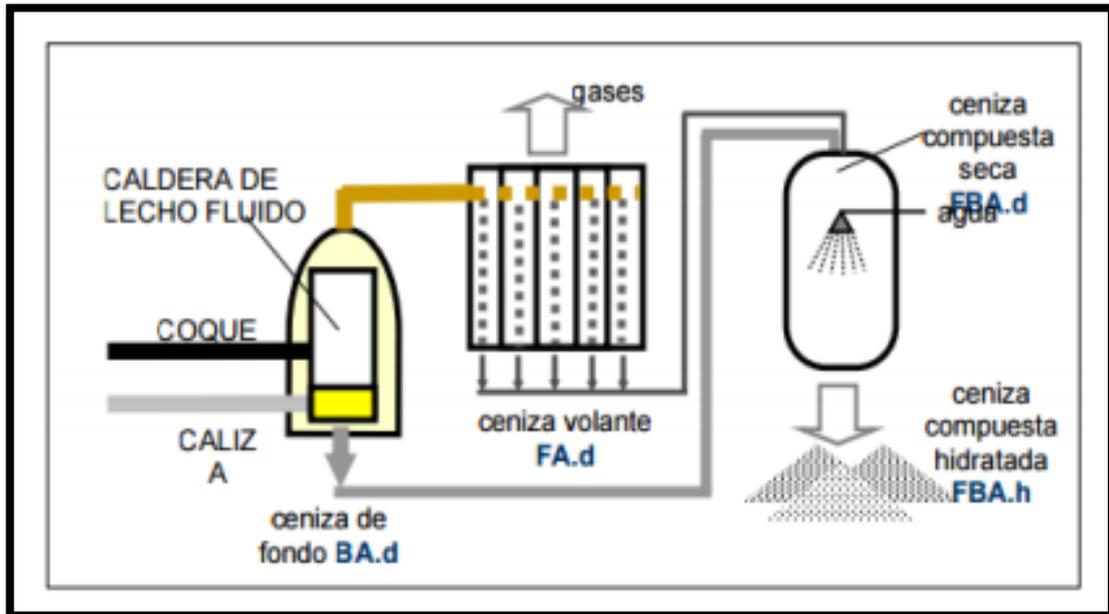


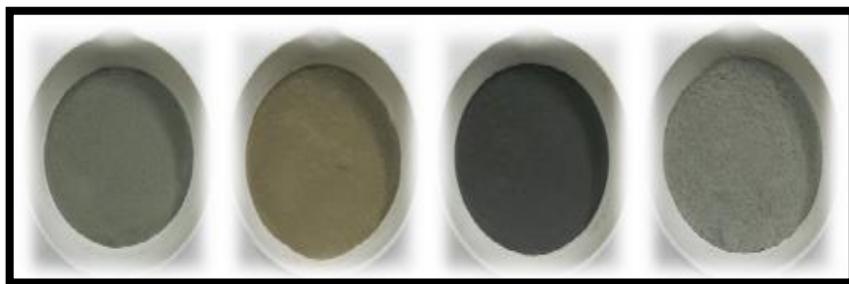
Figura 11 Esquema del proceso de obtención de cenizas

## Ceniza volante

### Propiedades Físicas

Es un material utilizado ampliamente en estados unidos debido a la utilidad que se le da ya que es un material cementante suplementario, este material surge del producto de la quema del carbón pulverizado en las plantas que generan electricidad. Bajo la combustión en el horno, generalmente la materia volátil y el carbono del carbón se incineran. En el proceso de la combustión los residuos minerales del carbón (como son la arcilla, feldespato, cuarzo y esquistos) se adhieren en suspensión y se movilizan al exterior de la cámara debido a los gases de escape.<sup>25</sup>

Este tipo de cenizas suelen encontrarse en forma de arena o polvo con mucha fineza, suave al tacto con un color gris claro, según la relación entre el hierro y carbón sin quemar. Sus propiedades físicas y cualidades dependen de algunos factores entre los que destacan su estructura química de los componentes incombustibles del carbón, el nivel de pulverización, el tipo de caldera, el temple de la combustión, el tipo de colectores empleados.<sup>12</sup>



*Figura 12 Variaciones de cenizas volantes*

Generalmente la textura fina que se encuentra en las cenizas volantes (sin moler), es similar al cemento Portland ordinario, la dimensión de esta partícula mide entre 0.2 y 200 micras de grosor, solo en algunas ocasiones, llegan a medir hasta 500 micras. La consistencia total es de 0.89 g/cm<sup>3</sup> aprox. y la gravedad específica de las moléculas finas varía entre 2.0 y 2.9 g/cm<sup>3</sup>.

La humectación está sujeta a la estructura en que estas se encuentren una vez retirado del filtro y precipitadores. En caso se necesite maximizar el uso de estas cenizas se recopilará de la salida del filtro, con el propósito de reducir al máximo su contenido de agua.

### **Propiedades Químicas**

La estructura química de las cenizas volantes es muy cambiante y estas dependen de la estructura química de la composición de la madera. La cantidad en que se presenta los componentes de las cenizas difieren significativamente unas de otras.<sup>12</sup>

En su mayoría estas cenizas se encuentran en un mínimo de 70% y en un máximo de 5% de los compuestos de Sílice (SiO<sub>2</sub>), Oxido de Aluminio (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), Oxido de férrico (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)<sup>44</sup>

Tabla 9 Composición de la ceniza de madera

Componentes	Cantidad, %
Silice (SiO <sub>2</sub> )	49,10
Oxido de aluminio (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	26,18
Oxido férrico (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	14,63
Oxido de magnesio (MgO)	1,13
Oxido de calcio (CaO)	5,84
Trióxido de azufre (SO <sub>3</sub> )	0,58
Oxido de sodio (Na <sub>2</sub> O)	1,52
Cloruros (Cl <sup>-</sup> )	Trazas
Oxido de potasio (K <sub>2</sub> O)	0,77
Pérdida por calcinación	1,27
Residuo insoluble	77,31

### Ceniza de Fondo

#### Propiedades Físicas

Esta ceniza tiene en su estructura moléculas de forma angular, presenta una textura muy porosa y áspera en su superficie. La dimensión de la partícula oscila entre las gravas finas y arena fina, con un bajo índice de finos; En su mayoría es un material clasificado en el que predomina la dimensión de la arena fina.



Figura 13 Variaciones de cenizas de fondo

Esta ceniza involucra una parte gruesa de ceniza que se genera en la parte inferior y la cámara de quema primaria. Generalmente se encuentra combinado con escorias de minerales que se encuentran en el combustible.<sup>12</sup>

## Propiedades Químicas

La estructura química de las cenizas de fondo es similar a la ceniza volante y está sujeta principalmente del tipo de madera empleado. Estas se clasifican por su componente primordial, en silíceas, en caso de  $\text{SiO}_2$  o calcáreas, en caso de  $\text{CaO}$ . Para determinar con mayor precisión la estructura de las partículas de ceniza se requiere de un ensayo precisado en el siguiente párrafo.

**Ensayo de Difracción de Rayos X.** En la actualidad esta prueba es fundamental ya que se utiliza en la composición de la microestructura de materiales. El engrosamiento del perfil de difracción es la consecuencia de los efectos como son: La reducción de la dimensión del dominio respecto a la difracción (generalmente presentan una dimensión cristalina en materiales microestructurados) y apariencia de imperfecciones cristalinas como las fallas de hacinamiento.<sup>2</sup>

Es así que este ensayo tiene una gran importancia en la ciencia de nuevos materiales. Debido a que los paradigmas del DRX son altamente sensitivos a la configuración y orientación cristalográfica, variación de fase, imperfección en la estructura, composición química, etc. que son fundamentales en los valores de alteración.<sup>16</sup>



Figura 14 Equipo de Laboratorio para Difracción de Rayos X

### **Uso de las cenizas de madera**

Se realizaron diversas investigaciones en el campo de la construcción, singularmente en la elaboración del concreto ya que posee características similares a las del cemento, todo ello teniendo en cuenta el alcance de las cenizas y la capacidad de hacer uso de sus características puzolánicas.

Generalmente su utilidad se da en: Adición de cenizas de hormigón, fabricación del cemento portland, agregados livianos, estabilidad del suelo, terraplenes y rellenos, combinaciones asfálticas y otros.



*Figura 15 Ceniza de madera ubicado al interior de la ladrillera*

### **Ventajas de usar Cenizas de madera**

Las cenizas de madera tienen muchas ventajas en el rubro de la construcción ya que este contiene componentes cementantes como:  $\text{CaO}$  (Oxido de calcio) y el  $\text{SiO}_2$  (Oxido de Silice).

La utilidad de la ceniza toma protagonismo si se emplea como material de relleno, esto debido a las grandes cantidades esto debido a la extensa magnitud que involucran las obras de tierra y asimismo reduciríamos los vertederos de cenizas con la finalidad de mejorar el medio ambiente.

La ventaja más notoria que podemos percibir al utilizar las cenizas de madera como material estabilizante es referente a costos ya que estabilizando con cenizas nos reduce el costo de transporte al traer material de cantera y sustituir la subrasante.

La utilidad de las partículas de carbón en la producción de cemento y hormigones simboliza de igual forma un valor agregado para el medio ambiente ya que ampara el consumo de las materias primas y recursos naturales.

### **Desventajas de usar Cenizas de madera**

Como desventaja podemos decir que este material es cambiante en las propiedades de su composición, la cual genera dificultad para considerarla un insumo uniforme. Por lo general en una misma obra debemos abastecernos con diferentes partidas de ceniza que cuenten con diferentes propiedades de cohesión, respecto a la humedad adecuada y densidad seca, se muestran generalmente distintas. Entonces cada partícula de carbón debe adherirse con una humedad más cercana al adecuado respectivo.<sup>12</sup>

Por otro lado, las superficies de este material apisonado pueden deteriorarse con el aire y con el agua. Ya que el aire genera dificultades en el traslado, acopio, extendido y apisonado. La dimensión de las partículas y la falta de adherencia original son las causas de la vulnerabilidad al desgaste de este componente.

### **iii. METODOLOGÍA**

### III. METODOLOGÍA

#### 3.1. Tipo y Diseño de la investigación

**Tipo de investigación:** La investigación aplicada se esfuerza por aplicar los conocimientos adquiridos al problema o intervenir en situaciones, proporcionar soluciones prácticas y controlar la situación en la vida diaria.<sup>9</sup>

La investigación es de tipo **Aplicada**, principalmente porque se aplican y se utilizan los conocimientos que se adquieren a diario y a su misma vez se adquieren otros.

**Diseño de investigación:** El diseño es observacional, es un tipo de investigación especificada de manera estadística lo que limita la experimentación al respecto. La peculiaridad de esta es que los investigadores se mantengan al margen de las variables que están situadas en investigación

Asimismo, la investigación presenta un diseño **no experimental** ya que no se realiza una manipulación intencional de las variables, esta investigación es empírica y sistemática, en la cual la variable independiente no se manipula, pues ya han sucedido en el entorno natural <sup>22</sup>

El proyecto de investigación adapta un diseño **Observacional** ya que se usaron resultados de tesis para una variable de investigación de igual manera presenta un diseño **No experimental** ya que no se manipulo la variable independiente.

La investigación no experimental se clasifica en dos tipos transversal y longitudinal. La investigación **transversal** se caracteriza por recopilar datos en un tiempo determinado, ya que su fin es definir las variables y analizar los datos en un momento dado.<sup>22</sup>

Para esta investigación para recolección de datos se tomará en cuenta 2 tesis para determinar los ensayos dados en este trabajo de estudio.

**Investigación de enfoque cuantitativa:** se recopilará fuentes, datos de diferentes teorías relacionadas con la variable, bueno eso implica cuadros estadísticos herramientas de programas en este caso el Excel como ayuda fundamental para este estudio de trabajo de investigación.

### **3.2. Variables, Operacionalización de Variables**

La operacionalización de variables empleada en este estudio es importante, puesto que permite estructurar partiendo de la teoría en y depende de la naturaleza del objeto de estudio, los componentes principales del diseño teórico metodológico y sus relaciones, para ello es importante realizar la evaluación efectiva de las mismas, en otras palabras, es importante seguir con el proceso de problematización que debe iniciar desde los primeros momentos de la investigación.<sup>15</sup>

las variables de la investigación son particularidades y propiedades cuantitativas o cualitativas respecto a un objeto o fenómeno que obtienen diferentes valores, o sea, son variables respecto a las unidades de observación.<sup>8</sup>

**Variable Independiente:** “Las cenizas de madera(carbón) son residuos de la combustión de carbón pulverizado en centrales térmicas, esta combustión se subdivide en cenizas de fondo, cenizas volantes (definidas así por la norma ASTM) y combinados.”<sup>44</sup>

**Variable Dependiente:** “La estabilización de los suelos o tierras consiste en dar estabilidad al sustrato fijándolo y garantizando la permanencia de su compactación. Se transforma el suelo del que se dispone en material de construcción de calidad especialmente en parcelas de tierra, caminos y lagos artificiales.”<sup>19</sup>

### **3.3. Población, Muestra y Muestreo**

**Población.** Es la agrupación de individuos, fenómenos u objetos en los que se tiene previsto o se desea conocer algo en un estudio investigativo. "El universo o población puede estar integrado por diversos elementos todos ellos tangibles tales como personas, registros médicos, los nacimientos, animales, los accidentes viales, muestras de laboratorio entre otros".<sup>30</sup>

En esta investigación, se tomará como población todos los ensayos de mecánica de suelos, presentados en la siguiente tabla

*Tabla 10 Ensayos de Mecánicas de suelos*

Nombre del ensayo	Uso	Método MTC	Ensayo ASTM	Propósito del ensayo
Análisis Granulométrico por Tamizado	Clasificación / Agregados	E-109 / E-204	D - 422 / C-136	Para determinar la distribución del tamaño de partículas del suelo y de agregados.
Contenido de Humedad	Clasificación	E-108	D - 2216	Determina el contenido de humedad natural de suelos y agregados.
Límite Líquido	Clasificación	E-110	D - 4318	Hallar el contenido de agua entre los estados Líquido y Plástico.
Límite Plástico	Clasificación	E-111	D - 4318	Hallar el contenido de agua entre los estados plásticos y semi sólido.
Índice Plástico	Clasificación	E-111	D - 4318	Hallar el rango de contenido de agua por encima del cual, el suelo está en un estado plástico.
Material que pasa Malla N° 200	Clasificación	339.112(*)	C - 117	Determinar la cantidad de material fino que pasa por el tamiz N° 200, tales como arcillas, agregados muy finos y materiales solubles en el agua.
Peso Unitario	Calidad Agregados	E-203	C - 29	Determinar el peso unitario suelto o compacto y el porcentaje de vacío de los agregados.
Equivalente de Arena	Calidad Agregados	E-114	D - 2419	Determinar la porción relativa del contenido de polvo fino nocivo en los agregados.
Durabilidad	Calidad Agregados	E-209	C - 88	Determinar la resistencia a la desintegración de los agregados sometidos a la acción de los agentes atmosféricos.

Abrasión de los Ángeles	Calidad Agregados	E-207	C -131 / C - 535	Determinar la resistencia al desgaste de agregados naturales o triturados, de tamaño menores de 1 ½".
Peso Especifico y Absorción – Agregado Grueso	Calidad Agregados	E-206	C-127	Determinar los pesos especificos aparente y nominal de agregados con tamaño igual o mayor a 4.75 mm.
Peso Especifico y Absorción – Agregado Fino	Calidad Agregados	E-205	C-128	Determinar el peso especifico aparente y real a 23°C de los agregados con tamaño inferior a 4.75 mm.
Compactación Próctor Modificado	Diseño de Espesores	E-115	D-1557	Determina la Máxima Densidad Seca y el Contenido de Humedad Óptimo
Valor Relativo de Soporte (CBR)	Diseño de Espesores	E-132	D-1883	Determinar la capacidad de carga. Permite inferir el módulo resiliente.
Adherencia del Bitumen-Agregado	Calidad de Agregados	E-519	D-2489	Determina el grado de cubrimiento de las partículas del agregado en una mezcla bituminosa.
Adhesividad de los Áridos Finos (Riedel Weber)	Calidad de Agregados	E-220	-	Determinar la adhesividad de los ligantes bituminosos a los áridos, arenas naturales.
Sales Solubles en agregados para pavimentos flexibles	Calidad de Agregados	E-219	-	Describe el procedimiento que debe seguirse para determinar el contenido de sales en agregados
Contenido de Impurezas Orgánicas	Calidad de Agregados	E-213	C-40	Determinar la presencia y el contenido de materia orgánica en el agregado fino
Contenido de Cloruros	Calidad de Agregados	-	339.177(**)	Determinar la presencia y el contenido de materia orgánica en el agregado fino
Contenido de Sulfatos	Calidad de Agregados	-	339.178(**)	Determinar la presencia y el contenido de materia orgánica en el agregado fino
Determinación del Potencial de Hidrogeno PH	Calidad de Agregados	E-129	339.176(**)	Determinar el potencial de hidrogeno en una muestra de suelos.
Carbón y Lignito o partículas livianas en el agregado.	Calidad de Agregados	E-211	C-123	Determinar la presencia partículas livianas en el agregado mediante separación por suspensión.
Terrones de Arcilla y Partículas Desmenuzables	Calidad de Agregados	E-212	C-142	Determinar en forma aproximada la presencia terrones de arcilla y partículas desmenuzables.

*Fuente: informe final de estudio de suelos, canteras y diseño de pavimento en tramo I*

## Muestra

Una muestra puede ser o no significativa, si esta fue elegida al azar, es decir todos los elementos de la población blanco tienen la misma posibilidad de pertenecer a la muestra. <sup>41</sup>

Los ensayos de laboratorio que se tomara en cuenta para este estudio. Son 6: Los ensayos clasificación de suelos, granulometría, clasificación de suelos (SUCS - AASHTO), Humedad Natural, límites de Atterberg, Proctor modificado y C.B.R.

Estos ensayos están detallados y explicado en el marco teórico de este trabajo de investigación.

### **Muestreo:**

Existen dos grandes grupos de procedimientos para la selección del muestreo: Los muestreos probabilísticos o aleatorios y muestreo no probabilístico. Estos dos muestreos difieren en la utilidad de los métodos estadísticos empleadas en la selección de los sujetos.<sup>5</sup>

Para este estudio de trabajo es de tipo no probabilístico, ya que se eligió 2 tesis que van acorde con el estudio de esta investigación que se desea comprobar y su desarrollo en sus resultados.

### **3.4. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos, Validez Y Confiabilidad**

**Técnicas:** El enfoque es cuantitativo se elabora por la observación, es una de las técnicas más esenciales, además se utiliza dos tipos; observación sistemática se describe a la recolección de datos que se basa en procedimientos determinados, permitiendo al investigador observe a lo sucedido sin que intervenga de forma directa y la observación participante se interactúa al suceso que se observa <sup>45</sup>

**Instrumentos de recolección de datos:** “Los instrumentos empleados en el desarrollo de esta investigación, nos ayudaran a obtener la muestra del suelo para luego guiar hasta el laboratorio y nos den toda la obtención de los datos”.<sup>9</sup>

el principal instrumento es el programa Excel, que se tomara tablas y las recolecciones de datos se sumara para determinar los objetivos de esta investigación.

**Validez:** “Esta característica de los instrumentos que se utilizarán en la investigación es que miden con precisión y autenticidad todo el resultado que desea medir para una variable”<sup>9</sup>

En esta investigación se usó la validez racional debido a los problemas sociales que actualmente está pasando en el Perú, por lo que se decidió extraer los resultados de dos tesis sobre estabilización de suelos arcillosos, se determinaron por fichas técnicas que fueron validadas a través de ingenieros especializados en la materia, los instrumentos y el manual de carreteras del MTC.

### **DATOS DE VALIDACIÓN**

**TESISTA 1:** Goñas Labajos, Olger

**TITULO DE TESIS:** “Estabilización de suelos con ceniza de carbón para su uso como subrasante mejorada”.

**UNIVERSIDAD:** TORIBIO RODRIGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS

**AÑO:** 2019

**TESISTA 2:** Cañar Tiviano, Edwin Santiago

**TITULO DE TESIS:** “Análisis comparativo de la resistencia al corte y estabilización de suelos arenosos finos y arcillosos combinadas con ceniza de carbón”.

**UNIVERSIDAD:** TECNICA DE AMBATO

**AÑO:** 2017

*Tabla 11 Medidas de Validez*

<b>Interpretacion</b>	<b>Alfa de crobach (<math>\alpha</math>)</b>
Validez nula	0.53 a menos
Validez baja	0.54 a 0.59
Valida	0.60 a 0.65
Muy valida	0.66 a 0.71
Excelente validez	0.72 a 0.99
Validez perfecta	1.00

*Fuente: Osada (2011)*

### **3.5. Procedimiento**

#### **Etapa 1:** Acopio de materiales

Para esta investigación se recopiló información de 2 tesis y usaremos los materiales utilizados por estas tesis para la elaboración de los ensayos, los materiales utilizados son básicamente 2: suelos arcillosos de sus zonas de estudio y ceniza de carbón (madera) obtenida de ladrilleras artesanales.

#### **Etapa 2:** Dosificación

Para obtener nuevas dosificaciones y resultados se aplicará el método de interpolación lineal y promedio a las dosificaciones usadas en las 2 tesis anteriormente mencionadas.

Para la 1ra tesis sus dosificaciones fueron de: 15%, 20% y 25%

Para la 2da tesis sus dosificaciones fueron de: 20%, 23% y 25%

Aplicamos el método de interpolación entre los resultados de las 2 primeras dosificaciones(15% y 20%) y obtuvimos un nuevo resultado para una dosificación de 17%, de la misma manera interpolamos los resultados de las otras dosificaciones(20% y 23%) y obtuvimos un nuevo resultado para una dosificación de 21% y respecto a los resultados de las últimas dosificaciones(25% y 25%) aplique un promedio entre ellas y obtuve un resultado promedio(25%) que nos servirá para visualizar si el promedio cumple o no como estabilizante de un terreno arcilloso.

#### **Etapa 3:** Expediente técnico de la zona de estudio

Para corroborar que el tipo de suelo de las tesis anteriormente mencionadas sean similares (suelo arcilloso) al tipo de terreno de la zona de estudio, se obtuvo un expediente técnico de la zona elaborado en marzo del 2019 que lleva como título “Rehabilitación y mejoramiento del camino vecinal Antarumi-Macachacra-Motoyccochoa-Pumahuasi-Quispicancha. Distrito de Iguain, Provincia de Huanta-Ayacucho” (Ver Anexo) con el cual hicimos una comparativa de sus ensayos para verificar la similitud.

#### **Etapa 4:** Ensayos y comparativa con el expediente técnico de la zona de estudio

Para verificar la similitud entre las tesis que usaremos para la investigación y el expediente técnico de la zona de estudio comparamos los resultados de ensayos realizados según la norma del MTC y ASTM presentados en la siguiente tabla.

*Tabla 12 Ensayos para la comparativa con el expediente técnico*

<b>ENSAYO</b>	<b>NORMA MTC</b>	<b>NORMA ASTM</b>
Análisis Granulométrico por tamizado	MTC E 107	ASTM-D-422
Determinación de Limite Liquido	MTC E 110	ASTM-D-423
Determinación de Limite Liquido	MTC E 111	ASTM-D-424
Clasificación de SUCS		ASTM-D-2487
Clasificación AASHTO		ASTM-D-3282

**Etapas 5:** Interpolación de los resultados para las nuevas dosificaciones

Efectuamos el método de interpolación lineal entre los resultados de los ensayos de las 2 tesis y obtuvimos nuevos resultados para las nuevas dosificaciones (17%, 21% y 25%) de esta investigación. Los ensayos que consideramos fueron realizados según la norma del MTC y ASTM y las fichas técnicas serán colocadas en la sección de anexos.

Los ensayos realizados para nuestros indicadores son los siguientes:

*Tabla 13 Ensayos usados para la interpolación lineal*

<b>ENSAYO</b>	<b>NORMA MTC</b>	<b>NORMA ASTM</b>
Determinación de Limite Liquido	MTC E 110	ASTM-D-423
Determinación de Limite Liquido	MTC E 111	ASTM-D-424
Determinación Humedad-Densidad (P. Modificado)	MTC E 115	ASTM-D-1557
Ensayo de Relación de Soporte de California (CBR)	MTC E 132	ASTM-D-1883

### **3.6. Método de Análisis de Datos**

Existen varios programas para analizar datos. En esencia, su función es muy similar, incluyen dos partes en segmentos, una parte de definiciones variables y la matriz de datos.<sup>22</sup>

Esto nos hace comprender que para llevar a cabo un proyecto de investigación debemos usar programas que puedan procesar los datos que obtendremos de la investigación, para que se utilicen programas como Excel, además de usar este software, debemos verificar e interpretar los resultados descartados realizados por cada objetivo.

### **3.7. Aspectos éticos**

Para esta investigación se tomará los estudios y aportes de toda la vida universitaria y de recolección de datos. Con ayuda de investigación y del asesor daremos a este estudio un trabajo de calidad para futuros aportes de estudios y apoya para otros estudiantes o investigadores.

Daremos a conocer con claridad todos los aspectos investigados para poder resolver las variables y determinar los resultados con claridad.

## **IV. RESULTADOS**

## IV. RESULTADOS

### 4.1 Desarrollo del procedimiento

Descripción de la zona de estudio

UBICACIÓN: La zona de estudio está ubicada en la región de Ayacucho, Provincia de Huanta, distrito de Iguaín.



Figura 16 Mapa de la Región de Ayacucho



Figura 17 Mapa de la Provincia de Huanta

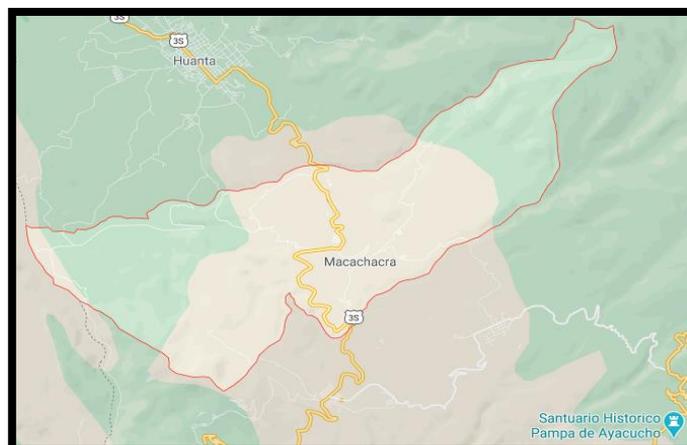


Figura 18 Mapa del Distrito de Iguaín

### **Etapa 1: Acopio de Materiales**

Para la siguiente investigación usaremos 2 tesis diferentes. Tesis 1 que tiene como título: “Estabilización de suelos con ceniza de carbón para uso como subrasante mejorada” que de ahora en adelante será tesis 1, que tomara 2 calicatas y usaremos solo la muestra 2 para los ensayos y la Tesis 2 que tiene como título: “Análisis comparativo de la resistencia al corte y estabilización de suelos arenosos finos y arcillosos combinadas con ceniza de carbón” que ahora será tesis 2, que realizo 2 calicatas y tomara solo la muestra 2.

Materiales que usaron para la tesis 1:



*Figura 19 Extracción de suelo arcilloso muestra 2 (tesis de Goñas)*

*Fuente: Goñas (2019)*



*Figura 20 Recojo de la ceniza de madera (tesis de Goñas)*

*Fuente: Goñas (2019)*

Materiales que usaron para la tesis 2:



*Figura 21 Adquisición de la muestra de suelo arcilloso*

*Fuente: Cañar (2017)*



*Figura 22 Ceniza de carbón para la dosificación*

*Fuente: Cañar (2017)*

## Etapa 2: Dosificación

Para la siguiente investigación tomaremos como referencia las dosificaciones usadas en las tesis anteriormente mencionadas y usaremos el método de interpolación lineal para obtener nuevas dosificaciones y comprobar los resultados.

La fórmula de interpolación que usaremos para sacar nuestros resultados será la siguiente:

$$y = \frac{(x - x_1)}{(x_2 - x_1)} (y_2 - y_1) + y_1$$

Figura 23 Formula de interpolación lineal

Tabla 14 Dosificaciones

Tesis 1	Dosificaciones Nuevas	Tesis 2
Dosificaciones		Dosificaciones
15%	17%	20%
20%	21%	23%
25%	25%	25%

Fuente: Elaboración Propia

## Etapa 3: Expediente técnico de la zona de estudio

Para verificar el tipo de suelo de la zona de estudio se adquirió un expediente técnico realizado el mes de mayo del 2019 que lleva como nombre “Rehabilitación y mejoramiento del camino vecinal Antarumi-Macachacra-Motoyccochoa-Pumahuasi-Quispicancha. Distrito de Iguaín, Provincia de Huanta-Ayacucho”

## Resultados obtenidos del expediente técnico

### Análisis Granulométrico

Tabla 15 Análisis granulométrico de la zona de estudio

EXPEDIENTE TECNICO					
GRANULOMETRIA DE SUELOS					
Tamiz	Abertura	PESO	% RETEN	%RETEN	%QUE
ASTM	(mm)	RETENIDO (gr)	PARCIAL	ACUMULADO	PASA
2"	50.800			0.00	100.00
1 1/2"	38.100			0.00	100.00
1"	25.400			0.00	100.00
3/4"	19.050			0.00	100.00
3/8"	9.525	4.00	0.31	0.31	99.69
N° 4	4.760	14.00	1.09	1.41	98.59
N° 10	2.000	21.00	1.64	3.05	96.95
N° 40	0.426	16.00	1.25	5.70	94.30
N° 200	0.074	5.00	0.39	8.13	91.87

Fuente: Elaboración Propia

### Clasificación de suelos

Tabla 16 Clasificación de suelos de la zona de estudio

CLASIFICACIÓN			
SUCS		AASHTO	
GRUPO	MATERIAL	GRUPO	MATERIAL
MH	Limos inorganicos, limos micaceos o diatomaceos, mas elasticos	A-7-5(14)	Suelo arcilloso

Fuente: Elaboración Propia

## Límites de Consistencia

Tabla 17 Límites de consistencia de la zona de estudio

LÍMITES DE CONSISTENCIA		
LÍMITE LIQUIDO	LÍMITE PLASTICO	ÍNDICE DE PLASTICIDAD
51.82	33.2	18.62

Fuente: Elaboración Propia

## Etapa 4 Ensayos y comparativa con el expediente técnico de zona de estudio

### Análisis Granulométrico:

#### Goñas (2019)

Tabla 18 Gradación granulométrica de la muestra de la calicata 2

Tamiz	Abertura	PESO	% RETEN	%RETEN	%QUE
ASTM	(mm)	RETENIDO (gr)	PARCIAL	ACUMULADO	PASA
2"	50.800			0.00	100.00
1 1/2"	38.100			0.00	100.00
1"	25.400			0.00	100.00
3/4"	19.050			0.00	100.00
3/8"	9.525	0.00	0.00	0.00	100.00
N° 4	4.760	0.00	0.00	0.00	100.00
N° 10	2.000	0.50	0.20	0.80	99.20
N° 40	0.426	12.50	4.20	9.10	90.90
N° 200	0.074	16.30	5.40	24.60	75.40

Fuente: Goñas (2019)

En la tabla 16 el porcentaje de partículas finas que pasa por el tamiz N° 200 es de 75.40%, cumpliendo así con los requerimientos que anuncia que más del 50% de finos deben pasar por el tamiz N°200 para considerarse como una arcilla según la clasificación SUCS.

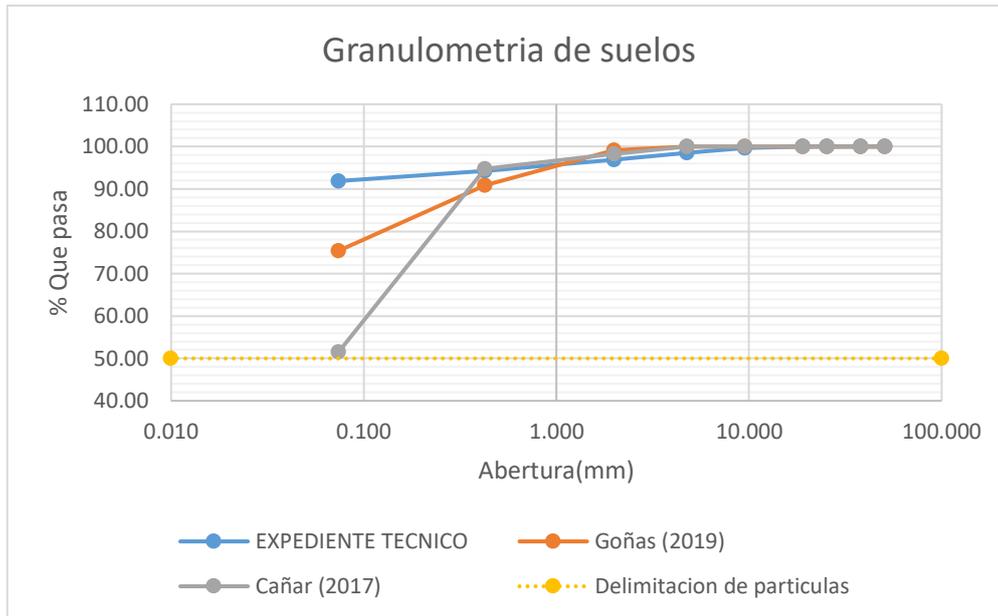
### Cañar (2017)

*Tabla 19 Granulometría del tipo de suelo 2*

Tamiz	Abertura	PESO	% RETEN	%RETEN	%QUE
ASTM	(mm)	RETENIDO (gr)	PARCIAL	ACUMULADO	PASA
2"	50.800			0.00	100.00
1 1/2"	38.100			0.00	100.00
1"	25.400			0.00	100.00
3/4"	19.050			0.00	100.00
3/8"	9.525	0.00	0.00	0.00	100.00
N° 4	4.760	0.00	0.00	0.00	100.00
N° 10	2.000	15.60	1.73	1.73	98.27
N° 40	0.426	47.30	5.26	5.26	94.74
N° 200	0.074	436.60	0.39	48.49	51.51

Fuente: Cañar (2017)

En la tabla 6 el porcentaje de partículas que pasan por el tamiz N° 200 es de 51.51% cumpliendo el requerimiento que dice que más del 50% de partículas debe pasar por el tamiz N° 200 para considerarse como suelo arcilloso según la clasificación SUCS.



Grafica 1 Comparación de las curvas granulométricas

En la Grafica 1 se puede apreciar que los tres porcentajes de partículas que pasan por el tamiz N° 200 con abertura de 0.074 mm están por encima de la línea que delimita las partículas (50.00%) es decir las 3 muestras son consideradas suelos arcillosos según la clasificación SUCS.

## Clasificación de Suelos

Tabla 20 Comparativa de clasificación de suelos

	CLASIFICACIÓN			
	SUCS		AASHTO	
	SIMBOLO	MATERIAL	GRUPO	MATERIAL
Expediente Técnico	MH	Limos inorganicos, limos micaceos o diatomaceos, mas elasticos	A-7-5(14)	Suelo arcilloso
Goñas (2019)	OH	Arcilla orgánica de media o alta plasticidad, limos organicos de media plasticidad	A-7-5(13)	Suelo arcilloso
Cañar (2017)	CH	Arcillas inorganicas de alta plasticidad, arcillas francas	A-7-5(18)	Suelo arcilloso

Fuente: Elaboración Propia

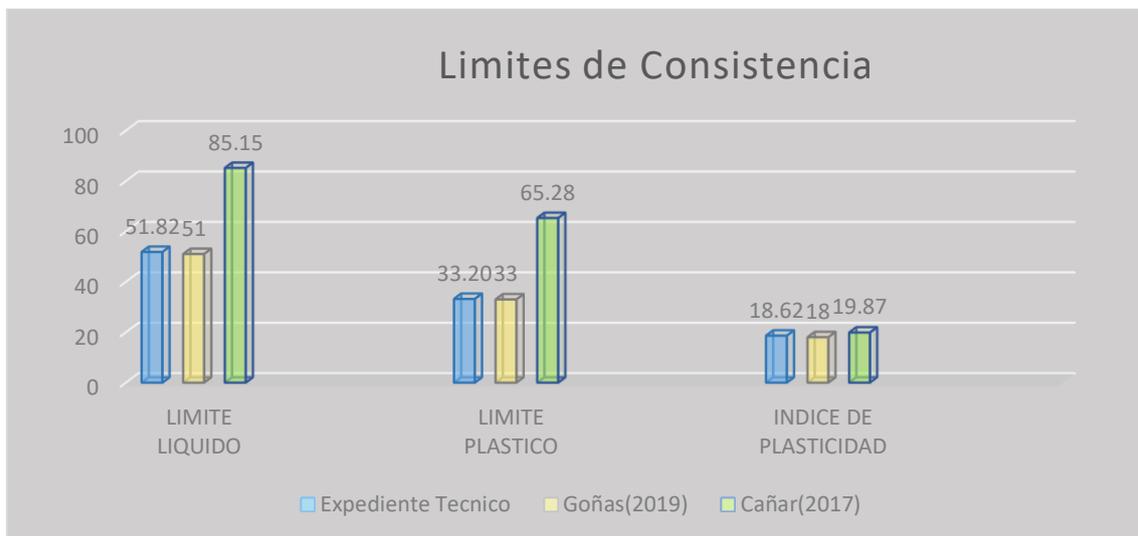
En la Tabla 18 se puede apreciar las 3 muestras y su respectiva clasificación, podemos observar que las muestras no tienen el mismo símbolo, pero si pertenecen a la misma familia según la clasificación SUCS (Limos y Arcillas) lo cual hace que sean semejantes mientras que según la clasificación AASHTO los clasifica a las 3 muestras como suelo arcilloso.

### Límites de Consistencia

Tabla 21 Comparativa de los límites de consistencia

	SUELO ARCILLOSO		
	LIMITE LIQUIDO	LIMITE PLASTICO	INDICE DE PLASTICIDAD
<b>Expediente Tecnico</b>	<b>51.82</b>	<b>33.20</b>	<b>18.62</b>
<b>Goñas(2019)</b>	<b>51</b>	<b>33</b>	<b>18</b>
<b>Cañar(2017)</b>	<b>85.15</b>	<b>65.28</b>	<b>19.87</b>

Fuente: Elaboración propia



Grafica 2 Comparación de los límites de consistencia

En la Grafica 2 podemos observar que la muestra de Cañar tiene el límite líquido y límite plástico muy alto a diferencia de las otras 2 muestras, pero respecto al índice de plasticidad las 3 muestras obtuvieron porcentajes semejantes (18.62%, 18% y 19.87%) menor a 20% que según el manual de carreteras del MTC nos dice que las 3 muestras pertenecen al grupo de plasticidad media.

### Etapa 5: Interpolación de los resultados para nuevas dosificaciones

Tabla 22 Dosificaciones usadas para la comparativa del límite de consistencia

	Suelo arcilloso	15%	17%	20%	21%	23%	25%
IP (Goñas)	18	17		15			13
IP (Nueva dosificación)	18.94		17.71		16.14		15.43
IP (Cañar)	19.87			18.78		18.42	17.86

Fuente: Elaboración propia

Para la muestra **Patrón** usaremos la fórmula del promedio aritmético:

$$x = \frac{IP(\text{Goñas}) + IP(\text{Cañar})}{2}$$

$$x = \frac{18 + 19.87}{2}$$

$$x = 18.94$$

Para la primera dosificación (**17%**) usaremos la fórmula de interpolación lineal

$$y = y_0 + \frac{y_1 - y_0}{x_1 - x_0}(x - x_0)$$

Donde:

$$IP(17\%) = 17 + \frac{18.78 - 17}{20\% - 15\%} (17\% - 15\%)$$

$$IP(17\%) = 17.71$$

Para la primera dosificación (**21%**) usaremos la fórmula de interpolación lineal

$$y = y_0 + \frac{y_1 - y_0}{x_1 - x_0} (x - x_0)$$

Donde:

$$IP(21\%) = 15 + \frac{18.42 - 15}{23\% - 20\%} (21\% - 20\%)$$

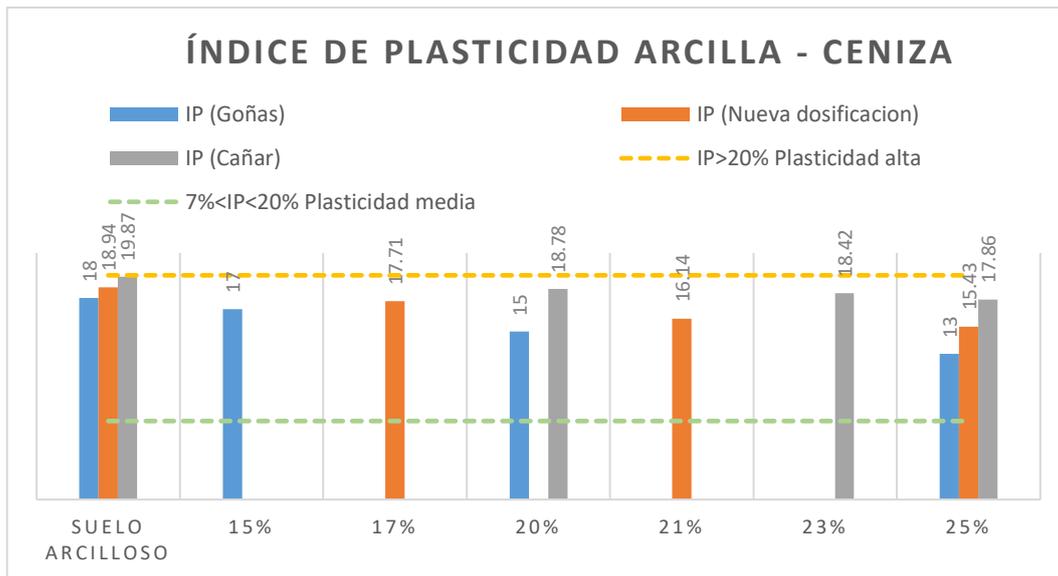
$$IP(21\%) = 16.14$$

Para la última dosificación (**25%**) usaremos la fórmula del promedio aritmético:

$$x = \frac{IP(\text{Goñas } 25\%) + IP(\text{Cañar } 25\%)}{2}$$

$$x = \frac{13 + 17.86}{2}$$

$$IP(25\%) = 15.43$$



Grafica 3 Índice de plasticidad comparativo y nuevas dosificaciones (17%, 21%, 25%)

## PERMEABILIDAD DEL SUELO

Tabla 23 Interpolación de dosificaciones (15% y 20%) para el óptimo contenido de humedad y máxima densidad seca

	Patrón	Óptimo contenido de humedad			Maxima densidad seca		
		15%	17%	20%	15%	17%	20%
(Goñas)	21.3	26.5			1.525		
(Nueva dosificación)	23.75		27.18			1.437	
(Cañar)	26.2			28.20			1.305

Fuente: Elaboración propia

Para la muestra **Patrón** usaremos la fórmula del promedio aritmético:

$$OCH = \frac{(Goñas)+(Cañar)}{2}$$

$$MDS = \frac{(Goñas)+(Cañar)}{2}$$

$$OCH = \frac{21.3+26.2}{2}$$

$$MDS = \frac{1.473+1.300}{2}$$

$$OCH = 23.75$$

$$MDS = 1.387$$

Para la primera dosificación (**17%**) usaremos la fórmula de interpolación lineal

$$y = y_0 + \frac{y_1 - y_0}{x_1 - x_0} (x - x_0)$$

Donde:

$$OCH(17\%) = 26.5 + \frac{28.20 - 26.5}{20\% - 15\%} (17\% - 15\%)$$

$$OCH(17\%) = 27.18$$

Donde:

$$MDS(17\%) = 1.525 + \frac{1.305 - 1.525}{20\% - 15\%} (17\% - 15\%)$$

$$MDS(17\%) = 1.437$$

*Tabla 24 Interpolación de dosificaciones (20% y 23%) para el óptimo contenido de humedad y máxima densidad seca*

	Patrón	Óptimo contenido de humedad			Máxima densidad seca		
		20%	21%	23%	20%	21%	23%
(Goñas)	21.3	26.7			1.557		
(Nueva dosificación)	23.75		27.33			1.473	
(Cañar)	26.2			28.60			1.305

Fuente: Elaboración propia

Para la segunda dosificación (**21%**) usaremos la fórmula de interpolación lineal

$$y = y_0 + \frac{y_1 - y_0}{x_1 - x_0} (x - x_0)$$

Donde:

$$OCH(21\%) = 26.7 + \frac{28.60 - 26.7}{20\% - 15\%} (17\% - 15\%)$$

$$OCH(21\%) = 27.33$$

Donde:

$$MDS(21\%) = 1.557 + \frac{1.305 - 1.557}{20\% - 15\%} (17\% - 15\%)$$

$$MDS(21\%) = 1.473$$

Tabla 25 Promedio de dosificaciones (25% y 25%) para el óptimo contenido de humedad y máxima densidad seca

	Patrón	Óptimo contenido de humedad			Maxima densidad seca		
		25%	25%	25%	25%	25%	25%
(Goñas)	21.3	29.1			1.571		
(Nueva dosificacion)	23.75		29.25			1.438	
(Cañar)	26.2			29.40			1.305

Fuente: Elaboración propia

Para la última dosificación (**25%**) usaremos la fórmula del promedio aritmético:

$$x = \frac{OPH(\text{Goñas } 25\%) + OPH(\text{Cañar } 25\%)}{2}$$

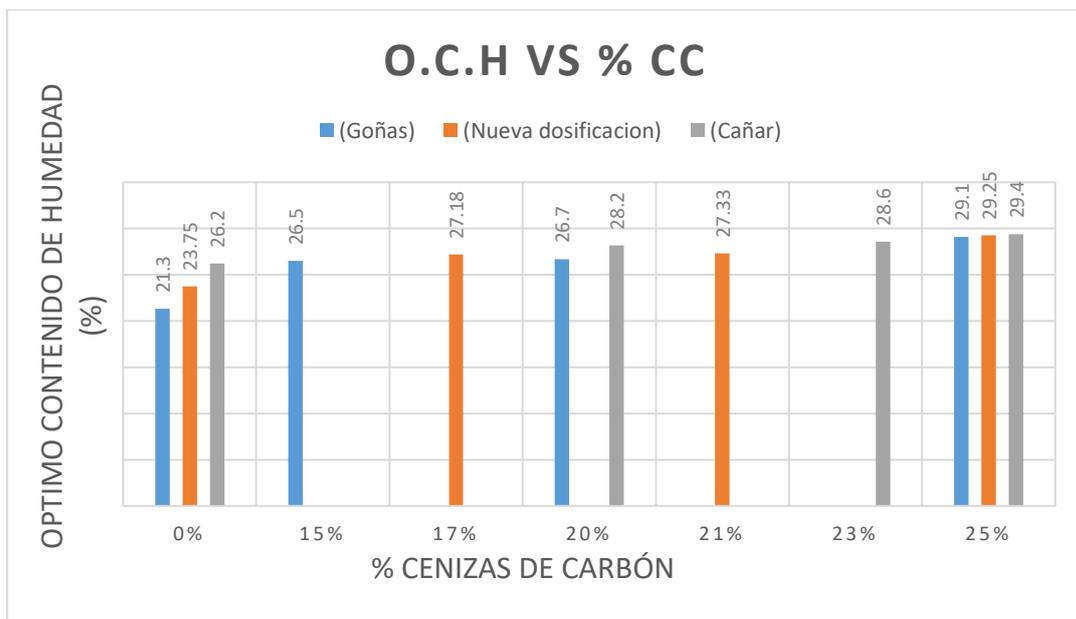
$$x = \frac{29.1 + 29.4}{2}$$

$$OCH(25\%) = 29.25$$

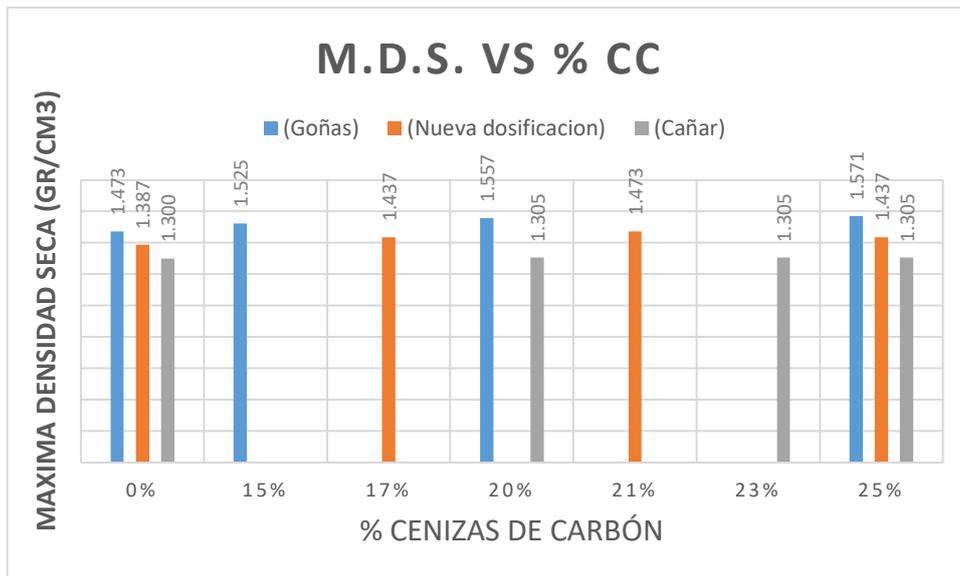
$$x = \frac{MDS(\text{Goñas } 25\%) + MDS(\text{Cañar } 25\%)}{2}$$

$$x = \frac{1.571 + 1.305}{2}$$

$$MDS(25\%) = 1.438$$



*Grafica 4 Variación y comparativa entre el óptimo contenido de humedad y los porcentajes agregados de ceniza.*



Grafica 5 Variación y comparativa entre la máxima densidad seca y los porcentajes agregados de ceniza

## RESISTENCIA DEL SUELO

Tabla 26 Interpolación de dosificaciones (15% y 20%) para él % de CBR

	Patrón	%CBR		
		15%	17%	20%
(Goñas)	2.2	2.6		
(Nueva dosificación)	5.75		5.36	
(Cañar)	9.3			9.50

Fuente: Elaboración propia

Para la muestra **Patrón** usaremos la fórmula del promedio aritmético:

$$x = \frac{(\text{Goñas}) + (\text{Cañar})}{2}$$

$$x = \frac{2.2 + 9.3}{2}$$

$$\%CBR = 5.75$$

Para la primera dosificación (**17%**) usaremos la fórmula de interpolación lineal

$$y = y_0 + \frac{y_1 - y_0}{x_1 - x_0} (x - x_0)$$

Donde:

$$\%CBR(17\%) = 2.6 + \frac{9.5 - 2.6}{20\% - 15\%} (17\% - 15\%)$$

$$\%CBR(17\%) = 5.36$$

Tabla 27 Interpolación de dosificaciones (20% y 23%) para él % de CBR

	Patrón	%CBR		
		20%	21%	23%
(Goñas)	2.2	3.0		
(Nueva dosificación)	5.75		5.3	
(Cañar)	9.3			9.90

Fuente: Elaboración propia

Para la segunda dosificación (**21%**) usaremos la fórmula de interpolación lineal

$$y = y_0 + \frac{y_1 - y_0}{x_1 - x_0} (x - x_0)$$

Donde:

$$\%CBR(21\%) = 3.0 + \frac{9.90 - 3.0}{20\% - 15\%} (17\% - 15\%)$$

$$\%CBR(21\%) = 5.30$$

Tabla 28 Promedio de dosificaciones (25% y 25%) para el % de CBR

	Patrón	%CBR		
		25%	25%	25%
(Goñas)	2.2	3.7		
(Nueva dosificación)	5.75		7.15	
(Cañar)	9.3			10.60

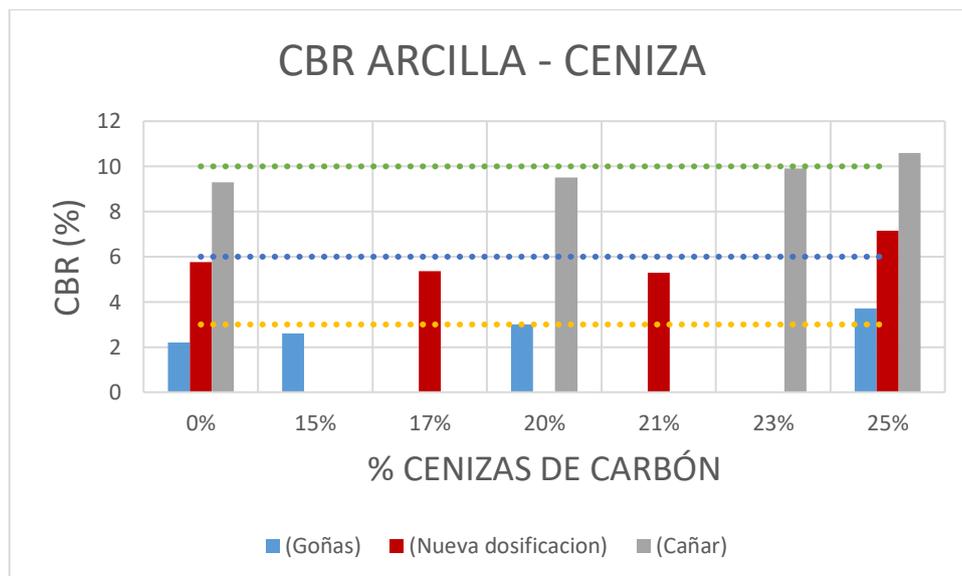
Fuente: Elaboración propia

Para la última dosificación (25%) usaremos la fórmula del promedio aritmético:

$$X = \frac{\%CBR(\text{Goñas } 25\%) + \%CBR(\text{Cañar } 25\%)}{2}$$

$$x = \frac{3.7 + 10.60}{2}$$

$$\%CBR(25\%) = 7.15$$



Grafica 6 Variación y comparativa entre el porcentaje de CBR y la adición de cenizas

## 4.2 Resultados

### Indicador 1 Cohesión del suelo

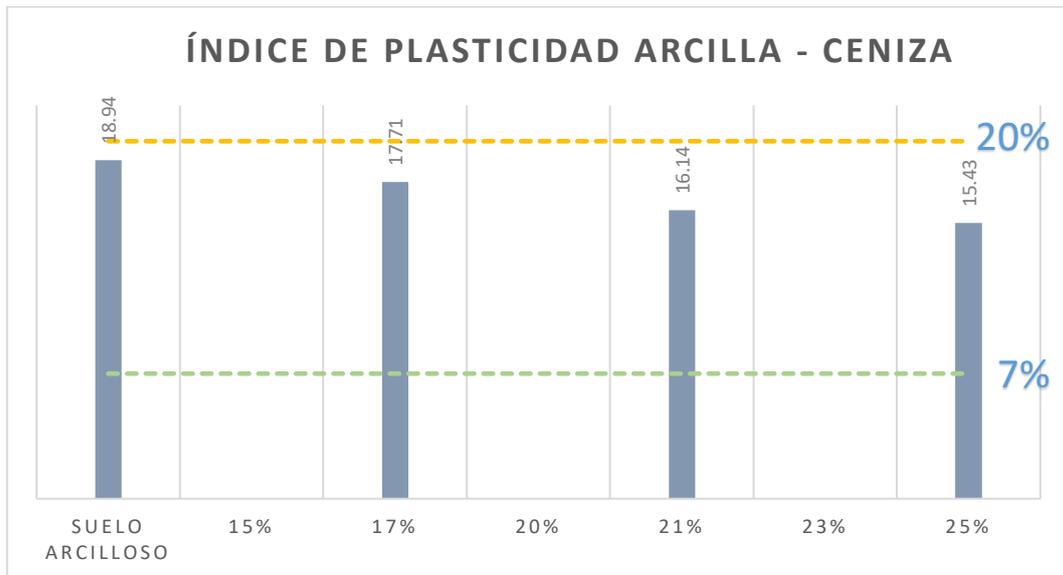


Gráfico 7 Índice de Plasticidad vs % de Ceniza

#### Interpretación:

De acuerdo al Gráfico 7 se observa que con la adición de Ceniza en un 17%, 21% y 25% se presenta una disminución progresiva del índice de plasticidad en un 6.49%, 14.78% y 18.53% respecto al diseño patrón. En relación a los límites de plasticidad, se puede visualizar que los resultados de las 3 dosificaciones con adición de ceniza se encuentran en el rango de 7 y 20 % de plasticidad se considera de plasticidad media que corresponde a este caso. Considerando que con la adición de ceniza de madera se disminuye la plasticidad entonces se acepta la hipótesis que indica que esta adición influye de manera positiva.

## Indicador 2 Máxima Densidad Seca

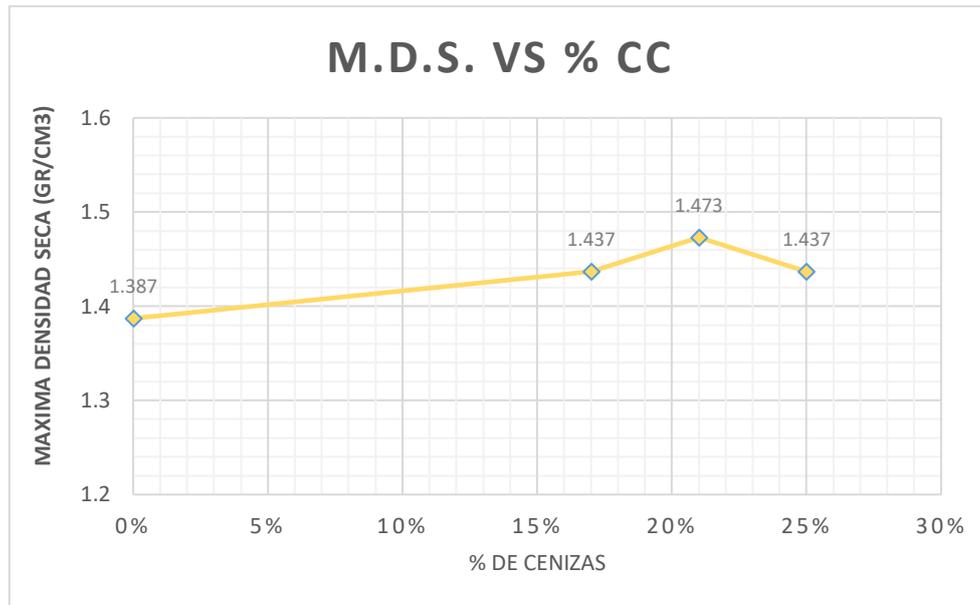
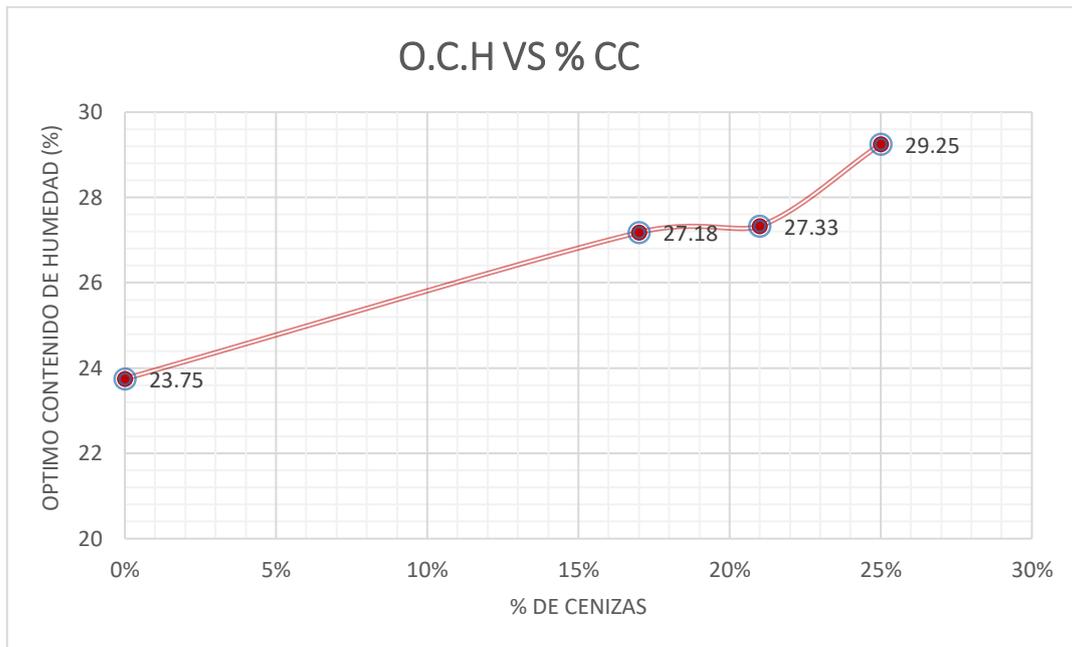


Gráfico 8 Máxima Densidad Seca vs % de Ceniza

### Interpretación:

De acuerdo al Grafico 8, se pudo evidenciar lo siguiente; que con la adición de Ceniza en un 17% incremento en un 3.60% y con 21% incremento un 6.20% y con un 25% incremento en un 3.60% respecto al diseño patrón, el factor que induce a una disminución es el uso de la ceniza en grandes cantidades ya que al ser un material altamente plastificante hace que disminuya su densidad para la dosificación de 25%. Por lo tanto, la hipótesis planteada para este indicador se acepta ya que al agregarle ceniza de madera influye relativamente en su máxima densidad seca.

### Indicador 3 Optimo Contenido de Humedad



*Gráfico 9 Optimo Contenido de Humedad vs % de Ceniza*

#### Interpretación:

De acuerdo al Grafico 9 se observó que con la adición de ceniza en porcentajes de 17%, 21% y 25% existió un aumento progresivo del optimo contenido de humedad en un 14.44%, 15.07% y 23.16% respectivamente del diseño patrón. El factor que induce a tal aumento progresivo se debe a la ceniza ya que mezclando el suelo arcilloso con ceniza está llena los vacíos que presenta el suelo arcilloso. Por tal motivo, se acepta la hipótesis planteada para este indicador ya que la adición de ceniza influye en el óptimo contenido de humedad.

#### Indicador 4 Capacidad de Soporte

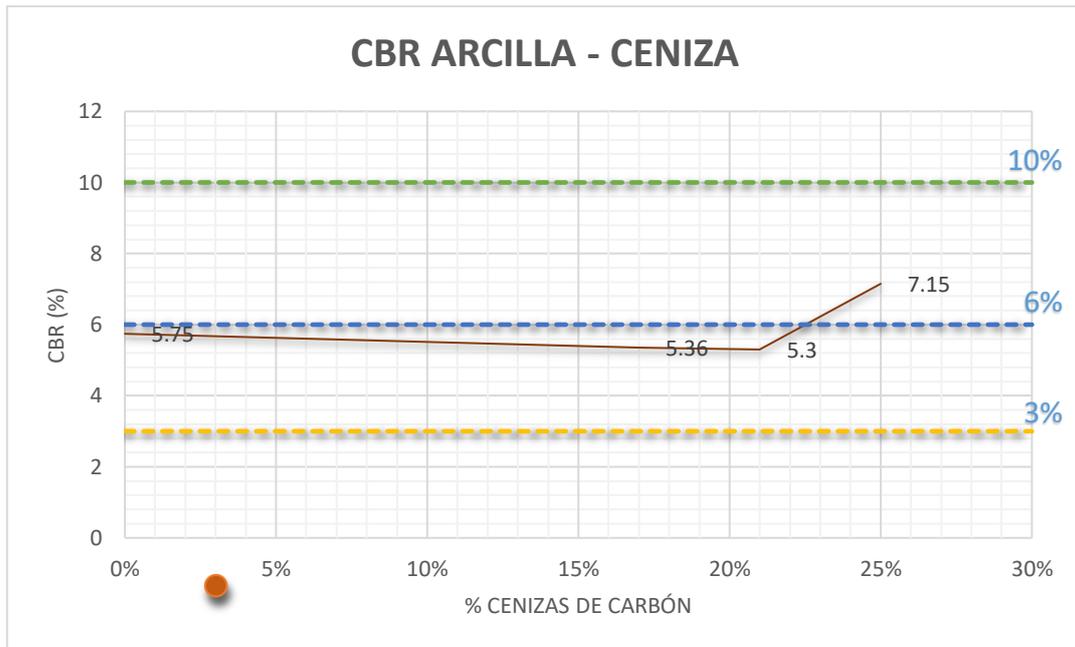


Gráfico 10 CBR (%) vs % de Ceniza

#### Interpretación:

De acuerdo al Grafico 10 se observó que con la adición de ceniza en porcentajes de 17% y 21% existió una pequeña disminución de 6.78% y 7.83% respectivamente, sin embargo, con la adición de 25% de ceniza se observa que presenta un aumento de 24.35% respecto al diseño patrón. En relación a los límites de CBR, se puede visualizar que la dosificación de 25% se encuentra en el rango de 6% y 10% obteniendo una subrasante regular según el manual del MTC. Considerando que con la adición de ceniza de madera disminuye el %CBR en sus 2 primeras dosificaciones y aumenta en su última dosificación se acepta la hipótesis solo para la dosificación de 25% ya que indica que esta adición influye de manera positiva.

## v. **DISCUSIÓN**

## V. DISCUSIÓN

- En el presente trabajo con la adición de ceniza en un 25% se obtuvo como resultado una disminución de su índice de plasticidad en un 18.53% respecto del suelo patrón, mientras que MAMANI Y YATACO (2017) obtuvieron una disminución de 43% respecto a la muestra patrón con la adición de 50% de ceniza. Lo que indica que con la adición de ceniza en grandes cantidades se puede disminuir el índice de plasticidad del suelo y por lo tanto disminuya la cohesión del suelo, esto se debe a la composición química que tiene la ceniza (Sílice, Oxido de Calcio y Oxido de Aluminio) muy similar a la composición del cemento portland y cal, productos utilizados en su mayoría para la estabilización de suelos. Se acepta la hipótesis porque con el uso de ceniza de madera influye en la cohesión mejorando la misma en un 18.53%
- En el presente trabajo de investigación, para la adición de ceniza en un 21% y 25 % se obtuvo un aumento de 6.20% y 3.60% respecto del suelo patrón, Sin embargo, MAMANI Y YATACO (2017) obtuvo como resultados una disminución de 2.65% con 20% de ceniza y un aumento de 2.31% con 30% de ceniza respecto del suelo patrón. Lo que indica que la pequeña variación se produce debido a que los tipos de suelos según la clasificación SUCS no son iguales ya que el antecedente nos dice que su suelo patrón tiene clasificación CH mientras que la muestra de la zona de estudio es MH. Por el contrario, en la investigación realizada por CUBAS Y FALEN (2016) se observó que con la adición de cenizas las muestras disminuían la densidad máxima seca y lo asocian a los componentes químicos que presentan las cenizas de carbón. Se acepta la hipótesis ya que con el uso de ceniza de madera influye en su máxima densidad seca mejorándola en un 6.20%.

- En el presente trabajo se obtuvieron resultados favorables en cuanto a su óptimo contenido de humedad, logrando un aumento progresivo en dichos resultados de 14.44%, 15.07% y 23.16% con la adición de 17%, 21% y 25% de ceniza respectivamente del diseño patrón, De igual manera APOLINAREZ (2018) en su investigación con ceniza vegetal consiguió un aumento progresivo de 7.38%, 27.11% y 51.35% para sus dosificaciones de 15%, 25% y 35%. Lo que indica que con la adición de ceniza en grandes cantidades se puede mejorar el óptimo contenido de humedad, esto se debe a que la ceniza llena los vacíos que tiene este tipo de suelo. De esta manera nos damos cuenta que el uso de ceniza influye en el óptimo contenido de humedad mejorándola progresivamente según la dosificación de ceniza.
- En el presente trabajo con la adición de ceniza en un 17% y 21% se determinó una pequeña disminución en su capacidad de soporte de 6.78% y 7.83% sin embargo para la adición de 25% la capacidad de soporte mejoro significativamente y aumento en un 24.35% respecto al diseño patrón. CASTILLO (2017) en su investigación uso una mezcla entre ceniza y cal para mejorar la capacidad de soporte del suelo y aplico distintas dosificaciones obteniendo en promedio una mejora de 15.8%. Asimismo, APOLINAREZ (2018) en su investigación con ceniza vegetal presento una mejora progresiva de 20.32%, 28.57% y 30.21% para sus dosificaciones de 15%, 25% y 35%. Estos resultados son similares a los obtenidos en la presente investigación indicándonos que con la adición de ceniza en grandes cantidades mejora su % de CBR por lo tanto mejora su capacidad de soporte del suelo.

## **vi. CONCLUSIONES**

## VI. CONCLUSIONES

- Se determinó que la aplicación de ceniza de madera influye en la cohesión de los suelos arcillosos, disminuyendo progresivamente este indicador el cual se mide por su índice de plasticidad, en esta investigación dicho indicador llegó a reducirse hasta en un 18.53% respecto del diseño patrón con la adición de 25% de ceniza según lo indicado en el Grafico N° 7. De acuerdo a la norma del MTC los resultados obtenidos en esta investigación están dentro del rango de 7 y 20% lo cual indica que es propio de las características de un suelo arcilloso, tal como se aprecia en la Tabla N° 3.
- Se determinó que el uso de ceniza de madera incremento los resultados calculados mediante el método de interpolación lineal para las dosificaciones de 17%, 21% y 25% según la Tabla N° 23, Tabla N° 24 y Tabla N° 25. En esta investigación dichos resultados obtenidos para la máxima densidad seca llegaron a incrementarse hasta en un 6.20% para la dosificación de 21% y 3.60% para las dosificaciones de 17% y 25% de acuerdo al Grafico N° 8. Por lo tanto, se determinó que la adición de ceniza de madera influye positivamente en su máxima densidad seca de los suelos arcillosos.
- Se ha determinado que la utilización de ceniza de madera mejora considerablemente el óptimo contenido de humedad de los suelos arcillosos obteniendo un aumento progresivo en sus resultados de hasta en un 23.16% respecto del diseño patrón con la adición de 25% de ceniza de madera según lo indicado en el Grafico N°9. Estos resultados fueron calculados mediante el método de interpolación lineal para las dosificaciones de 17%, 21% y 25% tal como se aprecia en la Tabla N° 23, Tabla N° 24 y Tabla N° 25. Por lo tanto, se determinó que la adición de ceniza de madera influye en el óptimo contenido de humedad de los suelos arcillosos.

- Se determinó que el uso de ceniza de madera obtuvo como resultado la mejora del porcentaje de CBR en un 24.35% para la dosificación de 25% de ceniza de madera según lo indicado en el Grafico N°10. Estos resultados fueron calculados mediante el método de interpolación lineal para las dosificaciones de 17%, 21% y 25% según la Tabla N° 26, Tabla N° 27 y Tabla N° 28. Asimismo, de acuerdo a la norma del MTC este resultado está dentro del rango de 6 y 10% lo cual indica que posee una subrasante regular, tal como se indica en la Tabla N° 6. Por lo tanto, se determina que la adición de ceniza influye en la capacidad de soporte de los suelos arcillosos.
- En esta investigación, se determinó que la adición de ceniza de madera obtuvo resultados positivos en cuanto a sus indicadores, para la cohesión del suelo obtuvo una variación de 18.53% con la adición de 25% de ceniza respecto del diseño patrón según el Grafico N°7. Para la máxima densidad seca también obtuvo una variación de 6.20% pero con la adición de 21% de ceniza según el Grafico N°8. Para el óptimo contenido de humedad obtuvo su resultado aumento hasta en un 23.16% con la adición de 25% de ceniza de madera según el Grafico N°9. Por último, para la capacidad de soporte mejoro hasta en un 24.35% con una adición de 25% de ceniza respecto del diseño patrón según el Grafico N°10. Por lo tanto, se determinó que la adición de ceniza de madera influye positivamente en la estabilización de suelos arcillosos.

## **vii. RECOMENDACIONES**

## VII. RECOMENDACIONES

- Se recomienda que para un análisis correcto de la cohesión de los suelos arcillosos se estudie y analice suelos que contengan un índice de plasticidad mayor a 20 ya que estos poseen características de suelos muy arcillosos según el manual del MTC.
- Se recomienda que las muestras de suelos para los diferentes ensayos deban estar completamente secas ya que eso influiría en los resultados de su óptimo contenido de humedad y su máxima densidad seca.
- Se recomienda que para un análisis correcto del óptimo contenido de humedad y máxima densidad seca las muestras sean extraídas del horno en un lapso de 18 a 24 horas a una temperatura aproximadamente de 110 °C según la norma ASTM D 2216-71.
- Se recomienda que para un mejor estudio de la capacidad de soporte y obtener nuevos resultados de los suelos arcillosos se use dosificaciones mayores al 25% de cenizas de madera.
- Se recomienda hacer un análisis químico de las cenizas de madera de las ladrilleras para saber la composición exacta de este material usado para la estabilización de suelos arcillosos.

## REFERENCIAS

1. ACOSTA, Del Carmen. Tratamientos de estabilización en suelos arcillosos en el proyecto “mantenimiento rutinario en el tramo el sauce a concepción de oriente, departamento de la unión, el salvador. MIII [Internet]. 15 de abril de 2011 [citado 17 de noviembre de 2019];8(1):51-. Disponible en: <http://ugb.edu.sv/revistas/index.php/mileniumIII/article/view/8>
2. AGUILAR, Claudio; GUZMAN, Danny y IGLESIAS, Carlos. Analysis of X-ray diffraction profiles of two metallic materials. Rev. LatinAm. Metal. Mater. [online]. 2013, vol.33, n.1 [citado 2019-11-18], pp. 15-32. Disponible en: [http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S02556952201300100003&lng=es&nrm=iso](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S02556952201300100003&lng=es&nrm=iso). ISSN 0255-6952.
3. ALVARADO, Alfredo; MATA, Rafael and CHINCHILLA, Miguel. Arcillas identificadas en suelos de Costa Rica a nivel generalizado durante el período 1931-2014: II. mineralogía de arcillas en suelos con características vérticas y oxídico caoliníticas. Agron. Costarricense [online]. 2014, vol.38, n.1 [citado 2019-10-18], pp.107-131. Available from: [http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0377-94242014000100007&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0377-94242014000100007&lng=en&nrm=iso). ISSN 0377-9424.
4. APOLINAREZ Tovar, Alex (2018) Estabilización de la Sub-Rasante con la incorporación de Ceniza Vegetal, Jauja. Tesis para obtener el título profesional de Ingeniería civil. Universidad Peruana de los Andes.
5. ARIAS Gómez, Jesús, VILLASÍS Keever, Miguel Ángel, MIRANDA Novales, María Guadalupe Research protocol III: the study population. Allergy Magazine Mexico. [Online]. 2016, 63(2), 201-206[fecha de Consulta 22 de octubre de 2020]. ISSN: 0002-5151. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=486755023011>
6. ARRIAGA, A. P., et al. Estudio experimental y computacional de la estabilidad de la guanina y su interacción con montmorillonita de sodio al ser expuesta a la radiación gamma. 2016 pp.268 272 [https://www.researchgate.net/publication/334161154\\_estabilidad\\_de\\_la](https://www.researchgate.net/publication/334161154_estabilidad_de_la)

- [guanina y citosina en disolucion acuosa y suspension con montmorillonita sodica simulaciones de charcas en la tierra primitiva.](#)
7. CAÑAR Tiviano, Edwin (2017). Análisis comparativo de la resistencia al corte y estabilización de suelos arenosos finos y arcillosos combinados con cenizas de carbón. Tesis para el título profesional. Universidad Técnica de Ambato
  8. CARBALLO Barcos, Miriam y GUELMES Valdes, Esperanza Lucía. some considerations about the variables in educational researches. magazine: university and society [online]. 2016, vol.8, n.1 [citado 2020-10-14], pp.140-150. Disponible en: [<http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2218-36202016000100021&lng=es&nrm=iso>](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2218-36202016000100021&lng=es&nrm=iso). ISSN 2218-3620
  9. CARRASCO, Sebastián. Metodología de la investigación científica [en línea] 5ta Edición: Editorial: San Marcos. 2012 [fecha de consulta: 02 de octubre de 2019]
  10. CARRETERO, M. I. Influencia de la composición de las aguas mine-ro medicinales en la plasticidad de los peloides. IV CIBAP BOÍ 2015. Pp. 140-175. Disponible en: [https://www.researchgate.net/profile/Francisco\\_Maraver/publication/280039405\\_IV\\_CIBAP\\_BOI\\_2015/links/55a4f44c08ae00cf99c9365e/IV-CIBAP-BOI-2015.pdf#page=148](https://www.researchgate.net/profile/Francisco_Maraver/publication/280039405_IV_CIBAP_BOI_2015/links/55a4f44c08ae00cf99c9365e/IV-CIBAP-BOI-2015.pdf#page=148)
  11. CASTILLO Parra, Byron (2017). Estabilización de suelos arcillosos de Macas con valores de CBR menores al 5% y límites líquidos superiores al 100%, para utilizarlos como subrasantes en carreteras. Tesis para el grado de Master en Ingeniería en Vialidad y Transportes. Universidad de Cuenca.
  12. CENTRO de Estudios y Experimentación de obras públicas. CEDEX (2011). Cenizas volantes de carbón y cenizas de hogar o escorias. [Recuperado de: http://www.cedex.es/NR/rdonlyres/B01FDCCB-AC8E-40899699FA6413FBEE7C/119905/CENIZASVOLANTESDECARBONYCENIZASDEHOGAR.pdf](http://www.cedex.es/NR/rdonlyres/B01FDCCB-AC8E-40899699FA6413FBEE7C/119905/CENIZASVOLANTESDECARBONYCENIZASDEHOGAR.pdf)
  13. CUBAS Kevin, FALEN José (2016). Evaluación de las cenizas de carbón para la estabilización de suelos mediante activación alcalina y aplicación en carreteras no pavimentadas. Tesis para el título profesional. Universidad Señor de Sipán.

14. ESPINOZA Felix, José (2016). Las vías de comunicación: Fundamentos Básicos y guía en la construcción de carreteras. [fecha de consulta: 04 de octubre de 2019] Recuperado de: <https://books.google.com.do/books?id=O9lwDgAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>
15. ESPINOZA Freire, Eudaldo Enrique. Variables and their operationalization in educational research. Part I. *Conrado* [online]. 2018, vol.14, suppl.1 [citado 2020-09-27], pp.39-49. Disponible en: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1990-86442018000500039&lng=es&nrm=iso](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1990-86442018000500039&lng=es&nrm=iso). Epub 03-Dic-2018. ISSN 2519-7320.
16. FERMIN, J.R.; SALCEDO, D.Y.; DURANTE RINCON, C. y CASTRO, J.A. Stress / size analysis in ternary compounds AgIn<sub>5</sub>VI<sub>8</sub> (VI = S, Se, Te) by X-ray diffraction. *Rev. mex. fis.* [online]. 2017, vol.63, n.4 [citado 2019-09-30], pp.345-350. Disponible en: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0035-001X2017000400345&lng=es&nrm=iso](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0035-001X2017000400345&lng=es&nrm=iso). ISSN 0035-001X
17. GALLARDO, Romel, CUANALO, Oscar, QUINTERO, Leidy, MUÑOZ, Angie y MARTINEZ, Ciro (2017). Análisis del comportamiento de suelos de alta plasticidad con la adición del material de residuo en la fabricación de ladrillo cerámico. Publicada en la Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada. Recuperado de: [http://revistas.unipamplona.edu.co/ojs\\_viceinves/index.php/RCTA/article/view/2493](http://revistas.unipamplona.edu.co/ojs_viceinves/index.php/RCTA/article/view/2493)
18. GOÑAS Labajos, Olger (2019). Estabilización de suelos con cenizas de carbón para uso como subrasante mejorada. Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Civil. Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas
19. GUERRERO Fernández, José (2017). Ingeniería de Vías Férreas. 1ra edición. [fecha de consulta: 10 de octubre de 2019] Recuperado de: [https://books.google.com.pe/books?id=cUGaDgAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.pe/books?id=cUGaDgAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false)
20. GUO, Lihui (2015). Investigation of soil stabilization using biopolymers. Master of science. Iowa State University.

21. HERNANDEZ Sánchez, Jazmín María de los Dolores; FIGUEROA-SANDOVAL, Benjamín y MARTINEZ MENES, Mario R. Propiedades físicas del suelo y su relación con la plasticidad en un sistema bajo labranza tradicional y no labranza. Rev. Mex. Cienc. Agríc. [online]. 2019, vol.10, n. spe22 [citado 2019-10-18], pp.53-61. Disponible en: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-09342019000900053&lng=es&nrm=iso](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342019000900053&lng=es&nrm=iso). ISSN 2007-0934. <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i22.1858>.
22. HERNÁNDEZ, Roberto., BAPTISTA, Pilar. Metodología de la investigación: 5º Ed. México: 2012. [https://www.esup.edu.pe/descargas/dep\\_investigacion/Metodologia%20de%20la%20investigaci%C3%B3n%205ta%20Edici%C3%B3n.pdf](https://www.esup.edu.pe/descargas/dep_investigacion/Metodologia%20de%20la%20investigaci%C3%B3n%205ta%20Edici%C3%B3n.pdf)
23. HERNANDEZ Lara, Josué, MEJIA Ramírez, David y ZELAYA Amaya, César (2016). Propuesta de estabilización de suelos arcillosos para su aplicación en pavimentos rígidos en la facultad multidisciplinaria oriental de la Universidad de El Salvador. Tesis para el título profesional. Universidad de El Salvador.
24. HUAQUISTO Cáceres, Samuel. Effect of residual motor vehicle oil on the physical mechanical factors of fine soil. Journal of high Andean. [online]. 2015, Vol. 17, N°2 [citado 2019-10-17], pp.207-214. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5169790>
25. HUAQUISTO Cáceres, Samuel y BELIZARIO Quispe, Germán. Use of the flying ash in the dosing of the concrete as a substitute for the cement. Journal of high Andean. [online]. 2018, vol.20, n.2 [citado 2019-10-17], pp.225-234. Disponible en: [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2313-29572018000200007&lng=es&nrm=iso](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2313-29572018000200007&lng=es&nrm=iso). ISSN 2313-2957. <http://dx.doi.org/10.18271/ria.2018.366>.
26. JUNCO del Pino, Juan M. Estabilización de Suelos mediante el empleo de Sales Cuaternarias. Revista de Arquitectura e Ingeniería [en línea]. 2010, 4(3), [fecha de Consulta 17 de noviembre de 2019]. ISSN: Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193915950002>
27. JUNCO del Pino, Juan Mario, Tejeda Piusseaut., Eduardo Consideraciones acerca de la actividad de las arcillas en la estabilización

- de suelos con sales cuaternarias de amonio. Revista de Arquitectura e Ingeniería [en línea]. 2013, 7(3), 1-12[fecha de Consulta 18 de noviembre de 2019]. ISSN:. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193930080004>
28. KUMAR Talukdar, Dilip. A Study of correlation between California Bearing Ratio (CBR) value with other properties of soil. Rev. International Journal of emerging technology and advanced engineering [en línea]. 2014, Vol.4 [citado 2019-11-17] pp. 559-562. Disponible en: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.643.688&rep=rep1&type=pdf>
29. LINARES, Carlos F., González, Wilmer, Pérez, José, Ocanto, Freddy, Cardozo, Xiomara Adsorción de urea y p-cresol mediante el uso de arcillas caolinitas venezolanas. Avances en Química [en línea]. 2013, 8(2), 65-71[fecha de Consulta 18 de octubre de 2019]. ISSN: 1856-5301. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=93328462002>
30. LOPEZ, Pedro Luis. sample and sampling population. magazine: point zero [online]. 2004, vol.09, n.08 [citado 2020-19-22], pp. 69-74. Disponible en: [http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1815-02762004000100012&lng=es&nrm=iso](http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-02762004000100012&lng=es&nrm=iso). ISSN 1815-0276.
31. LUJAN, Marcos y GUZMAN, Daniel. Diseño, Construcción y Evaluación de un Horno (MK3) para la Cocción de Ladrillos Artesanales. Rev. ActaNova. [online]. 2015, vol.7, n.2 [citado 2019-11-18], pp.165-193. Disponible en: [http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1683-07892015000200006&lng=es&nrm=iso](http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1683-07892015000200006&lng=es&nrm=iso). ISSN 1683-0789.
32. MAMANI Lux Y YATACO Alejandro (2017). Estabilización de suelos arcillosos aplicando ceniza de madera de fondo, producto de ladrilleras artesanales en el departamento de Ayacucho. Tesis para obtener el título de ingeniero civil. Universidad San Martín de Porres.
33. MANDELA D. Christian, Mandela D. Influence of rainfall on the natural humidity of the soils of the Ferroníquel Minera S.A. plant Science & Future Magazine, [online], v. 1, n. 2, [citado 2020-10-28], p. 37-46, 2011. ISSN 2306-823X. Disponible en: [http://revista.ismm.edu.cu/index.php/revista\\_estudiantil/article/view/257](http://revista.ismm.edu.cu/index.php/revista_estudiantil/article/view/257)

34. MINISTERIO de Producción (2010) Guía de Buenas Prácticas para Ladrilleras Artesanales. Recuperado de: <http://spij.minjus.gob.pe/graficos/Peru/2010/abril/21/RM-102-2010-PRODUCE.pdf>
35. MINISTERIO de Producción (2012) Estudio Diagnostico sobre Ladrilleras Artesanales en el Perú. Recuperado de: <https://docplayer.es/26699807-Estudio-diagnostico-sobre-ladrilleras-artesanales-en-el-peru.html>
36. MINISTERIO de Transporte y Comunicaciones, Dirección de General de Caminos y Ferrocarriles (2018) “Glosario de Términos” de uso frecuente en proyectos de infraestructura vial. Lima – Perú.
37. MINISTERIO de Transportes y Comunicaciones (2016). Manual de Ensayo de Materiales. Recuperado de: [https://www.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas\\_carreteras/documentos/manuales/Manual%20Ensayo%20de%20Materiales.pdf](https://www.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/Manual%20Ensayo%20de%20Materiales.pdf).
38. MINISTERIO de Transportes y Comunicaciones (2014). Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos
39. MOHEDAS Diaz, Margarita y MORENO Vega, Alberto. Trabajos de infraestructura forestales UFO0700. (2014).
40. MOUSALLI, Victoria, BULLON, Johnny y SALAZAR, Franklin. Cation exchange capacity in mirador misoa formation and the effect in enhanced oil recovery. Magazine: The Energy Blowout [online]. 2020, Vol.18 N° 1 [cited 2020-09-12], pp. 31-40 Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7540383>
41. OTZEN, Tamara y MANTEROLA, Carlos. Sampling Techniques on a Study Population. *Int. J. Morphol.* [online]. 2017, vol.35, n.1 [citado 2020-10-22], pp.227-232. Disponible en: <[https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0717-95022017000100037&lng=es&nrm=iso](https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-95022017000100037&lng=es&nrm=iso)>. ISSN 0717-9502. <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-95022017000100037>.
42. OYOLA Guzmán, Romero Daniel Determinación de la resistencia a la penetración de un suelo cohesivo en diferentes condiciones de hidratación y compactación. Revista de Arquitectura e Ingeniería [en línea]. 2016, 10(3), 1-10[fecha de Consulta 17 de noviembre de 2019]. ISSN:

- Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193949520004>
43. PARRA Gómez, Manuel (2018). Estabilización de un suelo con cal y ceniza volante. Tesis del trabajo de grado. Universidad Católica de Colombia
  44. PETERMANN, Jeffrey y SAEED, Athar. Alkali-activated geopolymers. [en línea]. Panamá: A literature review. 2010. Disponible en: [https://pdfs.semanticscholar.org/62d2/d88be30500ae7c1da3dedc6fb4d2ab1bac0a.pdf?\\_ga=2.139191347.1483819642.16054855211945609564.1574946426](https://pdfs.semanticscholar.org/62d2/d88be30500ae7c1da3dedc6fb4d2ab1bac0a.pdf?_ga=2.139191347.1483819642.16054855211945609564.1574946426)
  45. PULIDO Polo, Marta. 2015. Ceremonial y protocolo: métodos y técnicas de investigación científica. Venezuela: Universidad del Zulia, vol. 31, n.o 1, pp. 1137 – 1156. ISSN: 1012-1587
  46. SARATHI Parhi, Partha (2015). Stabilization of expansive soils using alkali activated fly ash. Master of Technology in Civil Engineering. National Institute of Technology Rourkela Odisha, India.
  47. SINAN Coban, Haluk (2016). The use of lime sludge for soil stabilization. Master of science. Iowa State University.
  48. SORIANO, C. (2012). Diagnóstico Nacional del Sector Ladrillero Artesanal. Lima, Perú. Recuperado de: <http://www.redladrilleras.net/assets/files/08f34d2be1d32a80a13a48f2633dd73c.pdf>
  49. SOUTO Soubrier, Joaquín y LOSADA Pinedo, Asier 2016. Selección de técnicas de mejora de suelos en proyectos de obra civil. Publicada en la Revista Tecnología y Equipamiento para las Obras Publicas. Recuperado de: <https://www.interempresas.net/ObrasPublicas/Articulos/163095-Seleccion-de-tecnicas-de-mejora-de-suelos-en-proyectos-de-obra-civil.html>
  50. VÁZQUEZ, Marcelo; GUZMAN, Daniel Sebastián; IÑIGUEZ, Jorge Mateo. Comparación entre propiedades físicas y mecánicas de adobes tradicionales y BTC estabilizados químicamente. En Tierra, sociedad, comunidad: 15° Seminario Iberoamericano de Arquitectura y Construcción con Tierra. Universidad de Cuenca, 2015. p. 154-163. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6085965>

## **ANEXOS**

## ANEXO 1: MATRIZ DE CONSISTENCIA

"Estabilización de suelos arcillosos incorporando cenizas de madera, originadas por ladrilleras artesanales, en la red vial vecinal Antarumi – Macachacra, Ayacucho"						
PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	VARIABLE 1: CENIZAS DE MADERA			TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACION
			DIMENSIONES	INDICADORES	INSTRUMENTO	
¿De qué manera influyen las cenizas de madera, originadas por ladrilleras artesanales, en la estabilización de suelos arcillosos?	Determinar la influencia de las cenizas de madera, originadas por ladrilleras artesanales, en la estabilización de los suelos arcillosos	El uso de cenizas de madera, originadas por ladrilleras artesanales, influirá significativamente la estabilización de suelos arcillosos	Dosificación de la ceniza de madera	17% del peso de la muestra de suelo	Ficha de Recoleccion de Datos	<b>DISEÑO DE INVESTIGACION</b> Observacional No experimental
				21% del peso de la muestra de suelo		
				25% del peso de la muestra de suelo		
PROBLEMA ESPECIFICO	OBJETIVO ESPECIFICO	HIPÓTESIS ESPECIFICO	VARIABLE 2: ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS			
¿Cómo influyen las cenizas de madera, originadas por ladrilleras artesanales, en la cohesión de los suelos arcillosos?	Determinar de qué manera influyen las cenizas de madera, originadas por ladrilleras artesanales, en la cohesión de los suelos arcillosos	El uso de cenizas de madera, originadas por ladrilleras artesanales, influirá en la cohesión de los suelos arcillosos	Límites de Consistencia	Cohesión del suelo (%)	Límite Líquido	<b>NIVEL DE INVESTIGACION</b> Explicativa
					Límite Plástico	
					Índice de Plasticidad	
¿Cómo influyen las cenizas de madera, originadas por ladrilleras artesanales, en la densidad máxima seca de suelos arcillosos?	Determinar de qué manera influyen las cenizas de madera, originadas por ladrilleras artesanales, en la densidad máxima seca de suelos arcillosos	El uso de cenizas de madera, originadas por ladrilleras artesanales, influirá en la densidad máxima seca los suelos arcillosos	Permeabilidad del suelo	Densidad Máxima Seca (g/cm <sup>3</sup> )	Ensayo de Proctor Modificado	<b>ENFOQUE DE INVESTIGACION</b> Cuantitativa
¿Cómo influyen las cenizas de madera, originadas por ladrilleras artesanales, en el óptimo contenido de humedad de suelos arcillosos?	Determinar de qué manera influyen las cenizas de madera, originadas por ladrilleras artesanales, en el óptimo contenido de humedad de suelos arcillosos	El uso de cenizas de madera, originadas por ladrilleras artesanales, influirá en el óptimo contenido de humedad los suelos arcillosos				<b>POBLACION</b> Todos los ensayos de Mecánica de Suelos
¿Cómo influyen las cenizas de madera, originadas por ladrilleras artesanales, en la capacidad de soporte de los suelos arcillosos?	Determinar de qué manera influyen las cenizas de madera, originadas por ladrilleras artesanales, en la capacidad de soporte de suelos arcillosos	El uso de cenizas de madera, originadas por ladrilleras artesanales, influirá en la capacidad de soporte de los suelos arcillosos	Resistencia del suelo	Capacidad de soporte (%)	Ensayo de CBR	<b>MUESTRA</b> Ensayos de laboratorio que se tomarán para este estudio
						<b>TECNICA</b> Observación sistemática

## ANEXO 2: MATRIZ DE CONSISTENCIA

VARIABLE					
Variable independiente	DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	INSTRUMENTOS
<b>Ceniza de madera</b>	Las cenizas de madera(carbón) son residuos de la combustión de carbón pulverizado en centrales térmicas, esta combustión se subdivide en cenizas de fondo, cenizas volantes (definidas así por la norma ASTM) y combinados (Petermann y Saeed, 2012)	La ceniza de madera es el producto de la combustión de un material compuesto por sustancias orgánicas no combustibles. Puede ser expulsada al aire como parte del humo.	Dosificación de la ceniza de madera	17% del peso de la muestra de suelo	Ficha de Recoleccion de Datos
				21% del peso de la muestra del suelo	
				25% del peso de la muestra del suelo	
<b>Variable Dependiente</b>	La estabilización de los suelos o tierras consiste en dar estabilidad al sustrato fijándolo y garantizando la permanencia de su compactación. Se transforma el suelo del que se dispone en material de construcción de calidad especialmente en parcelas de tierra, caminos y lagos artificiales. (Guerrero, 2017)	La estabilización de suelos es el mejoramiento de las propiedades físicas del suelo a través de procedimientos mecánicos o incorporación de productos químicos, naturales o sintéticos.	Limites de Consistencia	Cohesión del suelo (%)	Limite Liquido
Permeabilidad del suelo				Densidad Maxima Seca (g/cm3)	Limite Plastico
				Optimo contenido de Humedad (%)	Indice de plasticidad
<b>Estabilización de suelos arcillosos</b>			Resistencia del suelo	Capacidad de soporte (%)	Ensayo de Proctor Modificado  Ensayo de CBR

ANEXO 4: FICHA DE RECOLECCION DE DATOS #1

FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

<b>AUTOR</b>	ALANYA PALOMINO CÉSAR EDUARDO	
<b>PROYECTO</b>	"Estabilización de suelos arcillosos incorporando cenizas de madera, originadas por ladrilleras artesanales, en la red vial vecinal Antarumi – Macachacra, Ayacucho"	
<b>REFERENCIA DE LA MUESTRA IDENTIFICACION</b>	Nº DE ORDEN	

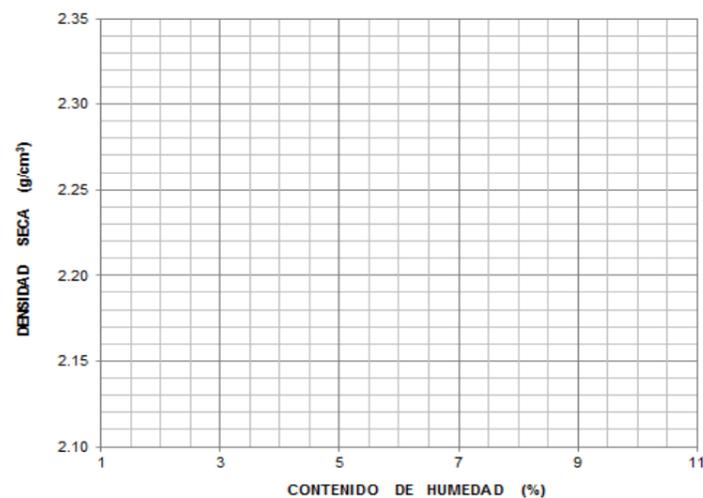
PROCTOR MODIFICADO (ASTM D 1557-02)						CBR DE SUELOS COMPACTADOS EN LABORATORIO (ASTM D 1883-05)											
VOLUMEN DEL MOLDE :		MÉTODO DE COMPACTACIÓN:				VOL. MOLDE : INDICADO		Nº DE CAPAS : 5		CAP. DEL ANILLO : Ton.		F.ANILLO :		0(L. Dial)2 + 3.383(L. Dial) - 5.838			
Nº DE MOLDE						Nº DE MOLDE				Nº MOLDE (57 Golpes)		(25 Golpes)		(12 Golpes)			
Nº GOLPES						Nº DE GOLPES				PEN. (mm)	LEC.DIAL	CARGA(kg)	LEC.DIAL	CARGA(kg)	LEC.DIAL	CARGA(kg)	
P. MOLDE + S. HUMED	(g)					VOLUMEN DE MOLDE	cm <sup>3</sup>			0							
PESO MOLDE	(g)					P. MOLDE + S. HÚMEDO, g				0.5							
PESO SUELO HUMEDC	(g)					PESO MOLDE, g				1.0							
Nº TARRO						PESO SUELO HÚMEDO, g				1.5							
P. TARRO + S. HUMED	(g)					Nº TARRO				2.0							
P. TARRO + S. SECO	(g)					P. TARRO + S. HÚMEDO, g				2.5							
PESO DE AGUA	(g)					P. TARRO + S. SECO, g				3.0							
PESO DE TARRO	(g)					PESO DE AGUA, g				3.5							
PESO SUELO SECO	(g)					PESO DE TARRO, g				4.0							
HUMEDAD	(%)					PESO SUELO SECO, g				4.5							
HUMEDAD PROMEDIC	(%)					CONTENIDO DE HUMEDAD, g				5.0							
DENSIDAD HUMEDA	(g/cm <sup>3</sup> )					DENSIDAD HÚMEDA, g/cm <sup>3</sup> .				7.5							
DENSIDAD SECA	(g/cm <sup>3</sup> )					DENSIDAD SECA, g/cm <sup>3</sup> .				10.0							
<b>ABSORCIÓN</b>						<b>EXPANSIÓN</b>											
Nº MOLDE						FECHA	HORA	LEC. DIAL	LEC. DIAL	LEC. DIAL	MÁXIMA DENSIDAD SECA		(g/cm <sup>3</sup> )				
PESO SUELO HUM. + PLATO + MOLDE	(g)										ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD		(%)				
PESO DEL PLATO + MOLDE	(g)										CBR A 2,5 mm DE PENETRACION AL 100% DE LA M.D.S.		(%)				
PESO SUELO HUMEDO EMBEBIDO	(g)										CBR A 5,0 mm DE PENETRACION AL 100% DE LA M.D.S.		(%)				
PESO SUELO HUMEDO SIN EMBEBER	(g)										SERIE AMERICANA	3/4"	3/8"	Nº 4	Nº200	Pasa Nº200	
PESO DEL AGUA ABSORBIDA	(g)										RETENIDO PARCIAL (%)						
PESO DEL SUELO SECO	(g)					EXPANSIÓN (%)					LÍMITE LÍQUIDO		SUCS				
ABSORCION DE AGUA	(%)										ÍNDICE DE PLASTICIDAD		AASHTO				

PROMEDIO: **0.816**

0.80	 Rafael Parra Bello INGENIERO CIVIL CIP. N° 111803	0.75	 William Rafael Anco Pampa INGENIERO CIVIL CIP. 152402 CIV. N° 009863VCZR	0.90	 Ing. EDGAR SANCHEZ HUAMAN Especialista en Geotecnia CIP. 168434
------	--	------	--	------	--

**ANEXO 5: FICHA DE RECOLECCION DE DATOS #2**

FICHA DE RECOLECCION DE DATOS					
<b>AUTOR</b> :		ALANYA PALOMINO CÉSAR EDUARDO			
<b>PROYECTO</b>		"Estabilización de suelos arcillosos incorporando cenizas de madera, originadas por ladrilleras artesanales, en la red vial vecinal Antarumi – Macachacra, Ayacucho"			
<b>(ASTM D-1557) MTC E 115</b>		<b>ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO</b>			
Nº de Capas:	5	Altura de caída del pisón :	45.72 cm	Peso del pisón :	4.54 Kg
Energía de Compactación Modificada :			27.4 kg-cm/cm <sup>3</sup>		
			Número de Golpes / capa : 25 Golpes		
Peso Suelo Humedo + Molde	(g)				
Peso del Molde	(g)				
Peso Suelo Humedo	(g)				
Volumen del Molde	(cm <sup>3</sup> )				
Densidad Suelo Humedo	(g/cm <sup>3</sup> )				
Tarro N°					
Peso suelo humedo + tarro	(g)				
Peso suelo seco + tarro	(g)				
Peso del agua	(g)				
Peso del tarro	(g)				
Peso suelo seco	(g)				
Contenido de Humedad	(%)				
Promedio de Humedad	(%)				
Densidad del Suelo Seco	(g/cm <sup>3</sup> )				



PREPARACIÓN DE LA MUESTRA		
Serie Americana	Ret. Parc (%)	Pasa (%)
2 1/2"		
2"		
3/4"		
3/8"		
N°4		
<N°4		

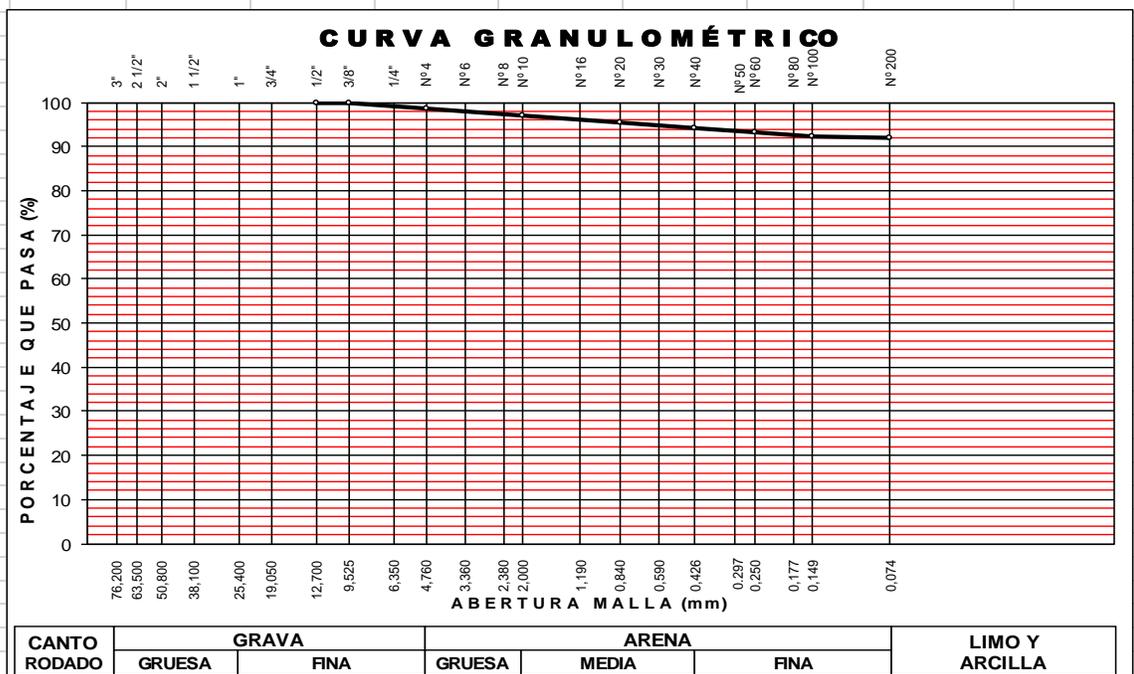
**PROMEDIO: 0.816**

0.80	<div style="text-align: center; font-size: 0.8em;">                       Rafael Parra Bello                      INGENIERO CIVIL                      CIP. N° 111803                 </div>	0.75	<div style="text-align: center; font-size: 0.8em;">                       William Rafael Anco Pampa                      INGENIERO CIVIL                      CIP. 152402                      CIV. N° 009863VCZR                 </div>	0.90	<div style="text-align: center; font-size: 0.8em;">                       Ing. EDGAR SANCHEZ HUAMAN                      Especialista en Geotecnia                      CIP. 168434                 </div>
------	--	------	--	------	--

## ANEXO 6: RESULTADOS DEL EXPEDIENTE TECNICO DE LA ZONA DE ESTUDIO #1

<b>ENSAYOS ESTÁNDAR DE CLASIFICACIÓN</b>			
(ASTM D 422, D 4318, D 2487, D 2216, D 4254, D 854, D 1557)			
Proyecto	: REHABILITACIÓN Y MEJORAMIENTO DEL CAMINO VECINAL REPARTICIÓN ANTARUMI - MACACHACA - MOTOYCCOCHA - PUMAHUASI - QUISPICANCHA		
Solicitante	: ING° RAFAEL PARRA BELLO	Dep.	: AYACUCHO
Descripción	: CALICATA N° 06 Estrato : "B"	Provincia	: HUANTA
Ubicación	: KM 2+500	Distrito	: IGUAIN
Fecha	: MAYO 2019	Lugar	: VARIOS

TAMIZ AS TM	Abertura (mm)	PES O RETENIDO (gr.)	% RETEN PARCIAL	% RETEN ACUMULADO	% QUE PASA	DATOS DEL ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO	
<b>ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO PORTAMIZADO</b>						<b>PESOS (gr.)</b>	
						Peso seco inicial	1280.0
						Peso seco lavado	105.0
						Pérdida por lavado	1175.0
<b>ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO PORTAMIZADO</b>						<b>ENSAYOS ESTÁNDAR</b>	
						Límite Líquido	51.82
<b>ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO PORTAMIZADO</b>						Límite Plástico	33.20
						Índice de Plasticidad	18.62
<b>ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO PORTAMIZADO</b>						Clasificación SUCS	<b>MH</b>
						Clasificación AASTHO	<b>A-7-5 ( 14 )</b>
<b>ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO PORTAMIZADO</b>						Contenido de humedad	9.70%
						Mínima Densidad (gr./cm³)	
<b>ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO PORTAMIZADO</b>						Peso Específico de los sólidos	
						Máxima Densidad Seca (gr./cm³)	
<b>ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO PORTAMIZADO</b>						Humedad Óptima (%)	
	3"	76.200					
	2 1/2"	63.500					
	2"	50.800					
	1 1/2"	38.100					
	1"	25.400					
	3/4"	19.050					
	1/2"	12.700			100.00		
	3/8"	9.525	4.00	0.31	99.69		
	1/4"	6.350					
	N° 4	4.760	14.00	1.09	1.41	98.59	
	N° 6	3.360					
	N° 8	2.380					
	N° 10	2.000	21.00	1.64	3.05	96.95	
	N° 16	1.190					
	N° 20	0.840	18.00	1.41	4.45	95.55	
	N° 30	0.590					
	N° 40	0.426	16.00	1.25	5.70	94.30	
	N° 50	0.297					
	N° 60	0.250	13.00	1.02	6.72	93.28	
	N° 80	0.177					
	N° 100	0.149	13.00	1.02	7.73	92.27	
	N° 200	0.074	5.00	0.39	8.13	91.88	
	Fondo		1.00	0.08	8.20	91.80	
	Lavado		1175.00	91.80	100.00		
TOTAL		1176.0	91.88				



**ANEXO 7: RESULTADOS DEL EXPEDIENTE TECNICO DE LA ZONA DE ESTUDIO #2**

<b>ENSAYO DE CONSTANTES FÍSICAS</b>						
<b>(ASTM D-4318)</b>						
Proyecto	: REHABILITACIÓN Y MEJORAMIENTO DEL CAMINO VECINAL REPARTICIÓN ANTARUMI - MACACHACA - MOTOYCCOCHA - PUMAHUASI - QUISPICANCHA					
Solicitante	: ING° RAFAEL PARRA BELLO			Dep.	: AYACUCHO	
Descripción	: CALICATA N° 06 Estrato : "B"			Provincia	: HUANTA	
Ubicación	: KM 2+500			Distrito	: IGUAIN	
Fecha	: MAYO 2019			Lugar	: VARIOS	
DESCRIPCIÓN		LIMITE LIQUIDO		LIMITE PLÁSTICO		
Ensayo	(N°)	1	2	1	2	
Capsula	(N°)	54	53	15	16	
Peso Capsula + Suelo Húmedo	(gr.)	41.93	43.26	10.15	11.20	
Peso Capsula + Suelo Seco	(gr.)	36.05	36.90	8.56	9.35	
Peso Agua	(gr.)	5.88	6.36	1.59	1.85	
Peso de la Capsula	(gr.)	25.00	24.40	3.76	3.78	
Peso Suelo Seco	(gr.)	11.05	12.50	4.80	5.57	
Contenido de Humedad	(%)	53.21	50.88	33.13	33.21	
Número de Golpes		15	35			
RESULTADOS DE ENSAYO						
Limite Líquido (%)	51.82	Limite Plástico (%)	33.20	Índice Plástico (%)	18.62	

## **ANEXO 8: Certificados de ensayos de laboratorio**

**TESIS 1:** “Estabilización de suelos con ceniza de carbón para su uso como subrasante mejorada”

**TESISTA:** Goñas Labajos, Olger

### **CARATULA DE LA TESIS**



**UNIVERSIDAD NACIONAL  
TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS**

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

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO CIVIL**

**ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON CENIZAS DE  
CARBÓN PARA USO COMO SUBRASANTE MEJORADA**

**Autor:** Bach. Olger Goñas Labajos

**Asesor:** Ing. Jhon Hilmer Saldaña Núñez

**CHACHAPOYAS-PERÚ**

**2019**

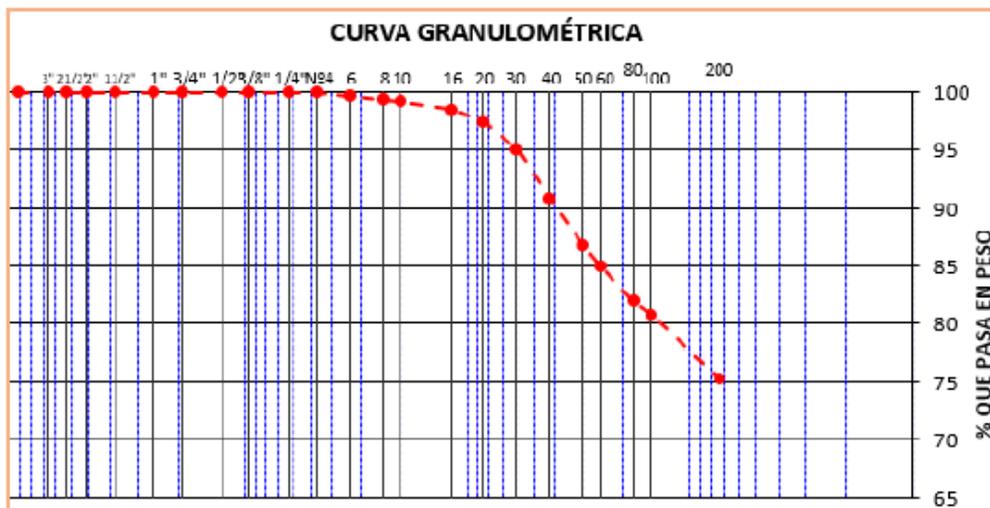
## ANALISIS GRANULOMETRICO

Tabla 5. Gradación granulométrica de la muestra de la calicata 2.

Tamices ASTM	Abertura (mm)	Peso Retenido	Retenido Parcial	Retenido Acumulado	Porcentaje que Pasa
6	3.350	0.8	0.3	0.3	99.7
8	2.360	1.0	0.3	0.6	99.4
10	2.000	0.5	0.2	0.8	99.2
16	1.180	1.9	0.7	1.4	98.6
20	0.850	3.1	1.0	2.5	97.5
30	0.600	7.4	2.5	4.9	95.1
40	0.425	12.5	4.2	9.1	90.9
50	0.300	12.3	4.1	13.2	86.8
60	0.250	5.5	1.8	15.0	85.0
80	0.180	9.1	3.1	18.0	82.0
100	0.150	3.4	1.1	19.2	80.8
200	0.074	16.3	5.4	24.6	75.4
Pasante		226.2	75.4	100.0	

En la tabla 5 el porcentaje retenido en el tamiz 4 perteneciente a gravas es el 0.0%, el porcentaje retenido en el tamiz 200 es del 24.6% perteneciente a arena y el porcentaje pasante de finos es del 75.4%.

Figura 2. Curva granulométrica de la muestra de la calicata 2.



## LIMITES DE ATTERBERG

### 3.1.3.Límites de consistencia.

En los resultados de la Tabla 6 se pueden observar que las muestras en estado natural presentan mayor plasticidad que las muestras adicionada cenizas de carbón.

Tabla 6. Resumen de los límites de consistencia de las calicatas 1 y 2.

MUESTRA	LIMITES DE CONSISTENCIA		
	Límite líquido	Límite plástico	Índice de plasticidad
C-1	51	27	24
C-1+15%CC	52	31	21
C-1+20%CC	53	34	19
C-1+25%CC	55	39	16
C-2	51	33	18
C-2+15%CC	52	35	17
C-2+20%CC	54	39	15
C-2+25%CC	55	42	13

Con los resultados de los límites de consistencia y gradación granulométrica, se presenta la clasificación SUCS y AASHTO en la Tabla 7 de las muestras analizadas en estado natural.

## ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

### 3.1.4. Compactación proctor estándar

Se presenta los resultados del ensayo proctor estándar donde se indican valores de óptimo contenido de humedad y máxima densidad seca en las Tabla 8 y 9; en las figuras 3 y 5 se grafican la variación de la máxima densidad seca al adicionarle cenizas de carbón a las muestras y en las figuras 4 y 6 se grafican la variación del óptimo contenido de humedad, con los porcentajes de cenizas de carbón adicionados.

Tabla 8. Óptimo contenido de humedad y máxima densidad seca calicata 1 y adición de cenizas de carbón (15%, 20% y 25%).

Tabla 9. Óptimo contenido de humedad y máxima densidad seca, calicata 2 y adición de cenizas de carbón (15%, 20% y 25%).

MUESTRA	PROCTOR ESTANDAR	
	óptimo contenido de humedad (%)	máxima densidad seca ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ )
C-2	21.3	1.473
C-2 + 15%CC	26.5	1.525
C-2 + 20%CC	26.7	1.551
C-2 + 25%CC	29.1	1.571

Figura 5. Variación de la máxima densidad seca con los porcentajes adicionados de CC - calicata 2.

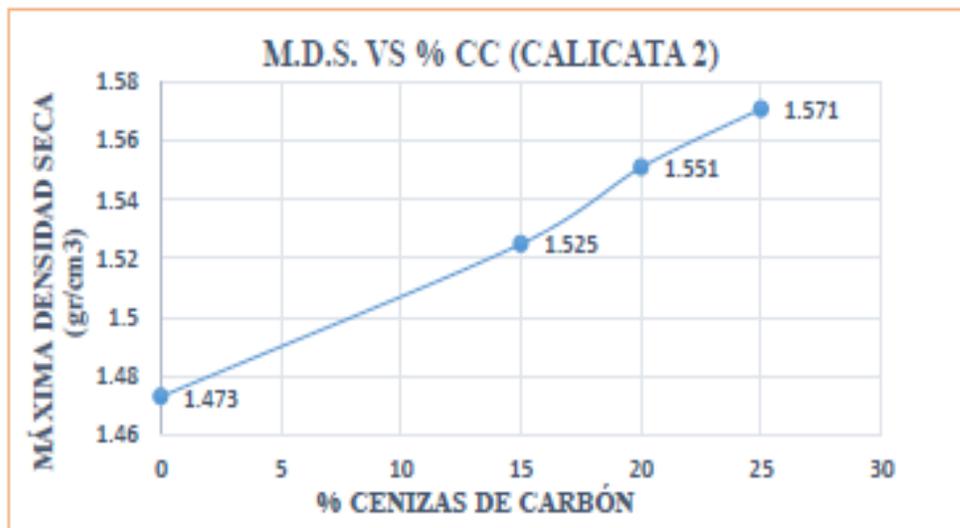
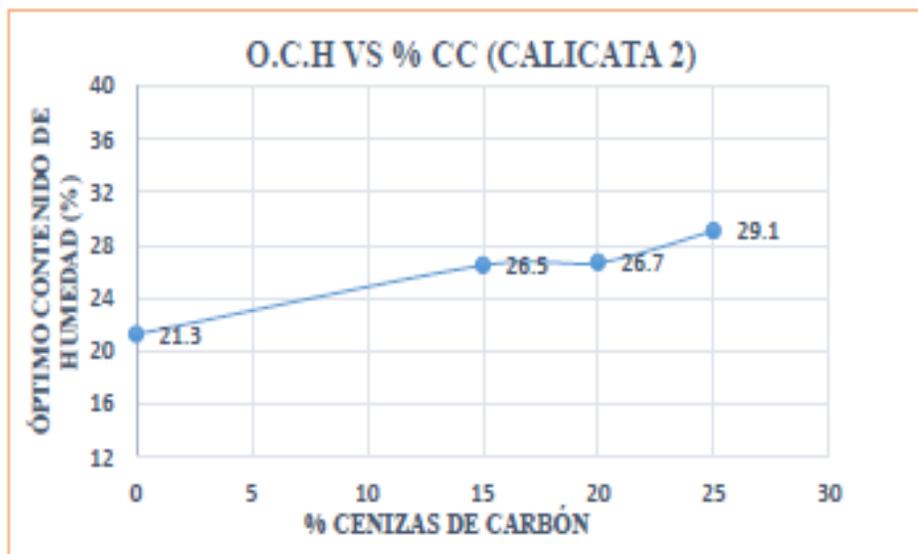


Figura 6. Variación del óptimo contenido de humedad con los porcentajes adicionados de CC-calicata 2.



## ENSAYO DE CBR

### 3.1.5. California bearing ratio (CBR)

Tabla 10. Resultados obtenidos del ensayo de CBR al 95% MDS de la muestra patrón.

Mezcla	Adición (%)	Calicata	CBR (%)	Prom.	Categoría de subrasante
MP-01	0	1	2.0	2.1	Subrasante Inadecuada
MP-02	0	1	2.0		
MP-03	0	1	2.1		
MP-04	0	1	2.1		
MP-05	0	1	2.1		
MP-06	0	2	2.1	2.2	Subrasante Inadecuada
MP-07	0	2	2.2		
MP-08	0	2	2.2		
MP-09	0	2	2.2		
MP-10	0	2	2.2		

\*\*MP: muestra patrón.

Tabla 11. Resultados obtenidos del ensayo de CBR al 95% MDS de la muestra adicionada el 15% CC.

Mezcla	Adición (%)	Calicata	CBR (%)	Prom.	Categoría de subrasante
MCC-01	15	1	2.1	2.3	Subrasante Inadecuada
MCC-02	15	1	2.2		
MCC-03	15	1	2.1		
MCC-04	15	1	2.4		
MCC-05	15	1	2.5		
MCC-06	15	2	2.7	2.6	Subrasante Inadecuada
MCC-07	15	2	2.6		
MCC-08	15	2	2.6		
MCC-09	15	2	2.7		
MCC-10	15	2	2.6		

\*\*MCC: muestra adicionada cenizas de carbón.

Tabla 12. Resultados obtenidos del ensayo de CBR al 95% MDS de la muestra adicionada el 20% CC.

Mezcla	Adición (%)	Calicata	CBR (%)	Prom.	Categoría de subrasante
MCC-01	20	1	2.9	2.9	Subrasante Inadecuada
MCC-02	20	1	2.8		
MCC-03	20	1	2.9		
MCC-04	20	1	2.8		
MCC-05	20	1	3.1		
MCC-06	20	2	2.9	3.0	Subrasante Inadecuada
MCC-07	20	2	3.0		
MCC-08	20	2	2.9		
MCC-09	20	2	3.0		
MCC-10	20	2	3.0		

Tabla 13. Resultados obtenidos del ensayo de CBR al 95% MDS de la muestra adicionada el 25% CC.

Mezcla	Adición (%)	Calicata	CBR (%)	Prom.	Categoría de subrasante
MCC-01	25	1	3.5	3.5	Subrasante Pobre
MCC-02	25	1	3.5		
MCC-03	25	1	3.4		
MCC-04	25	1	3.3		
MCC-05	25	1	3.6		
MCC-06	25	2	3.7	3.7	Subrasante Pobre
MCC-07	25	2	3.6		
MCC-08	25	2	3.7		
MCC-09	25	2	3.7		
MCC-10	25	2	3.6		

Figura 7. Comparación CBR-Porcentaje de adición.

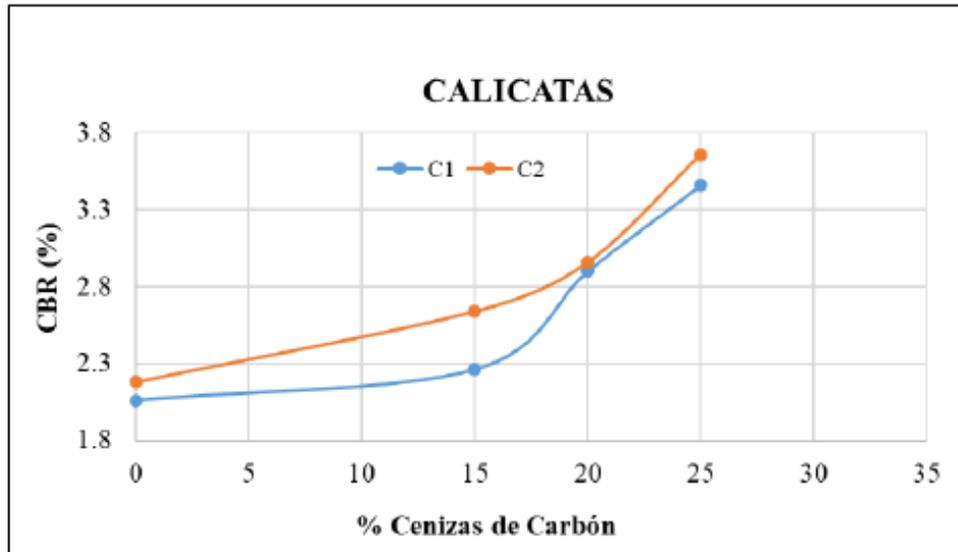
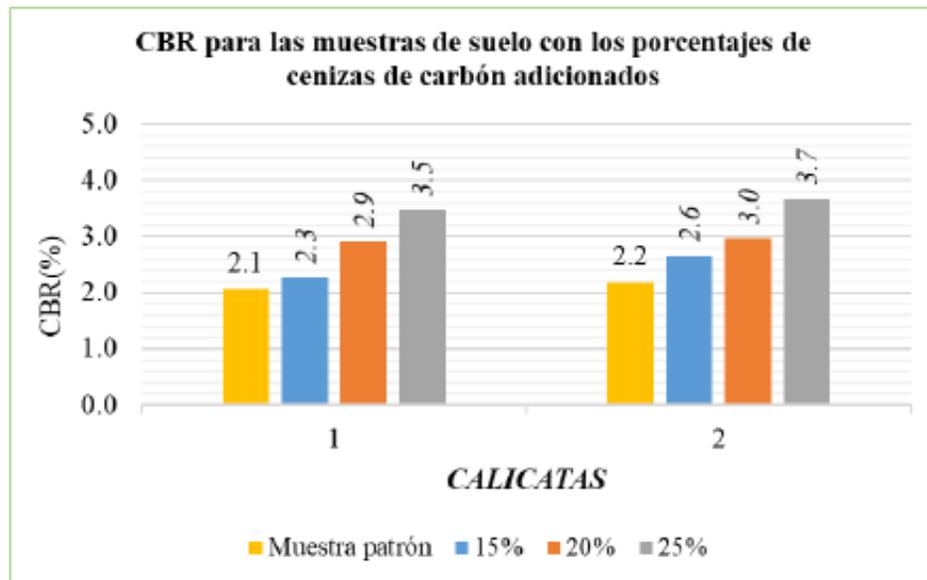


Figura 8. CBR de las calicatas 1 y 2 adicionadas cenizas de carbón.

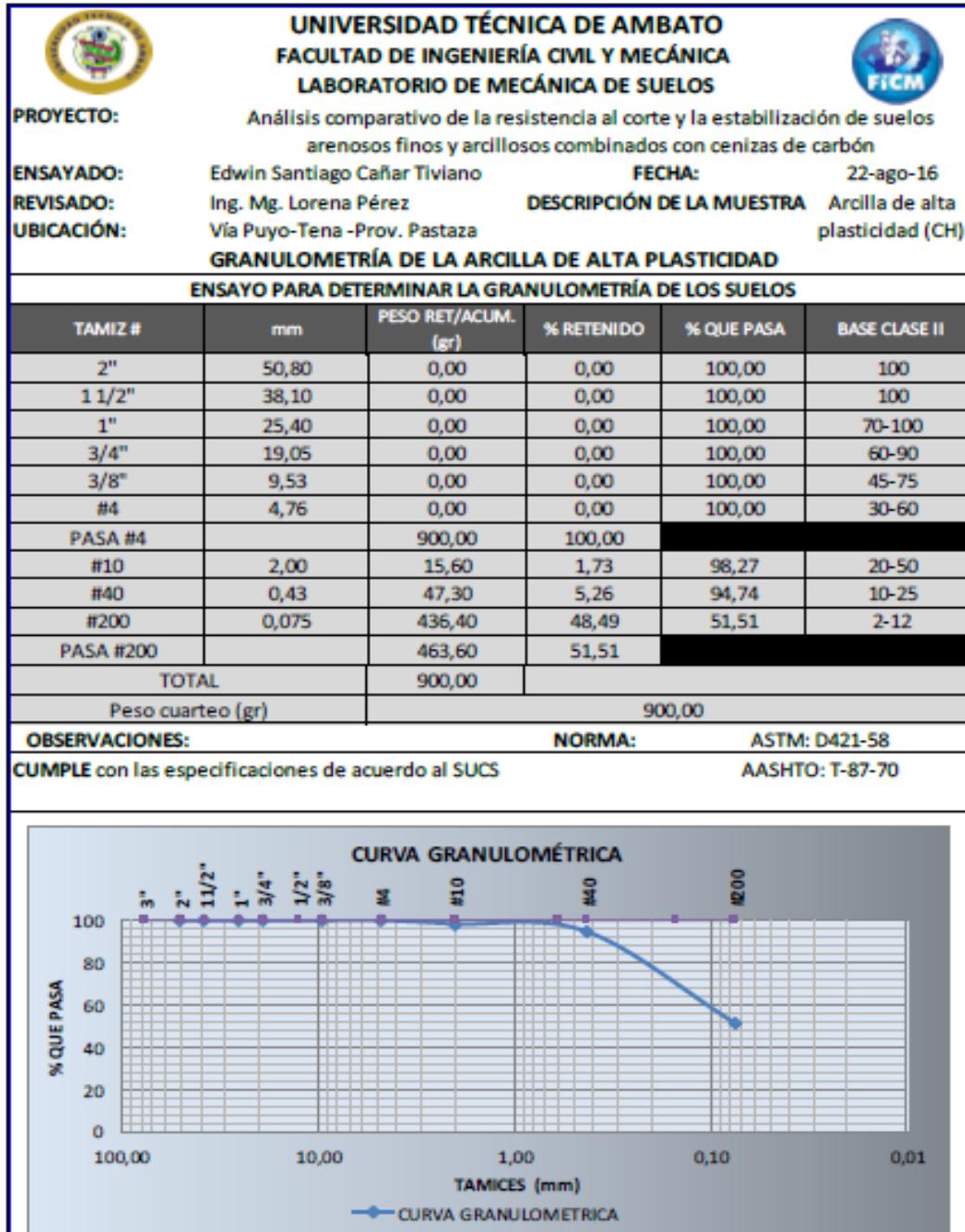


## ANEXO 9: Certificados de ensayos de laboratorio

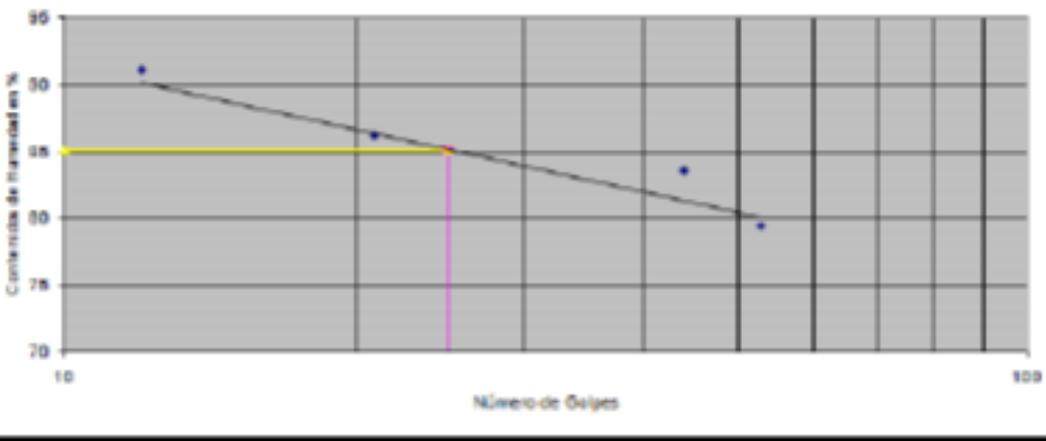
**TESIS 2:** “Análisis comparativo de la resistencia al corte y estabilización de suelos arenosos finos y arcillosos combinadas con ceniza de carbón”

**TESISTA:** Cañar Tiviano, Edwin Santiago

### ANALISIS GRANULOMETRICO



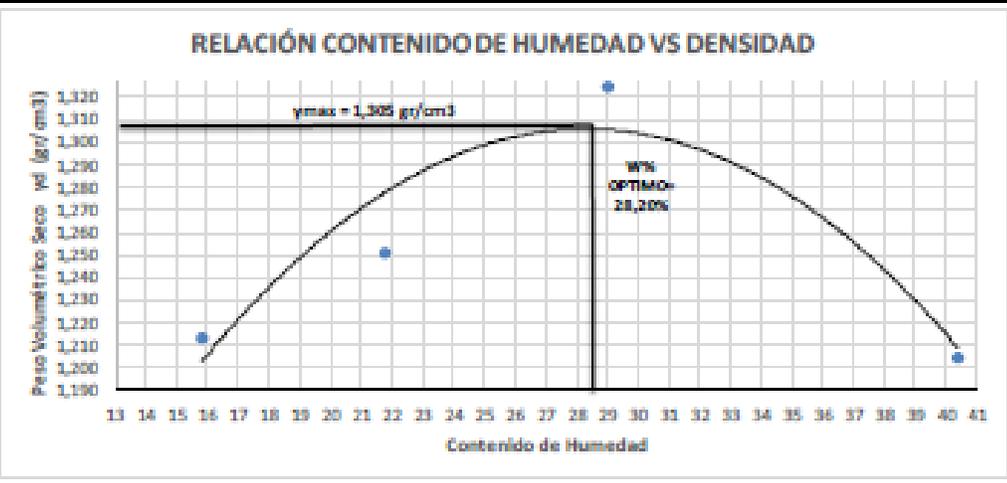
# LIMITES DE ATTERBERG

	<b>UNIVERSIDAD TECNICA DE AMBATO</b>								
<b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b>									
<b>LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS</b>									
<b>PROYECTO:</b>	Análisis comparativo de la resistencia al corte y la estabilización de suelos arenosos finos y arcillosos combinados con cenizas de carbón								
<b>DETERMINACIÓN DE LOS LÍMITES DE PLASTICIDAD DE SUELOS ARCILLOSOS DE ALTA PLASTICIDAD (CH)</b>									
<b>UBICACIÓN:</b>	Vía Payo-Tena -Prov. Pastaza	<b>ENSAYADO POR:</b> Edwin Santiago Cañar Trivino							
<b>NORMAS:</b>	ASTM-D424-59-74 AASHTO: T-90-70	<b>REVISADO POR:</b> Ing. Mg. Lorena Pérez <b>FECHA:</b> 24-ago-16 <b>DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA:</b> Arcilla de alta plasticidad CH							
<b>1 Determinación del Límite Líquido del suelo analizado Lp%</b>									
Recipiente número	6	8	11	16	17	41	45	46	
Peso húmedo + recipiente	W <sub>h</sub> +w <sub>ec</sub>	24,80	25,10	27,10	28,20	26,00	25,60	33,80	
Peso seco + recipiente	W <sub>s</sub> +w <sub>ec</sub>	18,10	18,40	19,70	20,60	19,20	19,20	23,80	
Peso recipiente	w <sub>ec</sub>	10,80	11,00	11,20	11,70	11,10	11,50	11,30	
Peso del agua	W <sub>w</sub>	6,70	6,70	7,40	7,60	6,80	6,40	10,00	
Peso de los sólidos	W <sub>s</sub>	7,30	7,40	8,50	8,90	8,10	7,70	12,50	
Contenido de humedad	w%	91,78	90,54	87,06	85,39	83,95	83,12	80,00	
Contenido de humedad promedio	w%	91,16		86,23		83,53		79,52	
Número de golpes		12,00		21,00		44,00		53,00	
<b>2 Determinación Gráfica</b>									
									
<b>1 Determinación del Límite Plástico del suelo analizado Lp%</b>									
Recipiente número	8	9	18	21	29				
Peso húmedo + recipiente	W <sub>h</sub> +w <sub>ec</sub>	7,4	7,4	8	7,3	7,2			
Peso seco + recipiente	W <sub>s</sub> +w <sub>ec</sub>	6,8	6,8	7,4	6,8	6,8			
Peso recipiente	w <sub>ec</sub>	5,9	5,9	6,2	6	6,1			
Peso del agua	W <sub>w</sub>	0,60	0,60	0,60	0,50	0,40			
Peso de los sólidos	W <sub>s</sub>	0,90	0,90	1,20	0,80	0,70			
Contenido de humedad	w%	66,67	66,67	50,00	62,50	57,14			
Contenido de humedad promedio	w%	65,28							
<b>LÍMITE LÍQUIDO Lp%</b>	85,15								
<b>LÍMITE PLÁSTICO Lp%</b>	65,28								
<b>ÍNDICE DE PLASTICIDAD Ip%</b>	19,87								
<b>CLASIFICACIÓN AASHTO</b>									
<b>CLASIFICACIÓN SUCS</b>									
			<b>SERIES DE NUMERO DE GOLPES</b>						
			X1	25	Y1	0			
			X2	25	Y2	85,15			
			<b>SERIES DE VARIACION DE HUMEDAD</b>						
			X1	10	Y1	85,15			
			X2	25	Y2	85,15			

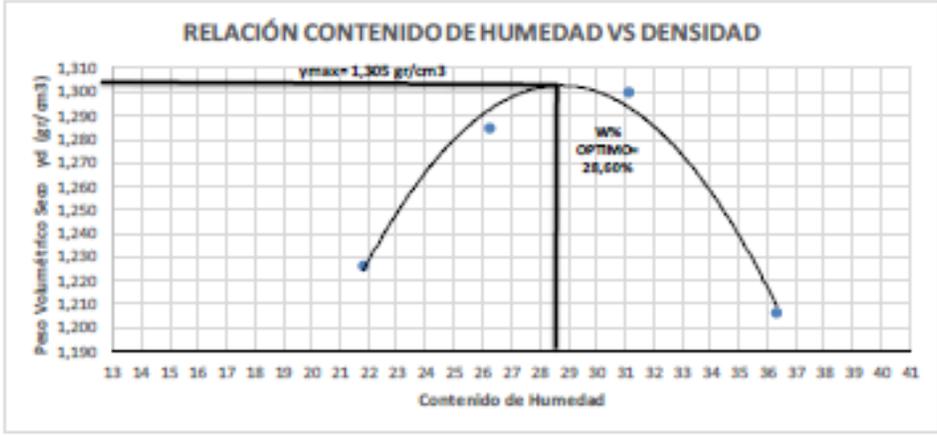
# PROCTOR MODIFICADO DEL SUELO ARCILLOSO

UNIVERSIDAD TECNICA DE AMBATO		FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECANICA		LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS				
<b>PROYECTO:</b>	Análisis comparativo de la resistencia al corte y la estabilización de suelos arenosos finos y arcillosos combinados con cenizas de carbón							
<b>ENSAYADO:</b>	Edwin Santiago Cañar Tiviano	<b>FECHA :</b>	31-ago-16					
<b>REVISADO:</b>	Ing. Mg. Lorena Pérez	<b>DESCRIPCIÓN DE LA</b>						
<b>UBICACIÓN:</b>	Vía Puyo-Tena -Prov. Pastaza	<b>MUESTRA</b>	CH(Arcilla de alta plasticidad)					
ENSAYO DE COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO								
ESPECIFICACIONES								
Número de Golpes	56	Altura de Caída	18"	Peso del Molde	15493 gr			
Número de Capas	5	Peso del Martillo	10 lb	Volumen del Molde	2314,23 cm <sup>3</sup>			
Energía de Compactación	Normas: AASHTO		T-180					
Peso Inicial Deseado	6000	6000	6000	6000	6000			
1. PROCESO DE COMPACTACIÓN								
Ensayo Numero	1	2	3	4				
Humedad inicial añadida en %	6	12	18	24				
P. molde/Suelo húmedo (gr)	18893	19101	19303	19041				
Peso suelo húmedo Wm (gr)	3400	3608	3810	3548				
Peso unitario húmedo ym (gr/cm <sup>3</sup> )	1,469	1,559	1,646	1,533				
2. DETERMINACIÓN DE CONTENIDOS DE HUMEDAD								
Recipiente numero	16	39	21	48	21	7	18	1
Peso del recipiente W <sub>r</sub>	26,4	27,8	25,7	25,8	25,8	24,3	24	24,8
Rec+suelo húmedo W <sub>r</sub> +W <sub>m</sub>	110,6	111,8	110,2	110,7	111,9	111,2	109,6	110,5
Rec+suelo seco W <sub>s</sub> + W <sub>m</sub>	96,5	97,7	94,7	95,6	92,5	92,7	87,5	88,2
Peso sólidos W <sub>s</sub>	70,1	69,9	69	69,8	66,7	68,4	63,5	63,4
Peso del agua W <sub>w</sub>	14,1	14,1	15,5	15,1	19,4	18,5	22,1	22,3
Cont. Humedad w%	20,11	20,17	22,46	21,63	29,09	27,05	34,80	35,17
Cont. Humedad promedio w%	20,14		22,05		28,07		34,99	
Peso Volumétrico Seco γ <sub>d</sub> (gr/cm <sup>3</sup> )	1,223		1,277		1,286		1,136	
3. DETERMINACIÓN GRÁFICA DE LA DENSIDAD MÁXIMA Y HUMEDAD ÓPTIMA								
4. DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO								
La densidad máxima alcanzada según el ensayo realizado corresponde a 1,300 gr/cm <sup>3</sup> , y considerando el grafico su contenido de humedad optimo es 26,20%, los valores pueden variar al momento de apreciar la gráfica, por tal motivo los valores a seleccionar se podría escoger entre un rango del 1%.								

## PROCTOR MODIFICADO CON 20% DE CENIZA

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS			
<b>PROYECTO:</b>	Análisis comparativo de la resistencia al corte y la estabilización de suelos arenosos finos y arcillosos combinados con cenizas de carbón		
<b>ENSAYADO:</b>	Edwin Santiago Cañar Tiviano	<b>FECHA :</b>	01-sep-16
<b>REVISADO:</b>	Ing. Mg. Lorena Pérez	<b>DESCRIPCIÓN DE LA</b>	
<b>UBICACIÓN:</b>	Vía Puyo-Tena -Prov. Pastaza	<b>MUESTRA</b>	CH(Arcilla de alta plasticidad)
ENSAYO DE COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO			
ESPECIFICACIONES			
Número de Golpes	56	Altura de Caída	18"
Número de Capas	5	Peso del Martillo	10lb
Energía de Compactación		Normas:	AASHTO T-180
Peso Inicial Deseado	6000		6000
			6000
			6000
1. PROCESO DE COMPACTACIÓN			
Ensayo Numero	1	2	3
Humedad Inicial añadida en %	8	16	24
P. moldes Suelo húmedo (gr)	18398	18673	19104
Peso suelo húmedo Wm (gr)	3261	3536	3967
Peso unitario húmedo ym (gr/cm <sup>3</sup> )	1,405	1,524	1,710
			1,692
2. DETERMINACIÓN DE CONTENIDOS DE HUMEDAD			
Recipiente numero	3	12	11
	10	6	7
	19	70	
Peso del recipiente W <sub>r</sub>	30,9	30,6	30,2
	30,5	30,5	30,4
	31	31	31
Rec-suelo húmedo W <sub>r</sub> +W <sub>m</sub>	112,2	112,7	119,7
	118,9	106,7	105,8
	122,7	122,8	
Rec-suelo seco W <sub>s</sub> + W <sub>m</sub>	101,1	101,5	103,8
	103	89,9	88,5
	96,4	96,4	96,3
Peso sólidos W <sub>s</sub>	70,2	70,9	73,6
	72,5	59,4	58,1
	65,4	65,4	65,3
Peso del agua W <sub>w</sub>	11,1	11,2	15,9
	15,9	16,8	17,3
	26,3	26,5	
Cont. Humedad w%	15,81	15,80	21,60
		21,93	28,28
		29,78	40,21
		40,58	
Cont. Humedad promedio w%	15,80		21,77
			29,03
			40,40
Peso Volumétrico Seco γ <sub>d</sub> (gr/cm <sup>3</sup> )	1,214		1,252
			1,325
			1,205
3. DETERMINACIÓN GRÁFICA DE LA DENSIDAD MÁXIMA Y HUMEDAD ÓPTIMA			
			
4. DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO			
La densidad máxima alcanzada según el ensayo realizado corresponde a 1,305 gr/cm <sup>3</sup> , y considerando el gráfico su contenido de humedad óptimo es 28,20%, los valores pueden variar al momento de apreciar la gráfica, por tal motivo los valores a seleccionar se podría escoger entre un rango del 1%.			

## PROCTOR MODIFICADO CON 23% DE CENIZA

 <b>UNIVERSIDAD TECNICA DE AMBATO</b> FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECANICA LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS			
<b>PROYECTO:</b>	Análisis comparativo de la resistencia al corte y la estabilización de suelos arenosos finos y arcillosos combinados con cenizas de carbón		
<b>ENSAYADO:</b>	Edwin Santiago Cañar Tiviano	<b>FECHA :</b>	06-sep-16
<b>REVISADO:</b>	Ing. Mg. Lorena Pérez	<b>DESCRIPCIÓN DE LA</b>	
<b>UBICACIÓN:</b>	Vía Puyo-Tena -Prov. Pastaza	<b>MUESTRA</b>	CH(Arcilla de alta plasticidad)
ENSAYO DE COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO			
ESPECIFICACIONES			
Número de Golpes	56	Altura de Caída	18"
Número de Capas	5	Peso del Martillo	10 lb
Energía de Compactación		Norma:	AASHTO T-180
Peso Inicial Deseado	6000		6000
			6000
			6000
1. PROCESO DE COMPACTACIÓN			
Ensayo Numero	1	2	3
Humedad Inicial añadida en %	8	16	24
P. molde+Suelo húmedo (gr)	18951	19248	19440
Peso suelo húmedo Wm (gr)	3458	3755	3947
Peso unitario húmedo ym (gr/cm3)	1,494	1,623	1,706
			1,645
2. DETERMINACIÓN DE CONTENIDOS DE HUMEDAD			
Recipiente numero	18	30	72
	62	29	35
	13	17	
Peso del recipiente W <sub>r</sub>	30,9	30,9	31,2
	30,8	30,9	31
	31,1	30,4	
Rec+suelo húmedo W <sub>r</sub> +W <sub>m</sub>	113,9	113,9	121
	122,8	121,8	121,2
	126,7	125	
Rec+suelo seco W <sub>s</sub> + W <sub>m</sub>	98,3	99,8	102,4
	103,6	100,2	99,8
	101,1	99,9	
Peso sólidos W <sub>s</sub>	67,4	68,9	71,2
	72,8	69,3	68,8
	70	69,5	
Peso del agua W <sub>w</sub>	15,6	14,1	18,6
	19,2	21,6	21,4
	25,6	25,1	
Cont. Humedad w%	23,15	20,46	26,12
	26,37	31,17	31,10
	36,57	36,12	
Cont. Humedad promedio w%	21,80	26,25	31,14
	36,34		
Peso Volumétrico Seco y <sub>d</sub> (gr/cm3)	1,227	1,285	1,301
	1,207		
3. DETERMINACIÓN GRÁFICA DE LA DENSIDAD MÁXIMA Y HUMEDAD ÓPTIMA			
			
4. DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO			
La densidad máxima alcanzada según el ensayo realizado corresponde a 1,305 gr/cm <sup>3</sup> , y considerando el grafico su contenido de humedad óptimo es 26,20%, los valores pueden variar al momento de apreciar la gráfica, por tal motivo los valores a seleccionar se podría escoger entre un rango del 1%.			

## PROCTOR MODIFICADO CON 25% DE CENIZA

	<b>UNIVERSIDAD TECNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECANICA</b> <b>LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS</b>	
<b>PROYECTO:</b>	Análisis comparativo de la resistencia al corte y la estabilización de suelos arenosos finos y arcillosos combinados con cenizas de carbón	
<b>ENSAYADO:</b>	Edwin Santiago Cañar Tiviano	<b>FECHA :</b> 07-sep-16
<b>REVISADO:</b>	Ing. Mg. Lorena Pérez	<b>DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA:</b> CH (Arcilla de alta plasticidad)
<b>UBICACIÓN:</b>	Vía Puyo-Tena -Prov. Pastaza	
<b>ENSAYO DE COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO</b>		
<b>ESPECIFICACIONES</b>		
Número de Golpes	56	Altura de Caída 18"
Número de Capas	5	Peso del Martillo 10 lb
Energía de Compactación		Normas: AASHTO T-180
Peso Inicial Deseado	6000	6000
		Peso del Molde 15493 gr
		Volumen del Molde 2314,22 cm <sup>3</sup>
<b>1. PROCESO DE COMPACTACIÓN</b>		
Ensayo Numero	1	2
Humedad inicial añadida en %	8	16
P. molde/Suelo húmedo (gr)	18811	19101
Peso suelo húmedo Wm (gr)	3318	3608
Peso unitario húmedo ym (gr/cm <sup>3</sup> )	1,434	1,559
		3
		4
		19385
		3892
		1,682
		1,576
<b>2. DETERMINACIÓN DE CONTENIDOS DE HUMEDAD</b>		
Recipiente numero	18	30
Peso del recipiente W <sub>r</sub>	30,9	30,9
Rec+suelo húmedo W <sub>r</sub> +W <sub>m</sub>	113,9	113,9
Rec+suelo seco W <sub>s</sub> + W <sub>m</sub>	99,3	99,4
Peso sólidos W <sub>s</sub>	68,4	68,5
Peso del agua W <sub>w</sub>	14,6	14,5
Cont. Humedad w%	21,35	21,17
Cont. Humedad promedio u%	21,26	24,53
Peso Volumétrico Seco γ <sub>d</sub> (gr/cm <sup>3</sup> )	1,182	1,252
		62
		29
		35
		13
		17
		31,2
		30,8
		30,9
		31
		31,1
		30,4
		121
		122,8
		121,8
		121,2
		126,7
		125
		102,9
		105,1
		101,9
		100,8
		100
		98,4
		71,7
		74,3
		71
		69,8
		68,9
		68
		18,1
		17,7
		19,9
		20,4
		26,7
		26,6
		28,03
		29,23
		38,75
		39,12
		24,53
		28,63
		1,307
		1,135
<b>3. DETERMINACIÓN GRÁFICA DE LA DENSIDAD MÁXIMA Y HUMEDAD ÓPTIMA</b>		
		
<b>4. DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO</b>		
La densidad máxima alcanzada según el ensayo realizado corresponde a 1,305 gr/cm <sup>3</sup> , y considerando el gráfico su contenido de humedad óptimo es 29,40%, los valores pueden variar al momento de apreciar la gráfica, por tal motivo los valores a seleccionar se podría escoger entre un rango del 1%.		

## ENSAYO DE COMPACTACION (CBR)

	<b>UNIVERSIDAD TECNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS</b>								
Análisis comparativo de la resistencia al corte y la estabilización de suelos arenosos finos y arcillosos combinados con cenizas de carbón									
<b>PROYECTO:</b>									
<b>ENSAYADO:</b>	Edwin Santiago Cañar Tiviano	<b>FECHA:</b> 03/10/2016							
<b>REVISADO:</b>	Ing. Mg. Lorena Pérez	<b>DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA:</b> Arcilla de alta plasticidad (CH)							
<b>UBICACIÓN:</b>	Vía Puyo-Tena -Prov. Pastaza								
<b>ENSAYO DE COMPACTACIÓN (CBR)</b>									
ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO									
<b>TIPO:</b>	PROCTOR MODIFICADO	<b>PESO DEL MARTILLO:</b> 10 lb							
<b>NORMA:</b>	AASHTO T-180	<b>ALTURA DE CAIDA:</b> 18"							
<b>PESO MUESTRA (gr):</b>	6000	<b>CONT. HUMEDAD ÓPTIMO (%):</b> 26,20							
<b>ENSAYO DE COMPACTACION C.B.R.</b>									
<b>MOLDE</b>	1	2	3						
<b>N° de Capas</b>	5	5	5						
<b>N° de Golpes</b>	56	27	11						
<b>Cond. Muestra</b>	Antes del Remojo	Despues del Remojo	Antes del Remojo	Despues del Remojo	Antes del Remojo	Despues del Remojo			
P. Hum. + Molde	19107	19194	19268	19455	18621	18925			
Peso Molde	14729	14729	15493	15493	15132	15132			
P. Humedo	4378	4465	3775	3962	3489	3793			
Volumen Muestra	2301,50	2301,50	2292,90	2292,90	2280,33	2280,33			
Densidad Humedad	1,902	1,940	1,646	1,728	1,530	1,663			
Densidad Seca	1,384	1,412	1,224	1,284	1,140	1,239			
Den. Seca Prom.	1,398		1,254		1,189				
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>									
<b>Recipiente N°</b>	30	19	1A	18	3	2A	12	17	3A
P. Hum. + Recipiente	121,8	132,5		112,2	121,7		121,3	126,2	
P. Seco + Recipiente	97,1	104,8		91,3	98,4		98,2	101,7	
Peso Recipiente	30,9	31		30,9	30,9		30,6	30,4	
Peso Agua	24,7	27,7		20,9	23,3		23,1	24,5	
Peso de Sólidos	66,2	73,8		60,4	67,5		67,6	71,3	
Contenido Humedad %	37,31	37,53		34,60	34,52		34,17	34,36	
Con. Hum. Prom. %	37,42			34,56			34,27		



**UNIVERSIDAD TECNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECANICA**



**PROYECTO:** Análisis comparativo de la resistencia al corte y la estabilización de suelos arenosos finos y arcillosos combinados con cenizas de carbón

**ENSAYADO:** Edwin Santiago Cañar

**FECHA:** 05/10/2016

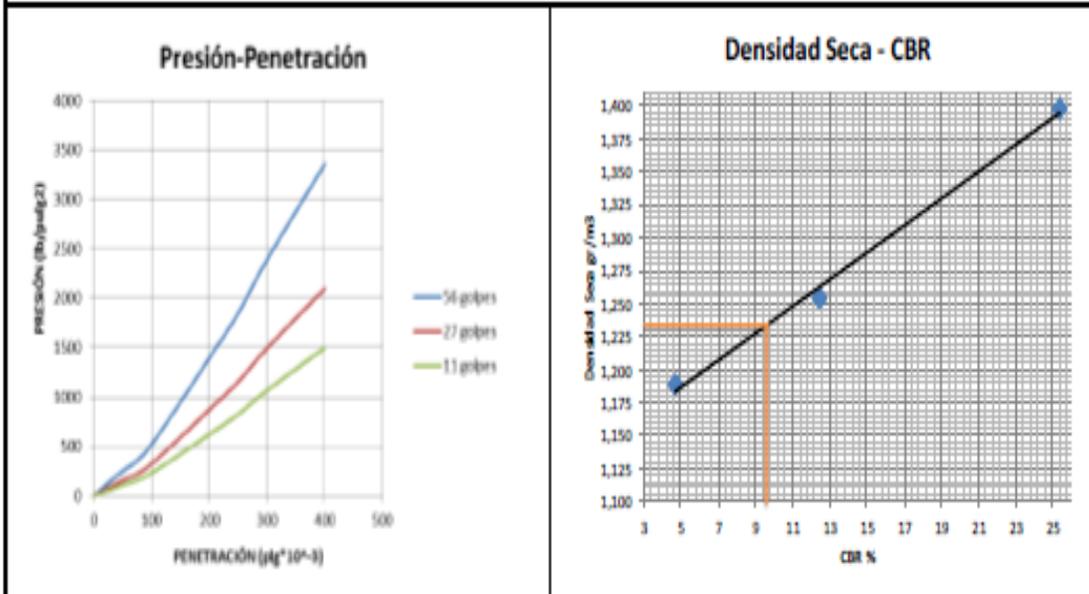
**REVISADO:** Ing. Mg. Lorena Pérez

**ENSAYO C.B.R.**

**ENSAYO DE CARGA - PENETRACIÓN**

Máquina de Compresión Simple (CONTROLS)						ÁREA DEL PISTÓN = 3 pulg <sup>2</sup>	NORMA: ASTM D-1583	VELOCIDAD DE CARGA = 1,27 mm/min (0,05 pulg/min)					
Molde Número		1				2				3			
TIEMPO	PDMT.	Q Carga	Presiones		CBR	Q Carga	Presiones		CBR	Q Carga	Presiones		CBR
			Lectura	Corregida			Lectura	Corregida			Lectura	Corregida	
Min.	Seg.	mm	pulg *10 <sup>-3</sup>	lb	lb/pulg <sup>2</sup>	%	lb	lb/pulg <sup>2</sup>	%	lb	lb/pulg <sup>2</sup>	%	
		0	0	0	0,0		0	0,0		0	0,0		
0	30	0,64	25	351	117,1		193	64,2		59	19,5		
1	0	1,27	50	512	170,8		268	89,2		85	28,4		
1	30	1,91	75	647	215,6		329	109,6		113	37,5		
2	0	2,54	100	762	254,0	25,40	375	124,8	12,48	141	46,9	4,69	
3	0	3,81	150	951	317,1		447	149,1		227	75,8		
4	0	5,08	200	1107	369,0		493	164,2		291	97,0		
5	0	6,35	250	1248	415,9		510	170,0		297	98,8		
6	0	7,62	300	1364	454,7		537	179,1		336	111,9		
8	0	10,16	400	1863	621,1		585	195,3		386	128,7		
10	0	12,70	500	1727	575,7		601	200,4		439	146,5		
CBR Corregido						25,40			12,48			4,69	

**GRÁFICOS ENSAYO C.B.R.**



<b>DENSIDADES</b>	<b>RESISTENCIAS</b>	<b>DENSIDAD MAX</b>	1,300	gr/cm <sup>3</sup>
1,398	25,40	<b>95% DE DM</b>	1,285	gr/cm <sup>3</sup>
1,254	12,48			
1,189	4,69	<b>CBR PUNTUAL</b>	9,30	%

**OBSERVACIONES:** SUELO ARCILLOSO DE ALTA PLASTICIDAD

**CUMPLE** con las especificaciones correspondientes y es considerado como una sub-rasante regular ya que esta en el rango con un CBR de 6-10%

## ENSAYO DE COMPACTACION (CBR) CON 20% DE CENIZA

	<b>UNIVERSIDAD TECNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS</b>								
Análisis comparativo de la resistencia al corte y la estabilización de suelos arenosos finos y arcillosos combinados con cenizas de carbón									
<b>PROYECTO:</b>									
<b>ENSAYADO:</b>	Edwin Santiago Cañar Tiviano	<b>FECHA:</b> 10/10/2016							
<b>REVISADO:</b>	Ing. Mg. Lorena Pérez	<b>DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA:</b> Arcilla de alta plasticidad (CH)							
<b>UBICACIÓN:</b>	Vía Puyo-Tena -Prov. Pastaza								
<b>ENSAYO DE COMPACTACIÓN (CBR)</b>									
<b>ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO</b>									
<b>TIPO:</b>	PROCTOR MODIFICADO	<b>PESO DEL MARTILLO:</b> 10 lb							
<b>NORMA:</b>	AASHTO T-180	<b>ALTURA DE CAIDA:</b> 18"							
<b>PESO MUESTRA (gr):</b>	6000	<b>CONT. HUMEDAD ÓPTIMO (%):</b> 28,20							
<b>ENSAYO DE COMPACTACION C.B.R.</b>									
<b>MOLDE</b>	1	2	3						
<b>Nº de Capas</b>	5	5	5						
<b>Nº de Golpes</b>	56	27	11						
<b>Cond. Muestra</b>	Antes del Remojo	Despues del Remojo	Antes del Remojo	Despues del Remojo	Antes del Remojo	Despues del Remojo			
P. Hum. + Molde	18931	18998	19383	19519	18743	19007			
Peso Molde	14729	14729	15493	15493	15142	15142			
P. Humedo	4202	4269	3890	4026	3601	3865			
Volumen Muestra	2301,50	2301,50	2292,90	2292,90	2280,33	2280,33			
Densidad Humedad	1,826	1,855	1,697	1,756	1,579	1,695			
Densidad Seca	1,372	1,394	1,271	1,316	1,180	1,267			
Den. Seca Prom.	1,383		1,293		1,223				
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>									
<b>Recipiente Nº</b>	32	6A2	1A	6	35	2A	11	29	3A
P. Hum. + Recipiente	114,9	114,3		127,7	134,4		147,6	143,3	
P. Seco + Recipiente	94,1	93,6		103,4	108,4		117,9	114,9	
Peso Recipiente	31	31,3		30,5	31		30,2	30,8	
Peso Agua	20,8	20,7		24,3	26		29,7	28,4	
Peso de Sólidos	63,1	62,3		72,9	77,4		87,7	84,1	
Contenido Humedad %	32,96	33,23		33,33	33,59		33,87	33,77	
Con. Hum. Prom. %	33,09		33,46		33,82				



**UNIVERSIDAD TECNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECANICA**  
**LABORATORIOS DE MECÁNICA DE SUELOS**



**PROYECTO:** Análisis comparativo de la resistencia al corte y la estabilización de suelos arenosos finos y arcillosos combinados con cenizas de carbón

**ENSAYADO:** Edwin Santiago Cañar

**FECHA:** 12/10/2016

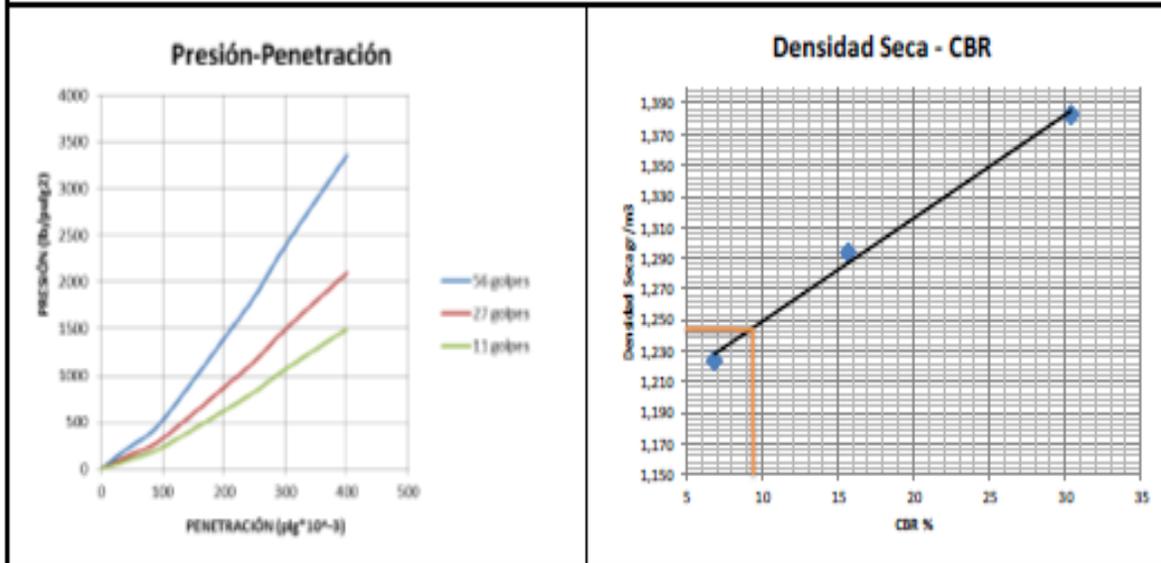
**REVISADO:** Ing. Mg. Lorena Pérez

**ENSAYO C.B.R.**

**ENSAYO DE CARGA - PENETRACIÓN**

Máquina de Compresión Simple (CONTROLS)				AREA DEL PISTÓN = 3 pulg <sup>2</sup>	NORMA: ASTM D-1003	VELOCIDAD DE CARGA = 1,27 mm/min (0,05 pulg/min)						
Molde Número		1			2			3				
TIEMPO		PENET.		Q Carga	Presiones		Q Carga	Presiones		Q Carga	Presiones	
Min.	Seg.	mm	pulg*10 <sup>-3</sup>	lb	Lleida	Corregida	lb	Lleida	Corregida	lb	Lleida	Corregida
					lb/pulg <sup>2</sup>	%		lb/pulg <sup>2</sup>	%		lb/pulg <sup>2</sup>	%
		0	0	0	0		0	0,0		0	0,0	
0	30	0,64	25	395	131,5		192	63,8		60	19,9	
1	0	1,27	50	517	172,2		295	98,4		72	24,1	
1	30	1,91	75	771	256,8		354	118,0		105	35,2	
2	0	2,54	100	912	304,1	30,41	471	157,1	15,71	150	49,6	6,86
3	0	3,81	150	1279	426,4		1024	341,2		245	78,1	
4	0	5,08	200	1405	468,5		1149	383,1		1075	345,5	
5	0	6,35	250	1495	498,4		1275	424,9		1170	370,1	
6	0	7,62	300	1554	521,2		1395	465,2		1261	403,4	
8	0	10,16	400	1695	561,9		1615	538,7		1402	447,4	
10	0	12,70	500	1780	593,4		1854	618,1		1525	488,5	
CBR Corregido						30,41			15,71			6,86

**GRÁFICOS ENSAYO C.B.R.**



<b>DENSIDADES</b>	<b>RESISTENCIAS</b>	<b>DENSIDAD MAX</b>	1,306	gr/cm <sup>3</sup>
1,383	30,41	<b>95% DE DM</b>	1,241	gr/cm <sup>3</sup>
1,298	15,71			
1,223	6,86	<b>CBR PUNTUAL</b>	9,50	%

**OBSERVACIONES:** SUELO ARCILLOSO COMBINADO CON 20% DE CENIZA DE CARBÓN

**CUMPLE** con las especificaciones correspondientes y es considerado como una sub-rasante regular ya que esta en el rango con un CBR de 6-10%

## ENSAYO DE COMPACTACION (CBR) CON 23% DE CENIZA

	<b>UNIVERSIDAD TECNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS</b>								
Análisis comparativo de la resistencia al corte y la estabilización de suelos arenosos finos y arcillosos combinados con cenizas de carbón									
<b>PROYECTO:</b>									
<b>ENSAYADO:</b>	Edwin Santiago Cañar Tiviano	<b>FECHA:</b> 17/10/2016							
<b>REVISADO:</b>	Ing. Mg. Lorena Pérez	<b>DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA:</b> Arcilla de alta plasticidad (CH)							
<b>UBICACIÓN:</b>	Vía Puyo-Tena -Prov. Pastaza								
<b>ENSAYO DE COMPACTACIÓN (CBR)</b> ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO									
<b>TIPO:</b>	FROCTOR MODIFICADO	<b>PESO DEL MARTILLO:</b> 10 lb							
<b>NORMA:</b>	AASHTO T-180	<b>ALTURA DE CAIDA:</b> 18"							
<b>PESO MUESTRA (gr):</b>	6000	<b>CONT. HUMEDAD ÓPTIMO (%):</b> 28,60							
<b>ENSAYO DE COMPACTACION C.B.R.</b>									
<b>MOLDE</b>	1	2	3						
<b>N° de Capas</b>	5	5	5						
<b>N° de Golpes</b>	56	27	11						
<b>Cond. Muestra</b>	Antes del Remojo	Despues del Remojo	Antes del Remojo	Despues del Remojo	Antes del Remojo	Despues del Remojo			
P. Hum. + Molde	18682	18739	19332	19446	18787	19015			
Peso Molde	14731	14731	15492	15492	15137	15137			
P. Humedo	3951	4008	3840	3954	3650	3878			
Volumen Muestra	2301,50	2301,50	2292,90	2292,90	2280,33	2280,33			
Densidad Humedad	1,717	1,741	1,875	1,724	1,601	1,701			
Densidad Seca	1,286	1,304	1,247	1,284	1,190	1,264			
Den. Seca Prom.	1,295		1,265		1,227				
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>									
<b>Recipiente N°</b>	29	11	1A	19	30	2A	32	17	3A
P. Hum. + Recipiente	126,6	136		128,1	122,4		121,9	125,7	
P. Seco + Recipiente	102,7	109,3		103,2	99,1		98,7	101,1	
Peso Recipiente	30,8	30,2		31	30,9		31	30,4	
Peso Agua	23,9	26,7		24,9	23,3		23,2	24,6	
Peso de Sólidos	71,9	79,1		72,2	68,2		67,7	70,7	
Contenido Humedad %	33,24	33,75		34,49	34,16		34,27	34,79	
Con. Hum. Prom. %	33,50			34,33			34,53		



**UNIVERSIDAD TECNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECANICA**  
**LABORATORIOS DE MECÁNICA DE SUELOS**



**PROYECTO:** Análisis comparativo de la resistencia al corte y la estabilización de suelos arenosos finos y arcillosos combinados con cenizas de carbón

**ENSAYADO:** Edwin Santiago Cañar

**FECHA:** 19/10/2016

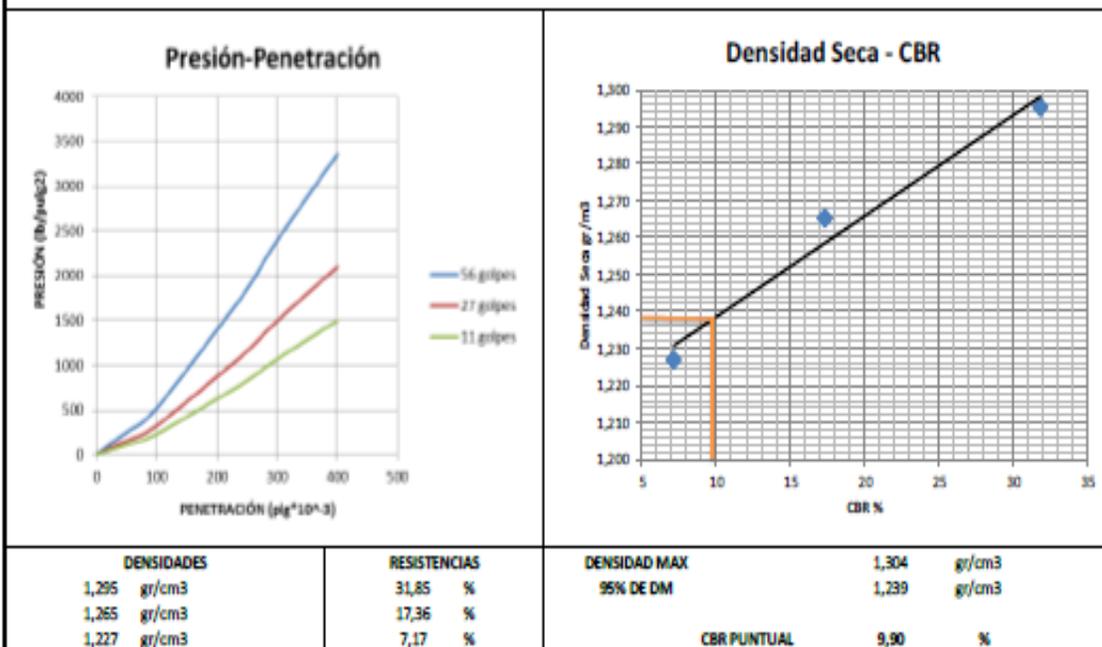
**REVISADO:** Ing. Mg. Lorena Pérez

**ENSAYO C.B.R.**

**ENSAYO DE CARGA - PENETRACIÓN**

Máquina de Compresión Simple (CONTROLS)				ÁREA DEL PISTÓN = 3 pulg <sup>2</sup>				NORMA: ASTM D-1583				VELOCIDAD DE CARGA = 1,27 mm/min (0,06 pulg/min)										
Molde Número				1				2				3										
TIEMPO		PENET.		Q Carga		Presiones		CBR		Q Carga		Presiones		CBR		Q Carga		Presiones		CBR		
Min.	Seg.	mm	pulg*10 <sup>-3</sup>	lb	lb/pulg <sup>2</sup>	lb	lb/pulg <sup>2</sup>	%	lb	lb/pulg <sup>2</sup>	lb	lb/pulg <sup>2</sup>	%	lb	lb/pulg <sup>2</sup>	%	lb	lb/pulg <sup>2</sup>	lb	lb/pulg <sup>2</sup>	%	
		0	0	0	0,0				0	0,00				0	0							
0	30	0,54	25	495	165,1				165	55,00				62,8	27,5							
1	0	1,27	50	854	217,9				250,9	97,97				102,4	34,13333							
1	30	1,91	75	858	286,1				370,8	123,60				183,3	61,1							
2	0	2,54	100	956	318,5	318,53		31,85	520,7	173,57	173,57		17,36	215,1	71,7	71,70						7,17
3	0	3,81	150	1475	491,6				861,5	287,20				423,4	141,1333							
4	0	5,08	200	1705	568,2				1062,7	354,23				627,5	209,2							
5	0	6,35	250	1886	628,7				1212,9	404,30				853,9	284,6333							
6	0	7,62	300	2053	684,4				1324,3	441,43				900,5	300,1667							
8	0	10,16	400	2346	781,9				1512,8	504,27				960,2	320,0667							
10	0	12,70	500	2594	864,5				1663,6	554,53				1017,3	339,1							
<b>CBR Corregido</b>								31,85				17,36				7,17						

**GRÁFICOS ENSAYO C.B.R.**



**OBSERVACIONES:** SUELO ARCILLOSO COMBINADO CON 23% DE CENIZA DE CARBÓN

**CUMPLE** con las especificaciones correspondientes y es considerado como una sub-rasante regular ya que esta en el rango con un CBR de 6-10%

## ENSAYO DE COMPACTACION (CBR) CON 25% DE CENIZA

	<b>UNIVERSIDAD TECNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS</b>								
Análisis comparativo de la resistencia al corte y la estabilización de suelos arenosos finos y arcillosos combinados con cenizas de carbón									
<b>PROYECTO:</b>									
<b>ENSAYADO:</b>	Edwin Santiago Cañar Tiviano	<b>FECHA:</b> 24/10/2016							
<b>REVISADO:</b>	Ing. Mg. Lorena Pérez	<b>DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA:</b> Arcilla de alta plasticidad (CH)							
<b>UBICACIÓN:</b>	Vía Puyo-Tena -Prov. Pastaza								
<b>ENSAYO DE COMPACTACIÓN (CBR)</b> ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO									
<b>TIPO:</b>	FROCTOR MODIFICADO	<b>PESO DEL MARTILLO:</b> 10 lb							
<b>NORMA:</b>	AASHTO T-180	<b>ALTURA DE CAIDA:</b> 18"							
<b>PESO MUESTRA (gr):</b>	6000	<b>CONT. HUMEDAD ÓPTIMO (%):</b> 29,40							
<b>ENSAYO DE COMPACTACION C.B.R.</b>									
<b>MOLDE</b>	1	2	3						
<b>N° de Capas</b>	5	5	5						
<b>N° de Golpes</b>	56	27	11						
<b>Cond. Muestra</b>	Antes del Remojo	Despues del Remojo	Antes del Remojo	Despues del Remojo	Antes del Remojo	Despues del Remojo			
P. Hum. + Molde	19065	19112	19473	19567	18760	18948			
Peso Molde	14731	14731	15492	15492	15137	15137			
P. Humedo	4334	4381	3981	4075	3623	3811			
Volumen Muestra	2301,50	2301,50	2292,90	2292,90	2280,33	2280,33			
Densidad Humedad	1,883	1,904	1,736	1,777	1,589	1,671			
Densidad Seca	1,404	1,419	1,290	1,320	1,179	1,240			
Den. Seca Prom	1,412		1,305		1,210				
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>									
<b>Recipiente N°</b>	6	35	1A	12	6A2	2A	18	3	3A
P. Hum. + Recipiente	122,9	117,9		111,5	123,9		134,5	127	
P. Seco + Recipiente	99,4	85,8		90,7	100,1		107,8	102,2	
Peso Recipiente	30,5	31		30,6	31,3		30,9	30,9	
Peso Agua	23,5	22,1		20,8	23,8		26,7	24,8	
Peso de Sólidos	68,9	64,8		60,1	68,8		76,9	71,3	
Contenido Humedad %	34,11	34,10		34,61	34,59		34,72	34,78	
Con. Hum. Prom. %	34,11			34,60			34,75		



**UNIVERSIDAD TECNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECANICA**  
**LABORATORIOS DE MECÁNICA DE SUELOS**



**PROYECTO:** Análisis comparativo de la resistencia al corte y la estabilización de suelos arenosos finos y arcillosos combinados con cenizas de carbón  
**FECHA:** 26/10/2016

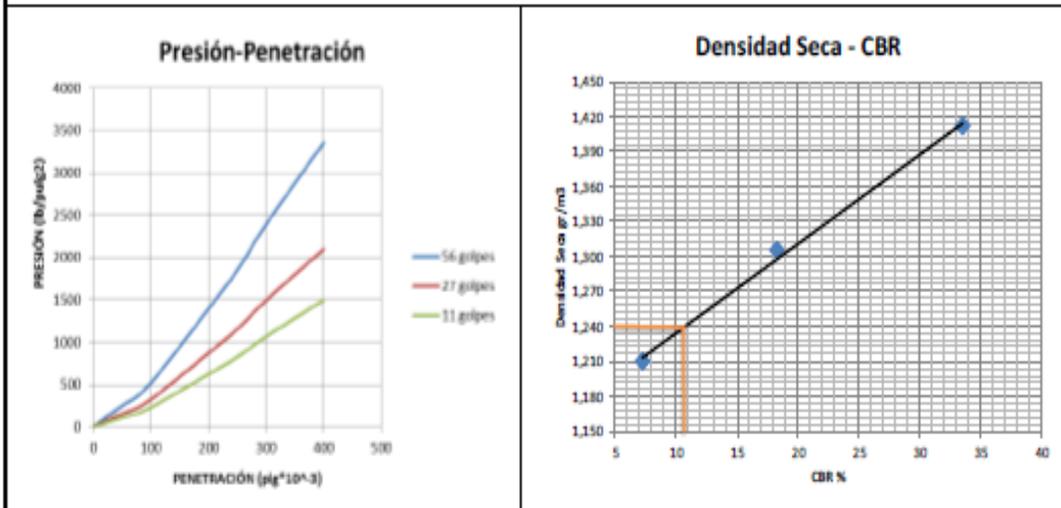
**ENSAYADO:** Edwin Santiago Cañar  
**REVISADO:** Ing. Mg. Lorena Pérez

**ENSAYO C.B.R.**

**ENSAYO DE CARGA - PENETRACIÓN**

Máquina de Compresión Simple (CONTROLS)				AREA DEL PISTÓN = 3 pulg <sup>2</sup>				NORMA: ASTM D-1583				VELOCIDAD DE CARGA = 1,27 mm/min (0,05 pulg/min)										
Molde Número				1				2				3										
TIEMPO		PENET.		Q Carga		Presiones		CBR		Q Carga		Presiones		CBR		Q Carga		Presiones		CBR		
Min.	Seg.	mm	pulg *10 <sup>-3</sup>	lb	lb/pulg <sup>2</sup>	lb	lb/pulg <sup>2</sup>	%	lb	lb/pulg <sup>2</sup>	lb	lb/pulg <sup>2</sup>	%	lb	lb/pulg <sup>2</sup>	%	lb	lb/pulg <sup>2</sup>	lb	lb/pulg <sup>2</sup>	%	
		0	0	0	0,0				0	0,0				0	0,0							
0	30	0,64	25	394	131,2				100	34,5				77,3	25,8							
1	0	1,27	50	609	203,1				300	110,1				110,6	36,9							
1	30	1,91	75	924	307,9				400	134,4				150,2	50,1							
2	0	2,54	100	1006	335,3	335,27		33,53	580	193,3	193,27		19,33	217,1	72,4	72,37						7,24
3	0	3,81	150	1665	555,1				1314	437,9				403,3	134,4							
4	0	5,08	200	1870	623,5				1333	444,3				597,2	229,1							
5	0	6,35	250	2009	669,8				1388	462,6				963,7	321,2							
6	0	7,62	300	2291	763,6				1427	475,5				1027,7	342,6							
8	0	10,16	400	2336	778,5				1449	483,0				1170,5	390,2							
10	0	12,70	500	2623	874,5				1513	504,4				1300,4	433,5							
<b>CBR Corregido</b>								33,53				19,33				7,24						

**GRÁFICOS ENSAYO C.B.R.**



<b>DENSIDADES</b>	<b>RESISTENCIAS</b>	<b>DENSIDAD MAX</b>	1,305	gr/cm <sup>3</sup>
1,412	33,53	<b>95% DE DM</b>	1,240	gr/cm <sup>3</sup>
1,305	18,33	<b>CBR PUNTUAL</b>	10,60	%
1,210	7,24			

**OBSERVACIONES:** SUELO ARCILLOSO COMBINADO CON 25% DE CENIZA DE CARBÓN  
**CUMPLE** con las especificaciones correspondientes y es considerado como una sub-rasante regular ya que esta en el rango con un CBR de 6-10%