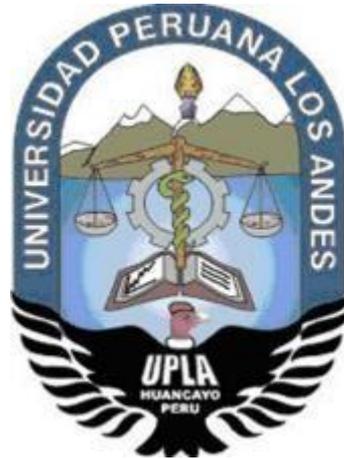


UNIVERSIDAD PERUANA LOS ANDES
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS

**ADICIÓN DE CENIZA DE MADERA DE FONDO EN LA
ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS Y SU APLICACIÓN
A SUBRASANTE**

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN INSTITUCIONAL:
TRANSPORTE Y URBANISMO

PRESENTADO POR:

Bach: ESPINO MARQUEZ, Yhon Marcial

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO CIVIL

HUANCAYO – PERÚ

2021

Ing. PORRAS OLARTE, Rando

ASESOR

DEDICATORIA

Este trabajo se lo dedico a mi padre, Marcial Espino Janampa y a mi madre Carmen Marquez Sanchez, quienes son mi s pilares emocionales e incondicionales durante todo este proceso. A mihermano Piter Marquez por su apoyo incondicional y ejemplo continuo de superación personal y profesional.

Bach. Espino Marquez, Yhon Marcial

AGRADECIMIENTO

- A la Universidad Peruana Los Andes por inculcarme con principios y valores a través de su plana docente quienes me instruyeron con respecto de mis habilidades y capacidades para un óptimo desempeño en mi vida profesional.
- A mi asesor, Ing. Porras Olarte, Rando por compartir su vasta experiencia para el desarrollo de esta investigación.
- Al Dr. Juan José Bullón Rosas por sus conocimientos impartidos y recomendaciones para la elaboración de esta investigación.
- Al personal administrativo y técnico de la facultad de ingeniería de la universidad peruana los andes, los mismos que fueron muy importantes para la culminación de este presente trabajo de investigación.

Bach. Espino Marquez, Yhon Marcial

HOJA DE CONFORMIDAD DE LOS JURADOS

DR. RUBEN DARIO TAPIA SILGUERA

DECANO

Ing. NATALY LUCIA CÓRDOVA ZORRILLA

JURADO

Ing. CARLOS GERARDO FLORES ESPINOZA

JURADO

Ing. VLADIMIR ORDOÑEZ CAMPOSANO

JURADO

Mg. LEONEL UNTIVEROS PEÑALOZA

SECRETARIO DOCENTE

ÍNDICE

DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTO	IV
HOJA DE CONFORMIDAD DE LOS JURADOS	V
ÍNDICE	VI
ÍNDICE DE TABLAS	IX
ÍNDICE DE FIGURAS	X
RESUMEN	XII
ABSTRACT	XIII
INTRODUCCIÓN	XIV

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Planteamiento del problema	16
1.2. Formulación del problema	17
1.2.1. Problema general	17
1.2.2. Problemas específicos.....	18
1.3. Objetivos	18
1.3.1. Objetivo general	18
1.3.2. Objetivos específicos.....	18
1.4. Justificación	19
1.4.1. Justificación social	19
1.4.2. Justificación teórica	19
1.4.3. Justificación metodológica.....	19

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes.....	20
2.1.1. Antecedente internacional	20
2.1.2. Antecedente nacional	23
2.2. Bases teóricas	26
2.2.1. Ceniza de madera de fondo.....	26
2.2.2. Estabilización de suelos arcillosos.....	28
2.2.3. Ensayos de laboratorio	34

2.3.	Definición de términos básicos	37
2.4.	Hipótesis de investigación	39
2.4.1.	Hipótesis general	39
2.4.2.	Hipótesis específicas	39
2.5.	Sistema de variables	39
2.5.1.	Variable independiente	39
2.5.2.	Variable dependiente	39

CAPÍTULO III METODOLOGÍA

3.1.	Método de investigación	42
3.2.	Tipo de investigación	42
3.3.	Nivel de investigación	42
3.4.	Diseño de la investigación	42
3.5.	Población y muestra	43
3.5.1.	Población.....	43
3.5.2.	Muestra	43
3.6.	Métodos, técnicas e instrumentos de recolección de datos	44
3.7.	Validación de los instrumentos de recolección de datos	44
3.7.1.	Técnicas de procesamiento y análisis de datos	44
3.8.	Procedimiento de ensayos.....	45
3.8.1.	Recojo de material en campo	45
3.8.2.	Análisis granulométrico.....	46
3.8.3.	Humedad natural	51
3.8.4.	Índice de plasticidad	51
3.8.5.	Densidad seca y húmeda	54
3.8.6.	Capacidad de resistencia del suelo	55

CAPÍTULO IV RESULTADOS

4.1.	Presentación de resultados	¡Error! Marcador no definido.
4.1.1.	Adición de ceniza de madera de fondo en el tipo de suelo arcilloso.....	¡Error! Marcador no definido.
4.1.2.	Adición de ceniza de madera de fondo en la humedad natural del suelo arcilloso..	¡Error! Marcador no definido.

- 4.1.3. Adición de ceniza de madera de fondo en el índice de plasticidad del suelo arcilloso.. ¡Error! Marcador no definido.
- 4.1.4. Adición de ceniza de madera de fondo en la máxima densidad seca del suelo arcilloso.. ¡Error! Marcador no definido.
- 4.1.5. Adición de ceniza de madera de fondo en la capacidad de resistencia del suelo arcilloso.. ¡Error! Marcador no definido.
- 4.2. Prueba de hipótesis.....**¡Error! Marcador no definido.**
- 4.2.1. Adición de ceniza de madera de fondo en la máxima densidad seca del suelo arcilloso.. ¡Error! Marcador no definido.

CAPÍTULO V
DISCUSIÓN

- 5.2. Discusión de resultados80
- 5.2.1. Adición de ceniza de madera de fondo en el tipo de suelo arcilloso..... ¡Error! Marcador no definido.
- 5.2.2. Adición de ceniza de madera de fondo en la humedad natural del suelo arcilloso ¡Error! Marcador no definido.
- 5.2.3. Adición de ceniza de madera de fondo en el índice de plasticidad del suelo arcilloso..... ¡Error! Marcador no definido.
- 5.2.4. Adición de ceniza de madera de fondo en la máxima densidad seca del suelo arcilloso.. ¡Error! Marcador no definido.
- 5.2.5. Adición de ceniza de madera de fondo en la capacidad de resistencia del suelo arcilloso.. ¡Error! Marcador no definido.

CONCLUSIONES..... 90

RECOMENDACIONES 92

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... 94

ANEXOS..... 98

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Índice de plasticidad del suelo	29
Tabla 2. Clasificación de suelos según tamaño de partículas	34
Tabla 3. Clasificación del suelo según índice de plasticidad	36
Tabla 4. Categorías de subrasante	37
Tabla 5. Operacionalización de variables.....	41
Tabla 6. Serie de tamices de abertura cuadrada.....	46
Tabla 7. Tamices para la fracción retenida en el tamiz N°4 (4,760mm)	47
Tabla 8. Análisis granulométrico suelo 100%.....	58
Tabla 9. Resumen granulometría.....	58
Tabla 10. Análisis granulométrico – Ceniza de madera de fondo; Error! Marcador no definido.	
Tabla 11. Contenido de humedad.....	61
Tabla 12. Índice de plasticidad.....	61
Tabla 13. Óptimo contenido de humedad - Proctor modificado.....	64
Tabla 14. Máxima densidad seca - Proctor Modificado	66
Tabla 15. Capacidad portante del suelo al 95% de MDS	66
Tabla 16. Capacidad portante del suelo al 100% de MDS ..; Error! Marcador no definido.	
Tabla 17. Diseño cuadrado latino	69
Tabla 18. Distribución de variables - Diseño cuadrado latino	69
Tabla 19. Valores de las variables - Diseño cuadrado latino	70
Tabla 20. Análisis de varianza - Óptimo contenido de humedad.....	72
Tabla 21. Prueba de Duncan - Muestras.....	73
Tabla 22. Prueba de Duncan - Tratamientos	74
Tabla 23. Prueba de Duncan - Variables	74
Tabla 24. Diseño cuadrado latino	74
Tabla 25. Distribución de variables - Diseño cuadrado latino	74
Tabla 26. Valores de las variables - Diseño cuadrado latino	75
Tabla 27. Análisis de varianza - Óptimo contenido de humedad.....	77
Tabla 28. Prueba de Duncan - Muestras.....	77

Tabla 29. Prueba de Duncan - Tratamientos	78
Tabla 30. Prueba de Duncan - Variables	78

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Minerales de arcilla	30
Figura 2. Tipos de estabilización de suelos.....	33
Figura 3. Avda. Antonio Raimondi - Coviriali - Provincia de Satipo (línea naranja).....	43
Figura 4. Calicata de suelo arcilloso	46
Figura 5. Tamices para el ensayo de Análisis granulométrico.....	47
Figura 6. Clasificación de suelos – SUCS.....	49
Figura 7. Clasificación de suelos – AASHTO	50
Figura 8. Toma de peso - Ensayo de contenido de humedad	50
Figura 9. Preparación del material - Límite líquido	52
Figura 10. Hilo de suelo arcilloso - Límite líquido	52
Figura 11. Tipo de desmoronamiento del suelo arcilloso - Límite líquido	52
Figura 12. Moldes del Método A - Proctor modificado.....	54
Figura 13. Muestras sumergidas en agua - Ensayo de CBR en laboratorio	56
Figura 14. Equipo de prueba de carga - Ensayo de CBR en laboratorio	56
Figura 15. Curva granulométrica - Suelo 100%.....	58
Figura 16. Curva granulométrica - ceniza de madera de fondo.....	59
Figura 17. Contenido de humedad.....	60
Figura 18. Correlación polinómica - Contenido de humedad.....	62
Figura 19. Límite líquido	63
Figura 20. Correlación polinómica - Límite líquido	63
Figura 21. Límite plástico	63
Figura 22. Correlación potencial - Límite plástico.....	64
Figura 23. Índice de plasticidad	64
Figura 24. Correlación polinómica - Índice de plasticidad	64
Figura 25. Óptimo contenido de humedad - Proctor Modificado.....	65
Figura 26. Máxima densidad seca - Proctor Modificado.....	66
Figura 27. CBR al 95% de MDS	67
Figura 28. Correlación polinómica - CBR al 95% de MDS	68

Figura 29. CBR al 100% de MDS.....	69
Figura 30. Correlación logarítmica - CBR al 100% de MDS	69
Figura 31. Excavación de suelo arcilloso en la sección de la subrasante.....	100
Figura 32. Ensayo de análisis granulométrico.....	100
Figura 33. Ensayo de límites de Atterberg	102
Figura 34. Ensayo de Proctor modificado	102
Figura 35. Ensayo de CBR en laboratorio – Curado de muestras de suelo.....	103
Figura 36. Equipo de carga – Ensayo de CBR en laboratorio	103

RESUMEN

La presente investigación tuvo como problema general: ¿De qué manera influye la adición de ceniza de madera de fondo en la estabilización de suelos arcillosos aplicado a subrasantes en la Ciudad de Satipo?, el objetivo general fue: Determinar la influencia de la adición de ceniza de madera de fondo en la estabilización de suelos arcillosos aplicado a subrasantes; y la hipótesis general que se contrastó fue: La adición de ceniza de madera de fondo influye significativamente en la estabilización de suelos arcillosos aplicado a subrasantes.

El método de la investigación fue científico, tipo de investigación aplicada, con nivel explicativo y diseño experimental; la población estuvo compuesta por todos los suelos arcillosos de las avenidas y calles de la provincia de Satipo y la muestra estuvo compuesta por 360 Kg de suelo arcilloso de la Av. Antonio Raimondi, Coviriali, Satipo.

La conclusión principal fue que la adición de ceniza de madera de fondo influye significativamente en la estabilización de suelos arcillosos.

Palabras clave: Ceniza, estabilización de suelos, suelos arcillosos, subrasante.

ABSTRACT

The present investigation had as a general problem: How does the addition of bottom wood ash influence the stabilization of clay soils applied to subgrade in the City of Satipo? The general objective was: To determine the influence of the addition of ash background wood in the stabilization of clay soils applied to subgrade; and the general hypothesis that was tested was: The addition of bottom wood ash has a significant influence on the stabilization of clay soils applied to subgrade.

The research method was scientific, type of applied research, with explanatory level and experimental design; the population consisted of all the clay soils of the avenues and streets of the province of Satipo and the sample consisted of 360 kg of clay soil of the Av. Antonio Raimondi, Coviriali, Satipo.

The main conclusion was that the addition of bottom wood ash has a significant influence on the stabilization of clay soils.

Keywords: Ash, soil stabilization, clay soils, subgrade.

INTRODUCCIÓN

La tesis titulada Adición de ceniza de madera de fondo en la estabilización de suelos arcillosos y su aplicación a subrasantes, parte de la problemática de que en la actualidad se producen aproximadamente 53, 500 Toneladas de ceniza de madera de fondo en el Perú y que se encuentran como desperdicios en zonas naturales a las que por las condiciones se les denomina zona de acopio o desmontes; sin embargo estudios recientes demostraron que las cenizas son útiles en la estabilización de suelos, debido a sus propiedades cementantes. La investigación tuvo como objetivo general determinar la influencia de la adición de ceniza de madera de fondo en la estabilización de suelos arcillosos Para el cual, se desarrollaron ensayo de los laboratorios con las muestras de suelo arcilloso obtenida de la Avda. Antonio Raimondi, Provincia de Satipo, Departamento de Junín y las adicciones de cenizas de maderas de fondos en proporciones de 10%, 15% y 20% del peso del suelo, para determinar qué proporción brinda mejores características para la estabilización de un suelo arcilloso que cumpla con los requerimientos de una subrasante según el manual de suelos, pavimentos y concreto del Ministerio de Transportes y Comunicaciones. El programa de pruebas se compone de ensayos para determinar el análisis de tamaño de partícula, contenido de humedad, límites de Atterberg, proctor modificado y CBR en laboratorio.

El capítulo I, desarrolla el planteamiento del problema, formulando el problema a manera de pregunta, trazando objetivos para lograr la solución del problema, y a su vez sustenta la importancia en el contexto social, teórico y metodológico.

El capítulo II comprende el marco teórico, en el que se sostiene la investigación considerando estudios realizados anteriormente, tanto dentro del país como del exterior, así mismo se consideraron las bases teóricas y términos básicos para la comprensión de la investigación; a la vez se presenta la hipótesis como una posible respuesta al problema, además se encuentran las variables a nivel conceptual.

El capítulo III, trata sobre la metodología de la investigación, en el que se resalta el método, tipo, nivel y diseño de la investigación, así mismo se resalta la población y muestra de estudio, técnicas e instrumentos de recolección de datos y el procedimiento de la investigación para la obtención de los resultados.

En el capítulo IV, se muestran los resultados en función a los objetivos específicos que permiten hacer posible el objetivo general de la investigación.

En el capítulo V, se desarrolla las discusiones de los resultados obtenidos, donde se mencionan las investigaciones que sirvieron de soporte para el desarrollo de la investigación, obteniendo así un nuevo aporte para trabajos posteriores.

Finalmente se desarrollan las conclusión, recomendación, referencias bibliográficas y el anexo en el que se adjunta la matriz de consistencia, fichas de los ensayos realizados en laboratorio.

Bach. Espino Marquez, Yhon Marcial.

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Planteamiento del problema

Los suelos son los materiales de construcciones más abundante y empleado en las obras civiles y constituyen los soportes de la mayoría de las estructuras, de ahí la necesidad de estudiar los suelos desde diferentes perspectivas y necesidades. Incluso el desarrollo de vías de comunicación como carreteras, canales, obras de protecciones contra las acciones de los ríos, y construcción adecuada de taludes.

“Los suelos arcillosos generalmente no cumplen con los requerimientos necesarios para garantizar la estabilidad de taludes viales de corte o terraplenes debido a su baja resistencia, altas deformaciones e índice de plasticidad. Para el empleo de estos, primero se tiene que utilizar procesos de mejoramiento o en su defecto hacer un reemplazo total del suelo, lo cual demanda grandes inversiones económicas y sobreexplotación de recursos naturales” (Gil & Núñez, 2018, págs. 14-15).

En Europa, el empleo de las cenizas de carbón se ha visto influenciada por nuevas normas y legislaciones ambientales. Es así que en el año 2011 la Directiva Marco de Residuos 2008/98/CE, plateó regular el uso del carbón donde los estados miembros tuvieron que definir qué producto de la combustión del carbón es un subproducto y cuando un material perderá la condición de residuo; y es a partir de esto que los productores que deseen colocar los productos de la combustión en el mercado deberán de haber registrado sus productos de acuerdo al Reglamento de Evaluación, Autorización y Restricción de Sustancias Químicas (Morales, 2015).

En Colombia, el Instituto de Desarrollo Urbano (I.D.U.) publicó en el año 2006 una guía para el diseño y construcción de capas estructurales de pavimentos estabilizadas mediante procesos químicos, pero no incluye la activación alcalina ni cenizas de carbón; resaltando que dicha guía no se implementa como normativa (Bogotá, 2005). Sin embargo, en la estabilización de suelos se han utilizado diferentes residuos provenientes de las industrias, donde se obtuvieron resultados ambientalmente viables; como también requisitos físicos, químicos y mecánicos satisfactorios, que brindaron buenas alternativas de materiales para ser utilizados en la construcción vial (Morales, 2015).

Según la clasificación de vías del Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú, las vías transversales y otros (red vial departamental y vecinal) son las más afectadas con aproximadamente el 14% y 15% respectivamente, esto se debe a que dichas vías atraviesan principalmente la sierra, que son propensas a huaycos, caídas y deslizamientos producto de la inestabilidad de taludes, altas pendientes y montañas escarpadas. Además, se encuentran en zonas inestables debido a su litología, tipos de suelos, planicies con mal drenaje o terrazas inundables (Ministerio del Ambiente, 2011)

Por otro lado, la producción de ladrillos artesanales en la provincia de Jauja, genera a su vez cenizas a las cuales se les denomina de cenizas de maderas de fondos, para lograr la resistencia y acabado final de los ladrillos artesanales. De modo que su empleo en la estabilización de suelos arcillosos evitaría su vertimiento en los ríos y/o esparcimiento en la zona, lo que produciría contaminación.

En el departamento de Junín, Provincia de Satipo, cuenta con tipo de suelo común en toda su extensión, denominado arcilla de acuerdo con la clasificación S.U.C.S., debido a que algunas avenidas de la Provincia de Satipo no se encuentran pavimentadas generan incomodidad en los pobladores ya que cuando ocurren lluvias es complicado trasladarse por aquellas avenidas y/o calles que no se encuentran pavimentadas. La vulnerabilidad se intensifica debido a la presencia de suelos de mala calidad y/o condiciones climáticas, esto sumado a la falta de prevención y mantenimiento, convierte a las carreteras de la región en zonas de riesgo latente. Es así que la investigación pretende determinar la influencia de la adición de ceniza de madera de fondo en la estabilización de suelos arcillosos.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

¿De qué manera influye la adición de ceniza de madera de fondo en la estabilización de suelos arcillosos aplicado a subrasantes en la Ciudad de Satipo?

1.2.2. Problemas específicos

- a) ¿De qué manera influye la adición de ceniza de madera de fondo en el tipo de suelo arcilloso aplicado a subrasantes en la Ciudad de Satipo?
- b) ¿De qué manera influye la adición de ceniza de madera de fondo en la humedad natural de los suelos arcillosos aplicado a subrasantes en la Ciudad de Satipo?
- c) ¿De qué manera influye la adición de ceniza de madera de fondo en el índice de plasticidad de los suelos arcillosos aplicado a subrasantes en la Ciudad de Satipo?
- d) ¿De qué manera influye la adición de cenizas de maderas de fondo en la máxima densidad seca de los suelos arcillosos aplicado a subrasantes en la Ciudad de Satipo?
- e) ¿De qué manera influye la adición de ceniza de madera de fondo en la capacidad de resistencia del suelo arcilloso aplicado a subrasantes en la Ciudad de Satipo?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Determinar la influencia de la adición de ceniza de madera de fondo en la estabilización de suelos arcillosos aplicado a subrasantes en la Ciudad de Satipo.

1.3.2. Objetivos específicos

- a) Determinar la influencia de la adición de ceniza de madera de fondo en el tipo de suelo arcilloso aplicado a subrasantes en la Ciudad de Satipo.
- b) Determinar la influencia de la adición de ceniza de madera de fondo en la humedad natural de los suelos arcillosos aplicado a subrasantes en la Ciudad de Satipo.
- c) Determinar la influencia de la adición de ceniza de madera de fondo en el índice de plasticidad de los suelos arcillosos aplicado a subrasantes en la Ciudad de Satipo.
- d) Determinar la influencia de la adición de ceniza de madera de fondo en la máxima densidad seca de los suelos arcillosos aplicado a subrasantes en la Ciudad de Satipo.
- e) Determinar la influencia de la adición de cenizas de maderas de fondo en la capacidad de resistencia del suelo arcilloso aplicado a subrasantes en la Ciudad de Satipo.

1.4. Justificación

1.4.1. Justificación social

Según (Bernal, 2010), la justificación social o práctica existe cuando el desarrollo de la investigación propone estrategias que al aplicarse pretenden contribuir al problema.

Por medio de la adición de cenizas de maderas de fondo se logrará la estabilización de los suelos arcillosos, permitiendo lograr un flujo vehicular normal en la carretera central, así como un flujo comercial en beneficio de la economía de las personas que habitan en la selva central. Además de generar ingresos por la producción de ceniza de madera de fondo en las personas que elaboran artesanalmente ladrillos.

1.4.2. Justificación teórica

Según (Castro E. , 2016), la justificación teórica señala las importancias que tiene las investigaciones de unos problemas en el desarrollo de una teoría científica; el cual implica indicar si el estudio permitirá realizar una innovación científica.

Las cenizas de maderas de fondos permiten la estabilización de suelos arcillosos, por medio de un incremento de su capacidad y resistencia para lograr un adecuado C.B.R. para subrasantes.

1.4.3. Justificación metodológica

Según (Bernal, 2010), las justificaciones metodológicas se describen cuando los proyectos de investigación proponen unas nuevas estrategias para la generación de conocimiento válidos y confiables.

La estabilización de suelos arcilloso, se realizará por medio de las adicciones de ceniza de madera de fondo en proporciones de 10%, 15% y 20% respecto al peso de la muestra para el ensayo, donde se determinará qué proporción logra una mejor estabilidad en el suelo arcilloso.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

2.1.1. Antecedente internacional

Según Gonzáles (2014), en la tesis para optar el título profesional de Ingeniero Civil, titulada “Estabilización mecánica de suelos cohesivos a través de la utilización de cal – ceniza volante”. Con el objetivo de determinar la factibilidad de la estabilización de los suelos cohesivos por medio de ceniza volante cal. Para desarrollar el objetivo empleo una muestra de suelo limoso con 3% cal y con 17% de ceniza y suelo limoso con 5% cal y con 15% de ceniza; para posteriormente llevarlo al laboratorio de la sección de Mecánica de Suelos donde desarrollaron los ensayos de límites de Atterberg, ensayo de Proctor, Valor Soporte de California (CBR), granulometría, gravedades específicas, ensayo de corte directo, ensayo triaxials y ensayo de permeabilidades. Obtuvo como resultado de los ensayos de laboratorio; suelo limoso con alta plasticidad (suelo 100%), suelo con alta plasticidad (suelo +3% de cal + 17% de ceniza) y suelo con bajo contenido de plasticidad (suelo + 5% de cal + 15% de ceniza) respecto a los límites de Atterberg, en cuanto al ensayo de CBR para la muestra N°1 (suelo 100%) el valor de capacidad de soporte para muestras ensayadas con 10; 30 y 65 golpes; fue 3.4%; 18.39% y 20.05% respectivamente; en tanto que para la muestra N°2 (suelo +3% de cal + 17% de ceniza) el valor de capacidad de soporte para muestras ensayadas con 10; 30 y 65 golpes; fue 22.70%; 51.40% y 75.70% respectivamente y finalmente para la muestra N°3 (suelo + 5% de cal + 15% de ceniza) el valor de capacidad de soporte para muestras ensayadas con 10; 30 y 65 golpes; fue 47.02%; 74.33% 81.66% respectivamente. Llegó a la conclusión de que la segunda mezcla de suelo cohesivo (limoso) con 5% de cal y 15% de ceniza presenta un mejor resultado de

valor soporte normal del suelo y que la adición de ceniza volante y cal mejora cuatro veces el valor inicial del CBR.

Según Cañar (2017), en la tesis para optar el título Ingeniero Civil, titulada “Análisis comparativo de la resistencia al corte y estabilización de suelos arenosos finos y arcillosos combinados con cenizas de carbón”. Con el objetivo de estabilizar dos suelos de diferentes propiedades con la combinación de un aditivo como son las cenizas de carbón y la evaluación de la capacidad de soporte y la resistencia al corte mediante ensayos de laboratorio. Donde previamente a los trabajos de laboratorio, realizó un reconocimiento visual de la ubicación de las muestras de suelo, y así continuar con la ejecución de los ensayos de granulometría y Límites de Atterberg para la identificación del suelo según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (S.U.C.S.); en cuanto a ensayo para determinar la capacidad de soporte (CBR), previamente realizó el ensayo de Proctor que le brindó la humedad óptima y la máxima densidad seca del suelo para realizar el ensayo CBR; donde trabajaron con tres porcentajes de ceniza de carbón de 20%, 23% y 25%; finalmente respecto a la resistencia al corte del suelo, realizó el ensayo de compresión no confinada en los suelos conocidos como cangahua y arcilla plástica. En cuanto a los resultados del ensayo CBR, se observó que tras la posterior adición de ceniza de carbón al suelo compuesto por arena limosa, con las proporciones de 20%; 23% y 25% obtuvo valores de soporte de 18.6%; 19.1% y 19.6% respectivamente, mostrando mejores resultados y comportamiento de este tipo de suelo con la adición de ceniza de carbón, a diferencia del suelo compuesto por arcilla de alta plasticidad donde se obtuvo valores de soporte de 9.8%, 10.0% y 11.20% respectivamente para las proporciones de adición de ceniza de carbón. Llegó a la conclusión de que la utilización de cenizas de carbón al 25% del peso del suelo favorece en mayor medida a los suelos arenosos finos; además de influir favorablemente en suelos expansivos como es el caso de la arcilla ya que se formó una masa compacta incrementando el grado de compactación y mejora del valor de soporte (C.B.R.) y resistencia al corte.

Según Morales (2015), para optar el título profesional de Ingeniero Civil, sustentó la tesis titulada “Valoración de las cenizas de carbón para la estabilización de suelos mediante activación alcalina y su uso en vías no pavimentadas”. Con el objetivo de evaluarse los efectos de los métodos de curados en los comportamientos mecánicos” de las mezclas de suelos adicionadas con ceniza de carbón y activadas alcalinamente, con la finalidad de determinar las mejores condiciones para su uso en vías no pavimentadas. El trabajo de investigación, se centró en la estabilización de suelos con ceniza proveniente de una industria ladrillera localizada en Medellín, también de la resistencia mecánica con el

efecto del tipo de curado que contó con dos temperaturas, dos humedades, tres porcentajes de ceniza de carbón (7%; 14% y 21%) y tres tipos de suelos (arenilla, arcilla de cantera y suelo de Urrao) donde todas las muestras fueron ensayadas a los 7 días de curado. Respecto a la resistencia mecánica, se evaluó mediante ensayos de resistencia a la compresión no confinada en probetas de 5cm de diámetro y 10cm de altura, que fueron elaboradas con densidad y humedad óptima obtenidas del ensayo de Proctor modificado y fueron compactadas con un gato hidráulico. En cuanto a los resultados de la investigación, estos demostraron que la mejor dosificación para humedades mayores al 94% era de 13% de la ceniza de carbón utilizada y de 7% para humedad ambiente. Llegó a la conclusión de que la ceniza de carbón para mezclarse con los suelos de arenilla, arcilla y Urrao debe ser tamizada por malla N°100 o mayor y usar hidróxido de sodio en solución como activador alcalino a una concentración cercana a 8 M.O.L.A.R. para obtener un material cementante con características comparables con la norma INVIAS Artículo – 3.5.0.4.1., de Colombia.

Según el artículo de investigación, Zárate, Caicedo y Contreras (2008). Presentaron los resultados de la estabilización química de los suelos expansivos de una zona representativa de San José de Cúcuta, lugar en el que se han observado daños en las construcciones livianas como consecuencia de la expansión y retracción del suelo debido a la variación constante de la humedad. Para realizar la estabilización del suelo arcilloso, los investigadores proponen como aditivo químico a las cenizas volantes analizando ventajas y desventajas posibles. Las cenizas que emplearon fueron suministradas por la empresa Termo tasajero S.A. de la ciudad de la que se obtuvo la muestra de suelo. Realizaron ensayos de laboratorio al suelo arcilloso como límites de consistencia (A.S.T.M. D. 4.3.1.8. – 9.5.), contenido de humedad (A.S.T.M D 2216), relación de contracción (A.S.T.M.D. 4.2.7. – 9.3./4.9.4.3. – 9.5.), granulometría (A.S.R.M. D 422-63), gravedad específica (A.S.T.M.D. 8.5.4. – 9.2.) y ensayo de Proctor estándar (A.S.T.M. D.6.9.8.). En cuanto a los resultados que obtuvieron respecto a la humedad se observó el comportamiento descendente debido a la adición de ceniza volante, también se encontró que las arcillas de la zona de estudio presentaron alta plasticidad (CH) con capacidad de intercambio catiónico de 37 (M.E.Q./1.0.0.g.r.), del mismo encontraron que uno de los estratos posee alto contenido de Magnesio (Mg), estando de acuerdo con la norma NSR 98, título H, el potencial de expansión de las arcillas es de alto a muy alto; respecto al comportamiento del índice de plasticidad, resultó que es decreciente en valores que oscilan de 30% a 40% para una adición de ceniza volante en 30% de volumen, lo que confirma la conformación de hidratos por medio de reacciones puzolánicas con el suelo arcilloso. Llegaron a la conclusión de la necesidad de implementarse el análisis de difracción de

rayos X. (D.R.X.) y microscópicas electrónicas para determinar composición mineralógica exacta y estructura microscópica, que ayudaría a descartarse o confirmarse la naturaleza de alta expansividades.

2.1.2. Antecedente nacional

Según Espinoza y Velásquez (2018), en la tesis para optar el título de Ingeniero Civil, titulada “Estabilización de suelos arcillosos adicionando cenizas de caña de azúcar en el tramo de Pinar Marian, Distrito de Independencia 2018”. Con el objetivo de determinar la estabilización de los suelos arcillosos adicionando cenizas de caña de azúcar en el tramo de Pinar-Marian, distrito de Independencia. Realizaron los estudios de caracterización de suelo según el Manual de Ensayo de Materiales del M.T.C., para lograr la estabilización del suelo con diferentes proporciones de C.C.A. (cenizas de cañas de azocarse); el tramo en estudio tuvo una extensión de 2, 149m de longitud con 5m de ancho, conformando un área total de trabajo de 5 745m². Obtuvo como resultado de los ensayos realizado en laboratorio, que para la adición de CCA (ceniza de caña de azúcar) en las proporciones de 0%; 10%; 20% y 30%, el valor de CBR obtenido fue 4.81%; 11.56%; 15.18% y 10.42% respectivamente; respecto a la expansión del suelo obtuvieron los siguientes porcentajes de expansión de 1.47%; 0.54%; 0.24% y 0.60% respectivamente para cada adición de ceniza de caña de azúcar; en cuanto a los valores de IP (índice de plasticidad) obtuvieron 16.11; 11.59; 9.73 y 12.04 respectivamente; y en cuanto al ensayo de Proctor modificado obtuvo la siguiente máxima densidad seca de 1.656gr/cm³; 1.802 gr/cm³; 1.859 gr/cm³ y 1.776 gr/cm³ para las adiciones de ceniza de caña de azúcar de 0%; 10%; 20% y 30% respectivamente; resultados de los cuales es posible mencionar que la adición de ceniza de caña de azúcar en diferentes proporciones mejora de las propiedades de los suelos de la subrasante. Llegaron a la conclusión de que la adición de un 20% de C.C.A. (ceniza de caña de azúcar) logra mejorar la capacidad de soporte del suelo y disminuir el porcentaje de expansión del suelo.

Según Díaz (2017), en la tesis para optar el título profesional de Ingeniero Civil, sustentó la tesis titulada, “Mejoramiento de la subrasante mediante ceniza de cáscara de arroz en la Carretera Dv San Martín – Lonya Grande, Amazonas 2018”. Con el objetivo de evaluar el efecto de la ceniza de cáscara de arroz en el comportamiento mecánico de la subrasante del suelo. La investigación desarrollada, tuvo un enfoque cuantitativo ya que el estudio de la subrasante del suelo se realizó mediante los ensayos como granulometrías, límites de Atterberg, Proctor modificado y el cálculo de la capacidad de soporte C.B.R.; la investigación propuso el uso de cenizas de cáscara de arroz ya es un material que se

encuentra en abundancia en la zona de estudio y el costo de mejoramiento de la subrasante sería mínimo. Como resultado de la investigación, se mostró que el uso de la ceniza de cáscaras de arroz permitió el aumento de la resistencia de la sub-rasante del suelo, del mismo modo se observó la disminución notable de las deformaciones transversales provenientes de la carga de tráfico; como también observaron que, tras la mezcla de los suelos con la ceniza de cáscara de arroz, disminuyen la absorción de agua de los suelos, permitiendo que el terreno sea más estable. Llegó a la conclusión de que la adición de 20% de ceniza logra incrementar la capacidad portante de suelo, disminuye las deformaciones transversales y la absorción de agua volviendo más estable al terreno.

Según Mamani y Yataco (2017), para optar el título profesional de Ingeniero Civil, sustentaron la tesis titulada “Estabilización de suelos arcillosos aplicando ceniza de madera de fondo, producto de ladrilleras artesanales en el departamento de Ayacucho”. Con el objetivo de determinar la incidencia de la ceniza de madera de fondo, producto de ladrilleras artesanales, en la estabilización del suelo arcilloso en el Departamento de Ayacucho. Para lograr el objetivo propuesto, llevó a cabo un programa de pruebas de laboratorio para evaluar las propiedades físicas mecánicas de un suelo arcilloso estabilizado con ceniza de madera de fondo; los ensayos de características físicas realizados fueron análisis granulométrico por tamizado (A.S.T.M.D.4.2.2.), análisis granulométrico por sedimentación (ASTM D 422), límites de consistencia (A.S.T.M.D. 4.3.1.8.), clasificación de suelos mediante SUCS y gravedad específica de sólidos (N.T.P. 3.3.9.1.3.1.); y en cuanto a los ensayos de características mecánicas figuran los ensayos de Ensayo de Proctor modificado (N.T.P.3.3.9.1.4.1.), ensayo de Consolidación Unidimensional (NTP 339.154) y ensayo de Corte Directo (A.S.T.M.D.3.0.8.0.). Los resultados de los ensayos realizados mostraron que existe un mejor comportamiento mecánico en la mezcla arcilla de ceniza, a diferencia del suelo arcilloso puro; razón por la cual se examinaron factores como, tiempo de curado, tiempo de compactación, contenido de agua y otros factores que influyen en las propiedades de la mezcla final. Llegaron a la conclusión de que combinación arcilla-ceniza de acuerdo al ensayo de Consolidación Unidimensional curado a 7 días, disminuye la deformación del suelo e incrementa el esfuerzo de pre-consolidación, mejorando el asentamiento del suelo y aumentando su resistencia; y en cuanto a la combinación arcilla-ceniza respecto a los ensayos mecánicos de Corte Directo según la norma A.S.T.M.D.3.0.8.0., curado a 7 y 14 días incrementa los parámetros de resistencia al corte, tales como: esfuerzo al corte, ángulo de fricción interna y cohesión, demostrando así el eficiente uso de estos residuos.

Según Cubas y Falen (2016), en las tesis tituladas “Evaluación de cenizas de carbón para la estabilización de suelos mediante activación alcalina y aplicación en carreteras no pavimentadas”, para optar el título profesional de Ingeniero Civil. Con el objetivo de evaluar la aplicación de las cenizas de carbón vegetal para estabilizar suelos mediante activación alcalina en carreteras no pavimentadas. Hicieron posible la investigación, realizando ensayos de laboratorio como granulometría, límites de Atterberg, gravedad específica, Proctor estándar y deformación unitaria del anillo de carga (capacidad 10kN); las muestras fueron ensayadas con adición de ceniza de carbón en las proporciones de 6%, 13% y 20% ensayados y curados en diferentes tipos de ambientes a los 6 días; finalmente empleó el software de análisis estadístico Minitab donde se comprobaron los factores que más influyen sobre la variable de respuesta en cada muestra ensayada. Respecto a los resultados de los ensayos realizados en laboratorio, obtuvo 98% de arena y 2% de arcilla y limo en la granulometría, con contenido de humedad natural de 26.36%, para el índice de plasticidad del material resultó un NP (no plástico) ya que el material del suelo fue caracterizado como arena pobremente graduada; y en cuanto al ensayo de Proctor estándar el OCH oscila entre 1.69% y 4% y la MDS oscila entre 1.607gr/cm³ y 2.950gr/cm³. Llegas a las conclusiones de que la adición de cenizas de carbón presentó mejor comportamiento en los suelos arenosos y arcillosos debido a que se incrementa la formación de cementantes favoreciendo la estabilización del suelo en estudio.

Según Castro (2017), para optar el título profesional de Ingeniero Civil sustentó la tesis titulada “Estabilización de suelos arcillosos con ceniza de cáscara de arroz para el mejoramiento de subrasante”. Con el objetivo de determinar si la ceniza de cáscara de arroz puede ser utilizada como material estabilizante de los suelos arcillosos, siendo empleados a nivel de subrasante en un pavimento. La investigación se desarrolló con el estudio de muestras de suelo obtenidas del departamento de San Martín y posteriormente se realizaron ensayos en laboratorio para determinar las características físicas, mecánicas y químicas del material de suelo obtenido; realizaron las mezclas de suelo con ceniza de cáscara de arroz en diferentes proporciones para evaluar el comportamiento como estabilizador primario, además realizaron combinaciones de suelo arcilloso con ceniza de cáscara de arroz y cal para incrementar la mejora de propiedades y de este conocer si la ceniza de cáscara de arroz funciona como agente estabilizador secundario. En cuanto a los resultados obtenidos, se percibieron mejoras debido a la adición de ceniza de cáscara de arroz, ya que la combinación de suelo + ceniza de cáscara de arroz + cal, lograron mayores resultados que la combinación de suelo + ceniza de cáscara de arroz; obtuvo un valor de CBR de 19.4% para la combinación de suelo + ceniza de cáscara de arroz al 20%;

sin embargo para la combinación de suelo + ceniza de cáscara de arroz al 20% + cal se logró incrementar el CBR de 5% a 38.5%; en cuanto al ensayo de resistencia a la compresión no confinada para la combinación de suelo + ceniza de cáscara de arroz al 20% la resistencia incremento de 6.91gr/cm² hasta 8.77gr/cm², mientras que para la combinación de suelo + ceniza de cáscara de arroz al 20% + cal la resistencia se incrementó de 6.91gr/cm² hasta 9.96gr/cm². Llegaron a las conclusiones de que el uso de ceniza de cáscara de arroz como agente estabilizador secundario promete buenos resultados en la estabilización de suelos en obras de pavimentación, sin olvidar el alto contenido de material silícico como agente estabilizador primario y secundario además de contribuir con la solución al problema ambiental de la zona de estudio.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Ceniza de madera de fondo

2.2.1.1. Cenizas

La ceniza muy fina es un subproducto de del proceso de combustión de carbón pulverizado, generalmente asociado con plantas de generación de energía eléctrica. Es un polvo de grano fino que está compuesto por sílice, alúmina y varios óxidos y álcalis; además es de naturaleza puzolánica y puede reaccionar con cal hidratada para producir elementos cementantes (Braja, Estabilización con ceniza muy fina, 2012).

2.2.1.2. Clasificaciones de tipos de ceniza según el proceso de producción

a. Ceniza volante seca

Material que se obtiene de la recolección del polvo de calderas, se obtiene de gases de combustión y se recolecta por debajo del calentador de aire. Esta ceniza generalmente se almacena en tolvas, razón por la cual deben de sr removidas constantemente para ser almacenadas en pilas o venderlas para usos industriales (Gonzáles, 2014).

b. Ceniza de fondo seca

Esta ceniza, se almacena en el fondo de las calderas y es extraída por gravedad para ser transportadas en los silos para sus almacenamientos. El color característico de este material es café, negro y blanco (Gonzáles, 2014).

c. Ceniza compuesta seca

Este material, son las mezclas de las cenizas volantes secas y cenizas de fondo seca que se realiza en los silos de almacenamientos (Gonzáles, 2014).

d. Ceniza compuesta hidratada

Este material requiere de la hidratación de la cenizas compuestas, para posteriormente transportarla hacia un lugar de acopia dentro de la planta; la hidratación se realiza con la finalidad de evitar la dispersión de la ceniza al momento de realizar el transporte de la ceniza de un lugar a otro (González, 2014).

2.2.1.3. Propiedades de la ceniza volante

Las principales propiedades de la puzolana son las siguientes:

a. Propiedad puzolánica

“Está indicada por la manera y la rapidez con que la sílice que contiene la ceniza volante se combina con el hidróxido de calcio liberado por la hidratación del cemento portland. La ceniza volante tiene una velocidad de reacción menor que la mayoría de las puzolanas naturales” (González, 2014).

b. Pérdida por ignición

“La ceniza volante con un alto valor de pérdida por ignición (carbón no quemado) da como resultado una decoloración de la superficie del acabado, por causa de las partículas de carbón que ascienden a la superficie. La eficiencia de la ceniza volante como puzolana se reduce a causa de la disminución de óxidos principales, tales como: óxido de sílice, de aluminio o de hierro, lo que puede ocasionar un fraguado más lento” (González, 2014).

c. Granulometría

“La variable más significativa de la ceniza volante es la distribución del tamaño de las partículas. Mientras la ceniza se encuentra en la corriente del gas saliente del horno, la granulometría es constante, pero es afectada por la eficiencia de los molinos de carbón, por el origen del carbón y por la operación del horno.

De una fuente a otra la granulometría de la ceniza varía considerablemente, a consecuencia de los métodos de precipitación, que pueden tener de 3 a 5 etapas y en cada una de ellas se elimina una fracción más fina de ceniza” (González, 2014).

d. Fineza

“Para controlar el grado de fineza en la ceniza, se ha aportado la prueba de material retenido en la malla de 45 micras, mientras mayor sea la cantidad de ceniza volante que pase por dicha malla, mayor será su efecto sobre la resistencia” (González, 2014).

e. Forma de la partícula

“Las partículas de la ceniza volante están conformadas por un polvo granulado con características únicas, esto se debe a la mayoría de las mismas por ser de forma esférica. En la fracción más gruesa se encuentra en un rango de 300 a 45 micras, la mayoría de las partículas son negras y porosas. La pérdida por ignición de este material grueso y arenoso es de 3 a 10 veces mayor que la fracción que pasa la malla de 45 micras, lo que indica presencia de carbón quemado parcialmente” (González, 2014).

f. Densidad

“La densidad en la ceniza volante es una propiedad con un nivel de variación alto que depende directamente de la distribución del tamaño de las partículas o la pérdida por ignición” (González, 2014).

2.2.1.4. Usos de la ceniza

Según el artículo de investigación Santaella (2001), menciona que la ceniza volante es un subproducto que son utilizadas para las fabricaciones de vidrio, cerámica y elaboración de hormigones. Incluso puede cumplir tres misiones, como:

- Adiciones activas incorporadas directamente en la mezcladora
- Adiciones inertes, como elementos sustituyentes o complementarios de las fracciones finas de los áridos, en el uso de que estos presenten déficits
- Preparación de cemento II, II – C, IV y V, molida junto al Clinker.

2.2.1.5. Cenizas de madera de fondo

“La ceniza de fondo comprende la fracción gruesa de ceniza producida en la cama inferior y la cámara de combustión primaria. A menudo, se mezcla con impurezas minerales contenidas en el combustible, como barros. Residuo transportado por los ases de combustión en un horno. El material cae al fondo del horno y se separa mecánicamente. La ceniza de fondo constituye la mayor parte (60%) del total de las cenizas producidas por la combustión de madera y carbón” (Mamani & Yataco, 2017).

2.2.2. Estabilización de suelos arcillosos

2.2.2.1. Suelos arcillosos

Los suelos arcillosos, generalmente se encuentran en zonas de alta precipitación con deficiencia de drenaje; este tipo de suelos se caracterizan por los altos contenidos de aguas y bajas resistencias. Cuando un suelo arcilloso experimenta cambio de humedad, presenta cambios en su volumen (Kraemer, y otros, 2004).

El suelo arcilloso está compuesto por el material mineral llamado mont-morillonita en grandes proporciones y en pocas proporciones o casi escasas de cloritas y vermiculitas. Entre los minerales que no se consideran activos, se encuentran la caolinita e illita, que incluso pueden contribuir en las propiedades expansivas de los suelos siempre que se encuentren en cantidades apreciables. Como también existen propiedades físicas que influyen en el cambio volumétrico e inciden en campo y laboratorio (Fonseca & Montejo, 2006).

En cuanto al peso específico del suelo arcilloso, este puede variar entre 2.60 a 2.75gr/cm³, sin olvidar la ubicación altitudinal y presiones del lugar en el que se realice en el ensayo. En caso de que el material sea más denso de los suelos son más sólidos, razón por la cual presentarse las altas resistencias a la erosión (Ruano, 2012).

Continuando con Ruano (2012), menciona que la porosidad y humedad se modifican por los incrementos de la saturaciones, ya que un suelo arcilloso puede pasar del estado sólido a líquido con mayor facilidad, debidos a los incrementos de aguas en los interiores de sus partículas que genera una disminución brusca de la fuerza de cohesión, produciendo partículas fluidas. El suelo arcilloso presenta una cohesión baja que va desde 0.25kg/cm² a 1.5kg/cm² que en ocasiones puede superar el rango descrito (Ruano, 2012).

En la siguiente tabla, se puede observar el índice de plasticidad de un suelo.

Tabla 1. Índice de plasticidad del suelo

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

Fuente: (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014)

a. Clasificación de las arcillas

Las arcillas, se clasifican según el tipo de formación cristalina.

- **Caolinitas**

Este tipo de arcilla es estable, ya que su estructura es expandible. Se forma mediante superposiciones indefinidas de láminas a lumínicas y silícicas, las uniones de las partículas son fuertes de modo tal que impide los ingresos de moléculas de agua entre ellas. Razón por la cual no presentan expansiones o hinchamientos cuando se saturan (Castro, 2017).

- **Illitas**

Este tipo de arcillas presentan fricciones internas, debido a que se forma mediante superposición indefinida de unas láminas alumínicas y dos silícicas, dentro de su composición se forman grumos de material que ocasionan reducción del área expuesta al agua, efecto que limita su propiedad de expandirse. Sin embargo, el hinchamiento o expansión es mayor en las caolinitas que en las Montmorillonitas (Castro, 2017).

- **Montmorillonitas**

Este tipo de arcilla tiene estructura similar al de las illitas, pero la unión de las láminas es débil por lo que es inestable ante la presencia de agua. En la Montmorillonitas, el agua ingresa con mayor facilidad a la estructura de la arcilla, ocasionando el incremento del volumen de los cristales lo que se traduce en expansión del suelo (Castro, 2017).

En la siguiente figura, se puede observar los minerales componentes de la arcilla

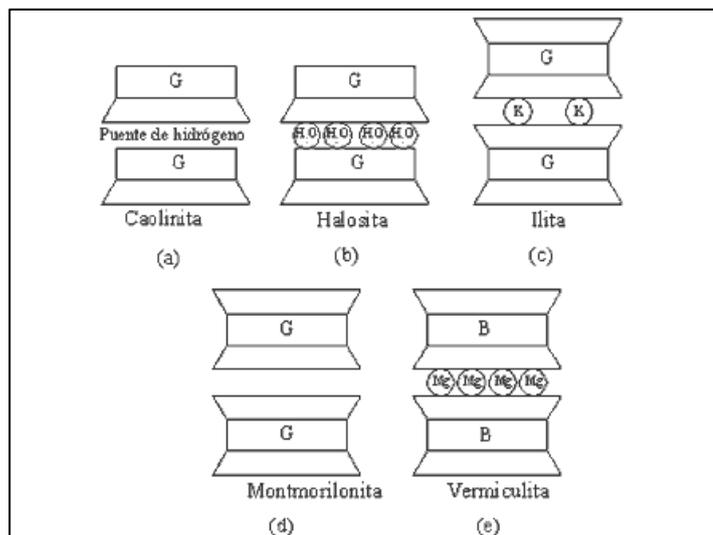


Figura 1. Minerales de arcilla

Fuente: (Ingeniería Civil - Proyectos y apuntes teórico prácticos, 2010)

b. Características físicas y químicas

Las características de las arcillas radican en las propiedades físicas – químicas, siendo las principales características las siguientes:

- Tamaño de partículas
- Morfología laminares
- Sustituciones isomórficas, que origina la aparición de cargas en las láminas y presencia de cationes ligados en el espacio interlamina.

En las siguientes líneas, se detallan algunas propiedades principales que poseen las arcillas:

- **Plasticidad:** Característica principal de los suelos arcillosos, esta propiedad ocasiona que al agua forme una envoltura sobre las partículas generando un efecto lubricante, que puede causar deslizamiento cuando se presenten esfuerzos debido a cargas. Esta propiedad depende de la morfología laminar y tamaño de la partícula; y puede ser cuantificada con los límites de Atterberg (Castro, 2017).
- **Hidratación e hinchamiento:** Hidratación y deshidratación del espacio laminar de las arcillas es característico de la Montmorillonitas; el grado de hidratación está relacionado con el catión laminar y la carga de lámina. Por otro lado, el hinchamiento se produce por las absorciones de agua que ingresan a los espacios interlaminares separando las láminas; ya que cuando el agua ingresa, las láminas se separan generando fuerzas electrostáticas de repulsión entre las láminas, acción que contribuye al hinchamiento y llega a separar completamente las láminas (Castro, 2017).
- **Superficies específicas:** Esta propiedad se define como el área de la superficie externa más el área de la superficie interna de las partículas por unidad de masa, la superficie específica de las arcillas es elevada (Castro, 2017).
- **Tixotropías:** Fenómeno que consiste en la pérdida de resistencia al ser amasado y su recuperación en el tiempo. Las arcillas tixotrópicas se convierten en líquido cuando son amasadas y cuando se dejan en reposo recuperan su cohesión. El fenómeno descrito sucede cuando el contenido de agua del suelo arcilloso está en el límite líquido, pero cuando el agua se encuentre en su límite plástico no hay posibilidad de que ocurra el fenómeno tixotrópico (Castro, 2017).
- **Capacidades de absorciones:** Propiedades de las arcillas relacionada con las características de textura (superficie específica y porosidad) y la absorción de moléculas que se almacenan en los espacios interlaminares de las arcillas. Difícilmente la absorción (proceso físico de retención por capilaridad) se dé por separado de la adsorción (interacción química entre el adsorbente – arcillas y los líquidos adsorbidos denominados adsorbamos) (Castro, 2017).
- **Capacidades de intercambios catiónicos:** Fenómeno reversible, definido como la capacidad de intercambiar iones fijados en la superficie exterior de los cristales en los espacios interlaminares u otros espacios interiores de las arcillas. Debido a esta particular característica, las propiedades mecánicas de

resistencia del suelo y plasticidad, ya que pueden variar de modo que se modifica la cantidad de cationes ligados generando variación en los espesores de la película superficial. la capacidad de intercambio catiónico se incrementa con el grado de acidez, lo que equivale a decir que si el pH es menor la actividad de intercambio catiónico será mayor, y paralelamente se incrementa la velocidad y concentración de la solución en el interior del suelo (Castro, 2017).

2.2.2.2. Estabilización de suelos

a. Estabilización

“La estabilización de suelos consiste en dotar a los mismos, de resistencia mecánica y permanencia de tales propiedades en el tiempo. Las técnicas son variadas y van desde la adición de otro suelo, a la incorporación de uno o más agentes estabilizantes. Cualquiera sea el mecanismo de estabilización, es seguido de un proceso de compactación.” (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2014)

El Manual de carreteras y vivas, menciona que “se considerarán como materiales aptos para las capas de la subrasante a aquellos suelos que cuenten con $\text{CBR} \geq 6\%$ ” (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2014).

b. Tipos de estabilizaciones

Para las estabilizaciones de suelos de grano fino se puede emplear “los aditivos más comunes como la cal, y la cal con ceniza muy fina, con los fines de modificar el suelo, agilizar la construcción y mejorar la resistencia y durabilidad del suelo” (Braja, 2012).

- **Estabilización con cemento**

Este tipo de estabilización, desarrolla “un proceso de cementación y relleno de los vacíos del suelo o roca, aumentando la resistencia del conjunto y controlando los flujos internos de agua. En suelos residuales la inyección de cemento ha tenido buen éxito”. El estudio considera suelos residuales característicos de la selva central peruana (Suárez, 1998).

- **Estabilización con cal**

“La estabilización con cal para suelos granulares no es efectiva, ya que para considerar un suelo estabilizado con este material tiene que pasar 80 días” (Suárez, 1998).

- **Estabilizaciones con cenizas**

La ceniza es de origen puzolánico y puede reaccionar con cal hidratada para producir productos cementantes. Las mezclas efectivas se pueden preparar con 10 a 35% de ceniza muy fina y de 1.9 a 10.1% de cal; razón por la cual, las mezclas de suelo-cal-ceniza se compactan en condiciones controladas y con cantidades apropiadas de humedad para obtener capas de suelo estabilizadas (Braja, 2012).

En la siguiente figura, se puede apreciar los tipos de estabilizaciones de suelos.

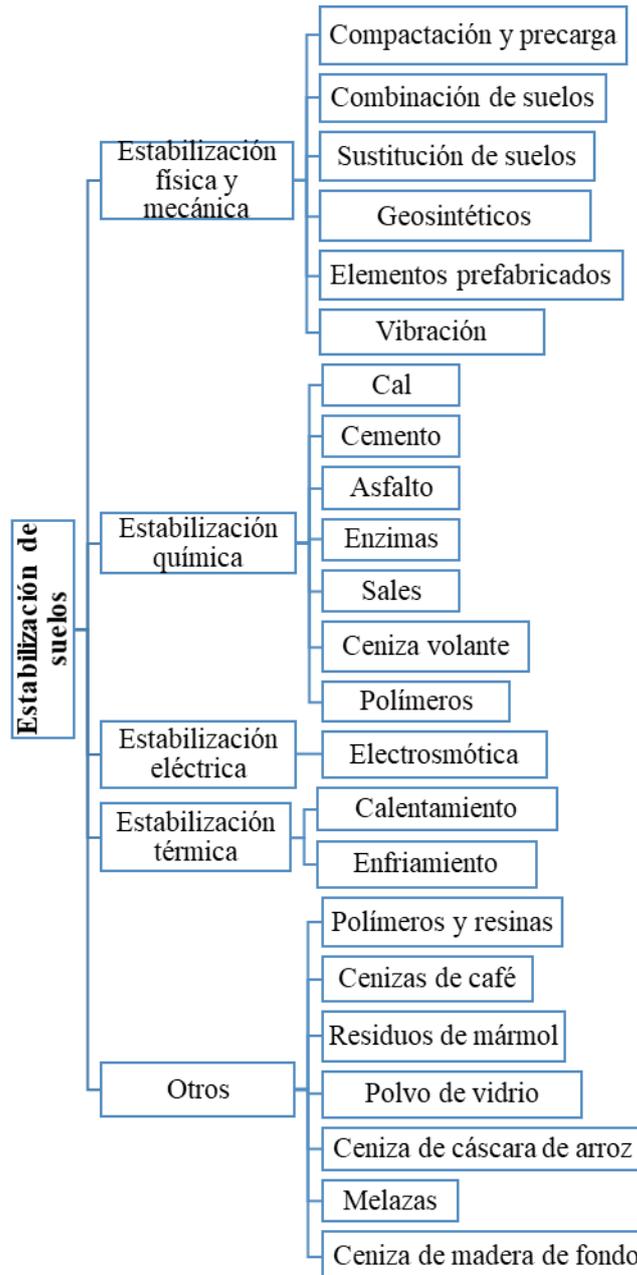


Figura 2. Tipos de estabilización de suelos
Fuente: (Castro, 2017)

2.2.2.3. Estabilización de suelos arcillosos

“La estabilización de suelos arcillosos consiste en modificar algunas de sus características indeseables para el propósito de uso que queremos darle a dicho suelo. Las principales características indeseables de una arcilla plástica serán: Un índice plástico demasiado alto que significa un alto valor de expansión (o bien su opuesta contracción), así como una capacidad para soportar carga estructural que será demasiado baja. El suelo arcilloso tiene la capacidad de modificar su volumen cuando absorbe o deja de absorber agua produciendo hinchazones sobre el asentamiento de la obra que deriva en ciertas rajaduras que muchas veces pueden visualizarse desde la fachada con grietas horizontales” (Mamani & Yataco, 2017, pág. 39)

2.2.3. Ensayos de laboratorio

2.2.3.1. Análisis granulométrico

Las composiciones granulométricas de un suelo grueso sirva para discernirse sobre las influencias que puede tener en las densidades de los materiales compactado (Crespo, Granulometría, 2008).

Según el (Ministerio de Transportes y comunicaciones, 2014), el análisis granulométrico tiene por finalidad determinar la proporción de sus diferentes elementos constituyentes, clasificados en función al tamaño de sus partículas. En la siguiente tabla, se muestra la clasificación del suelo según el tamaño de partículas.

Tabla 2. Clasificación de suelos según tamaño de partículas

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

Fuente: (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014)

2.2.3.2. Contenido de humedad

Según el (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014), las humedades naturales es otras características importantes de los suelos, ya que la resistencia del suelo de la subrasante, en especial de los finos se encuentran directamente asociadas con las condiciones de humedades y densidades que estos suelos presenten.

Del mismo modo, menciona que, si la humedad natural es igual o inferior a la humedad óptima, el Proyectista deberá proponer la compactación normal del suelo y el aporte de una cantidad de agua conveniente. Y en caso de que la humedad natural sea superior a la humedad óptima, se deberá de proponer el incremento de energía de compactación, aireamiento del suelo e incluso reemplazarse los materiales saturado (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014).

2.2.3.3. Límites de Atterhberg

Son unas prueba que residen precisar los límites convenientes a los 3 fases en los cuales puede lucir el suelo: líquido, plástico y sólido, a estas etapas se les denomina límite de Atterberg el cual localizamos la plasticidad de un tipo de suelo, y para ello vemos el grado o porcentaje de humedad con el cual reacciona el suelo en su comportamiento líquido y plástico, dentro de ello se realizará un proceso de diferencias entre el estado líquido y el estado plástico para ver el índice de plasticidad el cual se va determinar si la plasticidad es la adecuada o es inestable (Zans, 1975)

a. Límites líquidos

Se define como el contenido de humedad expresado en porcentaje con respecto al peso seco de la muestra, con el cual el suelo cambia del estado líquido al plástico. De acuerdo con esta definición, los suelos plásticos tienen en el límite líquido una resistencia muy pequeña al esfuerzo de corte, pero definida, y según Atterberg es de 24 g/cm². La cohesión de un suelo en el límites líquidos es prácticamente nula (Crespo, Plasticidad de los suelos, 2008).

b. Límite plástico

Los límites plásticos se definen como los contenidos de humedades, expresado en porcentaje con respecto al peso seco de la muestra secada al horno, para el cual los suelos cohesivos pasan de un estado semisólido a un estado plástico (Crespo, Granulometría, 2008).

Según el (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014), menciona que además de obtener el L.P. (límite plástico) y el L.L. (límite líquido), un valor característico que se obtiene es el Índice de Plasticidad (IP) que es equivalente a la diferencia entre el LL y el LP.

$$IP = LL - LP \quad (\text{Ecuación 1})$$

El índice de plasticidad señala la magnitud de intervalo de humedad, donde el suelo posee consistencia plástica y se puede clasificar. Es así que un IP mayor corresponde a un suelo muy arcilloso y un IP bajo corresponde a un suelo poco arcilloso.

La siguiente tabla, muestra la clasificación del suelo según el índice de plasticidad.

Tabla 3. Clasificación del suelo según índice de plasticidad

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

Fuente: (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014)

2.2.3.4. Proctor modificado

El Proctor modificado es un ensayo que se realiza con la finalidad de determinar la cantidad óptima de agua de un suelo que admite la mejor compactación para una energía dada (Zans, 1975).

El proctor modificado es una prueba con la que se puede encontrar la humedad requerida con el grado de humedad y ver la compactación perfecta del suelo a través del volumen de peso contenido en un molde. Esto se denomina densidad relativa en volumen bajo una humedad requerida, y para ellos se realiza un proceso que consiste en una variedad de golpes que varían en cinco capas y están relacionadas con las herramientas utilizadas para ubicar las densidades (Carrasco, 2017).

2.2.3.5. Ensayo CBR (en laboratorio)

El C.B.R. es una prueba que tiene como objetivo estimar la capacidad de carga de un suelo que está sujeto bajo cargas de las ruedas, es decir, su capacidad para soportar en una determinada estructura de la carretera las cargas móviles que deben recorrerlo (Valero, 1978).

Según el Manual de carreteras – sección suelos y pavimentos, menciona que posterior a la clasificación del suelo según el sistema A.A.S.H.T.O. y S.U.C.S., se debe elaborar el perfil estratigráfico para cada sector homogéneo y a partir de este perfil se determinará el programa de ensayos para el valor soporte del suelo (C.B.R.) con una penetración de carga de 2.54mm (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014).

También menciona las consideraciones que se debe tener para obtener el valor CBR de diseño de la subrasante:

- Para sectores con 6 valores o más de C.B.R., se determinará el valor C.B.R. de diseño de la su-brasante promedios de los totales de los valores obtenidos por sector de características homogéneas (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014).
- En caso de tener menos de 6 valores de CBR, se debe considerar los siguientes criterios:
 - Si los valores son similares, considerar unos valores promedios.
 - Si los valores no son similares, considerar el valor crítico (CBR más bajo) o subdividir la sección con la finalidad de agrupar subsectores con valores de C.B.R. similares y definir el promedio; sin olvidar que la longitud de los subsectores debe ser mayor a 100m.

En la siguiente tabla, se puede observar las categorías de subrasante según el CBR.

Tabla 4. *Categorías de subrasante*

Categoría de subrasante	CBR
S0: Subrasante inadecuada	CBR < 3%
S1: Subrasante insuficiente	3% ≤ CBR < 6%
S2: Subrasante regular	6% ≤ CBR < 10%
S3: Subrasante buena	10% ≤ CBR < 20%
S4: Subrasante muy buena	20% ≤ CBR < 30%
S5: Subrasante excelente	CBR ≥ 30%

Fuente: (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014).

2.3. Definición de términos básicos

- **Ceniza**

Polvo de color grisáceo claro que queda al concluir la combustión completa y generalmente está formada por sales alcalinas, sales térreas, sílices y óxidos metálicos (RAE - Real Academia Española, 2005).

- **Compactación**

Acción y efecto de compactar, característica de un cuerpo compacto, con textura apretada y poco porosa (RAE - Real Academia Española, 2005).

Como es el caso del suelo en una muestra cilíndrica para realizar el ensayo de Proctor o CBR.

- **CBR**

Por sus siglas en inglés California Bearing Ratio, ensayo que determina el valor de capacidades portantes del suelos de la sub-rasante, para el cual se debe de tener valores en porcentaje superiores o iguales al 6% para ser consideradas como subrasante regular, así como también valores constantes en todo el tramo de la carretera proyectada (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014).

- **Estabilización**

Acción y efecto de estabilizar, generalmente se adiciona una sustancia para evitar la degradación (RAE - Real Academia Española, 2005).

Mejoramiento de las propiedades físicas de un suelo, por medio de procedimientos mecánicos e incorporación de productos químicos, naturales o sintéticos. La estabilización de suelos se realiza con la finalidad de dotar al suelo de resistencia mecánica y permanencia de dicha propiedad en el tiempo, las técnicas van desde la adición de otro suelo, hasta la incorporación de uno o más agentes estabilizantes, ante cualquier tipo de mecanismo de estabilización este debe ser seguido de un procesos de compactaciones que garantice el funcionamiento de la subrasante (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2014).

- **Granulometría**

Parte de la petrografía, que trata la medida de las partículas, granos y rocas de los suelos. Determina el tamaño de las piedras, granos, arenas, etc., que constituyen un árido o polvo (RAE - Real Academia Española, 2005).

- **Suelo**

Agregado no cementado, compuesto de granos minerales y materia orgánica descompuesta (partículas sólidas) junto al líquido y gas que ocupan los espacios vacíos entre las partículas sólidas. Utilizado como material de construcción en diversos proyectos de ingeniería civil (Braja, 2012).

- **Subrasante**

Asiento directo de la estructura del pavimento que forma parte del prisma de la carretera que se construye en el terreno natural; está conformada por suelos seleccionados de características aceptables y compactados por capas para

construir un cuerpo estable en óptimo estado, de tal manera que no se vea afectada por la carga de diseño proveniente de del tránsito (Ministerio de Transportes y comunicaciones, 2014).

2.4. Hipótesis de investigación

2.4.1. Hipótesis general

La adición de ceniza de madera de fondo influye significativamente en la estabilización de suelos arcillosos aplicado a subrasantes en la Ciudad de Satipo.

2.4.2. Hipótesis específicas

- a) La adición de ceniza de madera de fondo influye significativamente en el tipo de suelo arcilloso aplicado a subrasantes en la Ciudad de Satipo.
- b) La adición de ceniza de madera de fondo en la humedad natural influye significativamente en los suelos arcillosos aplicado a subrasantes en la Ciudad de Satipo.
- c) La adición de ceniza de madera de fondo influye significativamente en la índice plasticidad de los suelos arcillosos aplicado a subrasantes en la Ciudad de Satipo.
- d) La adición de ceniza de madera de fondo influye significativamente en la máxima densidad seca de los suelos arcillosos aplicado a subrasantes en la Ciudad de Satipo.
- e) La adición de ceniza de madera de fondo influye significativamente en la capacidad de resistencia de los suelos arcillosos aplicado a subrasantes en la Ciudad de Satipo.

2.5. Sistema de variables

2.5.1. Variable independiente

La ceniza de madera de fondo, es un aditivo estabilizante muy fino de tal manera que su adición al suelo arcilloso en diferentes porcentajes respecto al peso del suelo permite la estabilización de dicho suelo; de este modo evitar el retiro del material y reemplazo completo por otro de mejor calidad el cual tiene un alto costo para su realización y para solucionar el problema de un suelo con alto contenidos de humedades e índices de plasticidades y baja resistencia.

2.5.2. Variable dependiente

Los suelos arcillosos, se pueden estabilizar con las adiciones de cenizas de madera de fondo en diferentes porcentajes respecto al peso del suelo, la cual será evaluada en los ensayos que se realizaron en los laboratorios.

Tabla 5. Operacionalización de variables

VARIABLE	DEFINICION CONCEPTUAL	DIMENSIONES	INDICADORES	FUENTES	INSTRUMENTOS
Ceniza de madera de fondo	La ceniza muy fina es un subproducto de del proceso de combustión de carbón pulverizado, generalmente asociado con plantas de generación de energía eléctrica. Es un polvo de grano fino que está compuesto por sílice, alúmina y varios óxidos y álcalis; además es de naturaleza puzolánica y puede reaccionar con cal hidratada para producir elementos cementantes (Braja, Estabilización con ceniza muy fina, 2012, pág. 766)	Adición de ceniza de madera de fondo	Cantidad de ceniza de madera de fondo	Manual de Ensayo de materiales MTC 2016	Balanza digital con precisión de 0.01 g
			Tamaño máximo nominal de la ceniza de madera de fondo	Manual de Ensayo de materiales MTC 2016	Tamiz N° 200(ASTM D 422)
Estabilización de suelos	La estabilización de suelos consiste en dotar a los mismos, de resistencia mecánica y permanencia de tales propiedades en el tiempo. Las técnicas son variadas y van desde la adición de otro suelo, a la incorporación de uno o más agentes estabilizantes. Cualquiera sea el mecanismo de estabilización, es seguido de un proceso de compactación (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2014, pág. 113).	Tipo de suelo	Análisis granulométrico	Manual de Ensayo de materiales MTC 2016	Ficha de Granulometría por Tamizado (MTC E 107-2016)
		Humedad natural	Contenido de humedad	Manual de Ensayo de materiales MTC 2016	Ficha de Contenido de humedad (MTC E 108-2016)
		Índice de plasticidad	Límite líquido, Límite plástico	Manual de Ensayo de materiales MTC 2016	Ficha de Límite de Atterberg (MTC E 110 – 2000/ MTC E 111-2016)
		Densidad seca y húmeda	Proctor modificado	Manual de Ensayo de materiales MTC 2016	Ficha de Proctor Modificado (MTC E 115 – 2016)
		Capacidad y resistencia del suelo	Ensayo CBR	Manual de Ensayo de materiales MTC 2016	Ficha de Proctor Modificado (MTC E 132 – 2016)

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. Método de investigación

Según Sánchez y Reyes (2015), afirma que el método es el proceso de indagación para tratar un conjunto de problemas que no conocemos y es la manera de sistematizada de hacer uso del pensamiento reflexivo; incluyendo la solución de problemas de la sociedad que aún no han sido investigados o llevan hacia otra dirección.

En ese sentido, la presente investigación es científica ya que se desarrollará de manera organizada y sistemática la información y los resultados necesarios para hacer posible la investigación.

3.2. Tipo de investigación

De acuerdo con el diario El Peruano (2015), en el tipo de investigación aplicada se pone en práctica los conocimientos adquiridos para el beneficio de una determinada población.

El tipo de investigación es aplicada, porque se pone en práctica los conocimientos adquiridos para el beneficio de los usuarios de las carreteras, es decir tanto para los transportistas como para los pasajeros.

3.3. Nivel de investigación

El alcance o nivel de la investigación es explicativo, ya que “está dirigido a responder por las causas de los efectos y fenómenos físicos o sociales”, además se contará con un grupo de tratamiento control y grupos experimentales (Hernández, Fernández, & Baptista, 2014).

3.4. Diseño de la investigación

El diseño de la investigación es experimental, debido a que “la esencia de esta concepción de experimento es que requiere la manipulación intencional de una acción, para analizar sus posibles resultados”, es así que la investigación desarrollará la manipulación de la variable de adición de ceniza de caña de azúcar en diferentes proporciones para determinar el efecto en la estabilización de suelos tropicales (Hernández, Fernández, & Baptista, 2014).

GE: $O_1 \times O_2$

GC: O_3

T0: Tratamiento control

T1: S1 + Ceniza 10%

T2: S2 + Ceniza 15%

T3: S1+S2 + Ceniza 20%

3.5. Población y muestra

3.5.1. Población

Según Castro (2016), la población es la totalidad de elementos que conforman la realidad que se va a investigar. La población está delimitada por los suelos arcillosos que se encuentran en las avenidas y demás calles de la Provincia de Satipo.

3.5.2. Muestra

Según Castro (2016), la muestra es parte de la población la cual se selecciona por métodos diversos y representa a la población. En ese sentido, la muestra de la investigación está representada por los 360kg de suelo arcilloso de tres puntos de los 600 metros que se encuentran sin pavimentación en la Avda. Antonio Raimondi, Coviriali, Provincia de Satipo, tal como se muestra en la siguiente figura.

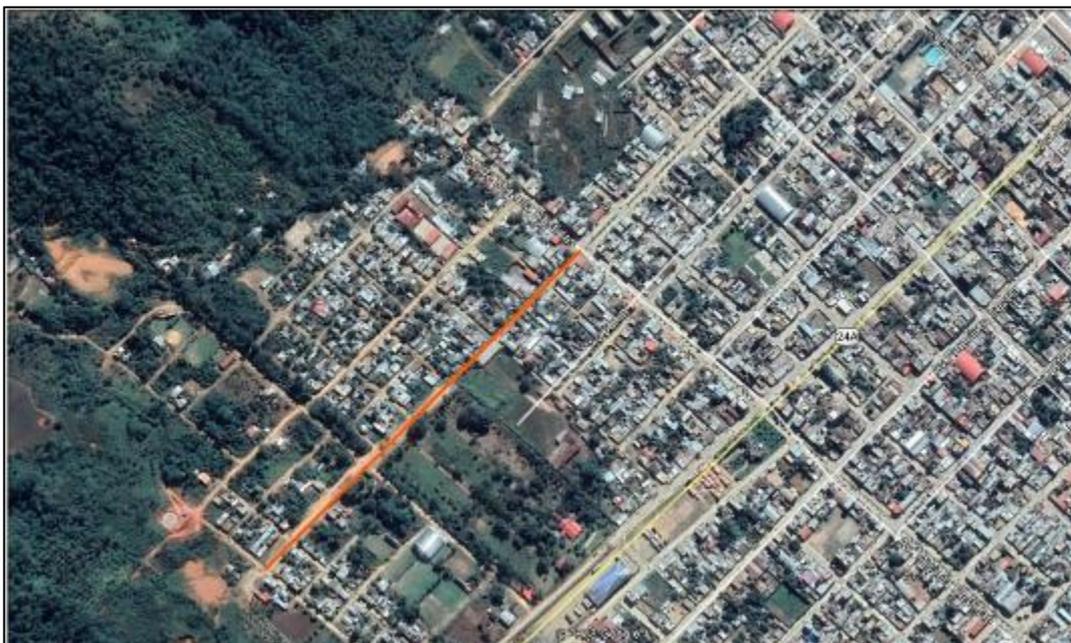


Figura 3. Avda. Antonio Raimondi - Coviriali - Provincia de Satipo (línea naranja)

Fuente: Google Earth.

En la siguiente tabla, se puede observar el tratamiento de las muestras.

N° de Muestra	T0	T1	T2	T3
1	X1	Y1	Z1	W1
2	X2	Y2	Z2	W2
3	X3	Y3	Z3	W3
	\bar{X}	\bar{Y}	\bar{Z}	\bar{W}

Fuente: Elaboración propia

El diseño de la investigación tendrá cuatro tratamientos; el tratamiento cero (T0) será el tratamiento control para el cual se realizarán 3 muestras según lo que estipula el Manual de Ensayos de Materiales del MTC, el tratamiento uno (T1) el cual está compuesto por el suelo arcilloso más ceniza de madera de fondo al 10% del peso de las muestras de suelo, el tratamiento dos (T2) el cual está compuesto por el suelo arcilloso más cenizas de maderas de fondo al 15% del peso de la muestra de suelo y finalmente el tratamiento tres (T3) el cual está compuesto por el suelo arcilloso más cenizas de maderas de fondo al 20% del peso de la muestra de suelo. Cada tratamiento estará compuesto por tres muestras para el respectivo desarrollo de cada ensayo, según el Manual de Ensayos de Materiales del MTC.

3.6. Métodos, técnicas e instrumentos de recolección de datos

La técnica de recolección de datos será no documental, ya que se recolectará información de los experimentos realizados en laboratorio. Y el instrumento de recolección de datos estará conformada por fichas de observaciones y resultados de los ensayos que serán realizados para las validaciones de la investigación.

3.7. Validación de los instrumentos de recolección de datos

Los instrumentos de recolección de datos fueron validados tras la realización de los ensayos de laboratorio, por la misma institución donde se realizará ya que esta contará con todas las licencias y certificados de calidad de equipos. Además de brindar el servicio de calibración de los equipos que requieren dicha calibración y serán usados en los diferentes ensayos.

3.7.1. Técnicas de procesamientos y análisis de datos

los procesamientos de los datos en estudios con respecto a la influencia de la adición de ceniza de madera de fondo en la estabilización de suelos arcillosos serán realizados mediante hojas de cálculo lo cual se utilizó la herramienta Office: Microsoft Excel. El análisis obtenido de los resultados de laboratorio se presentará a través de gráficos de barra o histogramas, gráficos de líneas y gráficos de dispersión. Del mismo modo, se realizará la prueba de hipótesis para la validación de la investigación.

3.8. Procedimiento de ensayos

3.8.1. Recojo de material en campo

De acuerdo con la Norma E.050 de Suelos y Cimentaciones; los pozos o calicatas y trincheras son excavaciones que permiten una observación directa del terreno que se realizan para la toma de muestras y realización de ensayos in situ. También es necesario mencionar que la muestra extraída, pertenece al tipo de muestra alterada en bolsa de plástica (Ministerio de vivienda construcción y saneamiento, 2018).

Según el Manual de ensayo de materiales del MTC, sugiere que el material de muestra a extraer sea entre 50 a 200kg para determinar las propiedades del material. En cuanto a la profundidad de excavación para calicatas de carreteras, aeropuertos o áreas de estacionamiento debe ser como mínimo 1.5m por debajo de la subrasante (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016). En concordancia con lo mencionado, la cantidad de material extraído fue de 200kg con el cual se realizó la caracterización del suelo proveniente.

De igual modo, el Manual de carreteras – sección suelos y pavimentos menciona que para vías de bajo volumen de tránsito es recomendable realizar una calicata por cada km de carreteras. Razón por la cual, la presente investigación realizó una calicata en la subrasante de la carretera.

En la siguiente figura, se puede observar la calicata realizada en lugar de estudio, Coviriali, provincia de Satipo.



Figura 4. Calicata de suelo arcilloso
Fuente: Elaboración propia

3.8.2. Análisis granulométrico

El Manual de ensayo de materiales, menciona que es necesario la obtención de muestras representativas para la ejecución de los ensayos que se realicen.

También menciona que para el ensayo de análisis granulométrico de suelos por tamizado (MTC E 107), este se debe de realizar tomando como referencia la norma ASTM D 422, ya que la finalidad del ensayo es determinar los porcentajes de suelo que pasan por los distintos tamices de la serie empleada en el ensayo hasta el tamiz N°200 (74mm). Del mismo presenta la serie de tamices a emplear, tal como se muestra en la tabla siguiente (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016).

Tabla 6. Serie de tamices de abertura cuadrada

Tamices	Abertura (mm)
3''	75,000
2''	50,800
1 1/2''	38,100
1''	25,400
3/4''	19,000
3/8''	9,500
N°4	4,760
N°10	2,000
N°20	0,840
N°40	0,425
N°60	0,260
N°140	0,106
N°200	0,075

Fuente: (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016)

Es necesario mencionar que en la presente investigación, se emplearon más tamices para una mejor caracterización granulométrica del suelo. Tal como se puede observar en la siguiente imagen.



Figura 5. Tamices para el ensayo de Análisis granulométrico
Fuente: Elaboración propia

Procedimiento de ensayo:

Análisis por medio de tamizado de la fracción retenida en el tamiz de 4.760mm (N°4)

1. Separación de la porción de muestra retenida en el tamiz N°4, usando los tamices que se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 7. Tamices para la fracción retenida en el tamiz N°4 (4,760mm)

Tamices	Abertura (mm)
3"	75,000
2"	50,800
1 ½"	38,100
1"	25,400
¾"	19,000
3/8"	9,500
N°4	4,760

Fuente: Elaboración propia

2. Para el tamizado del material por el método manual, el tamiz o tamices debe de mover de un lado a otro formando circunferencias. En el caso de usar tamizador mecánico, este debe funcionar por diez minutos.
3. Determinación del peso de cada fracción en la balanza de precisión de 0,2%, se suman de pesos de todas las fracciones y los pesos iniciales de la muestra el cual no debe diferir en más del 0,2%.

Análisis granulométrico de las fracciones fina:

4. El análisis del granulométrico del material que pasa el tamiz N°4 (4,760mm) se puede realizar por tamizado y/o sedimentación. Para este caso se realizó por tamizado.
5. En cuanto a los materiales arenosos que contengan poco contenido de limo y arcilla, se desintegran los terrones y se tamizan en seco.
6. Para el material pasante el tamiz N°200 (0.074mm), este se analiza por tamizado en seco previo lavado del material y secado, posterior a ello se pesa el material seco

En las siguientes figuras, se muestra la clasificaciones de los suelos según S.U.C.S. y A.A.S.H.T.O.

SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS (S.U.C.S.)
INCLUYENDO IDENTIFICACIÓN Y DESCRIPCIÓN

DIVISIÓN MAYOR		SÍMBOLO	NOMBRES TÍPICOS	CRITERIO DE CLASIFICACIÓN EN EL LABORATORIO			
SUELOS DE PARTICULAS GRUESAS Más de la mitad del material es retenido en la malla número 200 ⊕ Las partículas de 0.074 mm de diámetro (la malla No.200) son, aproximadamente, las más pequeñas visibles a simple vista.	GRAVAS Más de la mitad de la fracción gruesa es retenida por la malla No. 4	GRAVAS LIMPIA Poco o nada de partículas finas	GW	Gravas bien graduadas, mezclas de grava y arena con poco o nada de finos	COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD Cu: mayor de 4. COEFICIENTE DE CURVATURA Cc: entre 1 y 3. $Cu = D_{60} / D_{10}$ $Cc = (D_{30})^2 / (D_{10})(D_{60})$		
			GP	Gravas mal graduadas, mezclas de grava y arena con poco o nada de finos		NO SATISFACEN TODOS LOS REQUISITOS DE GRADUACIÓN PARA GW.	
		GRAVA CON FINOS Cantidad apreciable de partículas finas	* GM	d	Gravas limosas, mezclas de grava, arena y limo	LÍMITES DE ATTERBERG ABAJO DE LA "LÍNEA A" O I.P. MENOR QUE 4.	Arriba de la "línea A" y con I.P. entre 4 y 7 son casos de frontera que requieren el uso de símbolos dobles.
			u	Gravas arcillosas, mezclas de gravas, arena y arcilla	LÍMITES DE ATTERBERG ARRIBA DE LA "LÍNEA A" CON I.P. MAYOR QUE 7.		
		ARENAS Más de la mitad de la fracción gruesa pasa por la malla No. 4	ARENA LIMPIA Poco o nada de partículas finas	SW	Arenas bien graduadas, arena con gravas, con poca o nada de finos.	Cu = D_{60} / D_{10} mayor de 6 ; Cc = $(D_{30})^2 / (D_{10})(D_{60})$ entre 1 y 3.	
	SP			Arenas mal graduadas, arena con gravas, con poca o nada de finos.	No satisfacen todos los requisitos de graduación para SW		
	ARENA CON FINOS Cantidad apreciable de partículas finas		* SM	d	Arenas limosas, mezclas de arena y limo.	LÍMITES DE ATTERBERG ABAJO DE LA "LÍNEA A" O I.P. MENOR QUE 4.	Arriba de la "línea A" y con I.P. entre 4 y 7 son casos de frontera que requieren el uso de símbolos dobles.
		u	SC	Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla.	LÍMITES DE ATTERBERG ARRIBA DE LA "LÍNEA A" CON I.P. MAYOR QUE 7.		
	SUELOS DE PARTICULAS FINAS Más de la mitad del material pasa por la malla número 200 ⊕ Las partículas de 0.074 mm de diámetro (la malla No.200) son, aproximadamente, las más pequeñas visibles a simple vista.	LIMOS Y ARCILLAS Limite Líquido menor de 50	ML	Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos.	G – Grava, S – Arena, O – Suelo Orgánico, P – Turba, M – Limo C – Arcilla, W – Bien Graduada, P – Mal Graduada, L – Baja Compresibilidad, H – Alta Compresibilidad		
			CL	Arcillas inorgánicas de baja o media plasticidad, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas pobres.			
OL			Limos orgánicos y arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad.				
LIMOS Y ARCILLAS Limite Líquido Mayor de 50		MH	Limos inorgánicos, limos micáceos o diatomáceos, más elásticos.	<p align="center">CARTA DE PLASTICIDAD (S.U.C.S.)</p>			
		CH	Arcillas inorgánicas de alta plasticidad, arcillas francas.				
		OH	Arcillas orgánicas de media o alta plasticidad, limos orgánicos de media plasticidad.				
SUELOS ALTAMENTE ORGÁNICOS		P	Turbas y otros suelos altamente orgánicos.				

** CLASIFICACIÓN DE FRONTERA- LOS SUELOS QUE POSEAN LAS CARACTERÍSTICAS DE DOS GRUPOS SE DESIGNAN CON LA COMBINACIÓN DE LOS DOS SÍMBOLOS; POR EJEMPLO GW-GC, MEZCLA DE ARENA Y GRAVA BIEN GRADUADAS CON CEMENTANTE ARCILLOSO.
 ⊕ TODOS LOS TAMAÑOS DE LAS MALLAS EN ESTA CARTA SON LOS U.S. STANDARD.
 * LA DIVISIÓN DE LOS GRUPOS GM Y SM EN SUBDIVISIONES d Y u SON PARA CAMINOS Y AEROPUERTOS ÚNICAMENTE, LA SUB-DIVISIÓN ESTA BASADA EN LOS LÍMITES DE ATTERBERG EL SUFJO d SE USA CUANDO EL L.L. ES DE 28 O MENOS Y EL I.P. ES DE 6 O MENOS. EL SUFJO u ES USADO CUANDO EL L.L. ES MAYOR QUE 28.

Figura 6. Clasificación de suelos – SUCS
Fuente: (Studylib, 2019)

Clasificación general	Suelos granulares 35% máximo que pasa por tamiz de 0.075 mm (N° 200)							Suelos finos más de 35% pasa por el tamiz de 0.075 mm (N° 200)				
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7	
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5	A-7-6
Análisis granulométrico % que pasa por el tamiz de:												
2 mm (N° 10)	máx. 50											
0.425 mm (N° 40)	máx. 30	máx. 50	min. 51									
F: 0.075 mm (N° 200)	máx. 15	máx. 25	máx. 10	Máx. 35	máx. 35	máx. 35	máx. 35	min. 36	min. 36	min. 36	min. 36	min. 36
Características de la fracción que pasa el 0.425 (N° 40)												
Características de la fracción que pasa del tamiz (N° 40)												
LL: Límite de Líquido				máx. 40	min. 41	máx. 40	min. 41	máx. 40	Min. 41	máx. 40	min. 41	min. 41
IP: Índice de Plasticidad	máx. 6	máx. 6	NP	máx. 10	máx. 10	min. 11	min. 11	máx. 10	máx. 10	min. 11	min. 11 ^(a)	min. 11 ^(b)
Tipo de material	Piedras, gravas y arenas		Arenas Finas	Gravas y arenas limosas o arcillosas				Suelos limosos		Suelos arcillosos		
Estimación general del suelo como sub rasante	Excelente a bueno						Regular a insuficiente					

(a) Índice de Plasticidad del subgrupo A-7-5: es igual o menor que LL-30.

(b) Índice de Plasticidad del subgrupo A-7-6: es mayor que LL-30.

- Cuando se requiera relacionar los grupos con el Índice de Grupo (IG), estos deben mostrarse entre paréntesis después del símbolo del grupo, ejemplo: A-18:182-6 (3), A-4(5), A-7-5 (17), etc

$IG = (F-35) [0.2+0.005 ((LL-40))] +0.01 (F-15)(IP-10)$.

Figura 7. Clasificación de suelos – AASHTO
Fuente: (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014)

3.8.3. Humedad natural

De acuerdo con el Manual de ensayo de materiales el ensayo para determinar el contenido de humedad de un suelo (MTC E 108) tiene como referencia la norma del ASTM D 2216, donde la finalidad de los ensayos es determinar los porcentajes del agua en una masa dada de suelo.

Procedimiento de ensayo:

1. Tomar una muestra representativa para realizar el ensayo, mediante cuarteo.
2. Para el caso del material arcilloso con contenido de gravas, se tomó 50gr para realizar este ensayo, en el cual se consideraron 4 muestras con adición de ceniza de maderas de fondos en las proporciones de 0%; 15%; 20% y 25%.
3. Colocación de las muestras en el horno de secado
4. Pesar el material de ensayo seco y tomar los datos.

En la siguiente figura, se puede observar, la toma del peso del material seco.

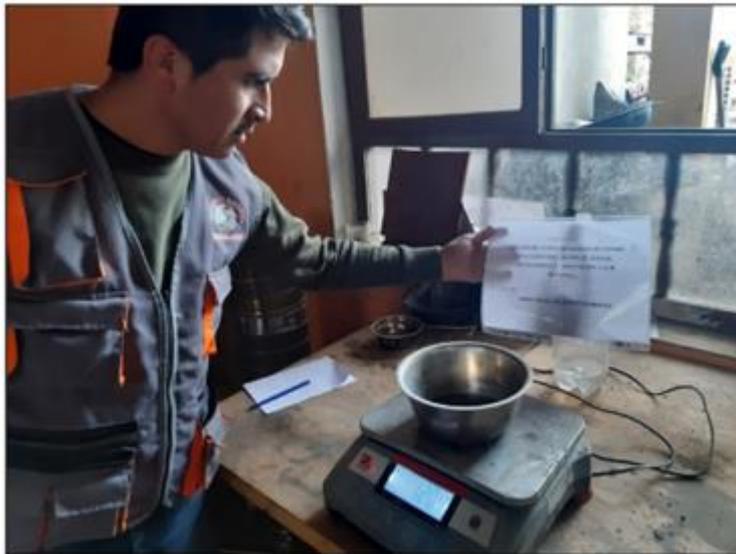


Figura 8. Toma de peso - Ensayo de contenido de humedad
Fuente: Elaboración propia

3.8.4. Índice de plasticidad

Para la obtención de los resultados de este ítem, se tomó en consideración el M.T.C. E.1.1.0. (Límite líquido de los suelos) y el M.T.C.E.1.1.1. (Límite plástico), los cuales tienen como referencia normativa a la ASTM D 4318 incluyendo la determinación del índice de plasticidad (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016).

Procedimiento de ensayo:

1. Límite líquido

- Preparación de una muestra de suelo de 200gr, que pase el tamiz N°40.
- Pesado del agua destilada, considerando el 25% del peso de la muestra.
- Mezclar y masar el material del suelo con el agua destilada hasta formar una pasta con ayudas de una espátula.
- Colocar la mezcla en la copa de Casagrandes formando una superficie lisa y horizontal.
- Formar una abertura en el material colocado con el acanalador, de modo que tenga la siguiente sección.
- Una vez cortado el material, se procede a girar la manivela (3 golpes/segundo) hasta que la abertura se cierre, paralelamente contando el número de golpes hasta que se produzca el cierre.
- Repetición del ensayo hasta por tres veces hasta lograr los resultados, para los golpes de 15 a 25, 20 a 30 y 25 a 35 golpes. Incluyendo los diferentes porcentajes de adición de ceniza de madera de fondo al 0%; 15%; 20% y 25%.
- Se procede a recolectar el material para colocarlos en una cápsula y llevarlos al horno, con la finalidad de obtener la humedad del material ensayado.

En la siguiente figura, se puede apreciar la preparación del material para el ensayo en la copa de Casagrande.



Figura 9. Preparación del material - Límite líquido
Fuente: Elaboración propia

2. Límite plástico

- Moldear una parte de la muestra de la copa del ensayo, en formas de elipsoide.
- A continuación, rodar con los dedos de las manos sobre una superficie lisa, para formar cilindros.
- En caso de que el cilindro no llegue a formar un diámetro de 3.2mm no se desmorona, volver a hacer el elipsoide y repetir el proceso
- El desmoronamiento del suelo se manifiesta de forma diferente según los tipos de suelos que se encuentre en estudio.
- Posterior a lo descrito, se procede a recolectar 6gramos del material para colocarlos en una cápsula y llevarlos al horno, con la finalidad de obtener la humedad del material ensayado.

En la figura, se muestra el hilo de suelo arcilloso formado en el ensayo y el tipo de desmoronamiento que debe presentar el hilo o cilindro del suelo arcilloso.



Figura 10. Hilo de suelo arcilloso - Límite líquido
Fuente: Elaboración propia



Figura 11. Tipo de desmoronamiento del suelo arcilloso - Límite líquido
Fuente: Elaboración propia

3. Índice de plasticidad

- Para determinar el índice de plasticidad, este procede con la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico representado con la siguiente fórmula.

$$IP = LL - LP$$

3.8.5. Densidad seca y húmeda

Según el Manual de ensayo de materiales del MTC, para el ensayo de compactación de suelos en laboratorio utilizando una energía modificada (Proctor modificado) con energía de 2 700kJ (MTC E 115), tiene como referencia normativa a la ASTM D 1557. Teniendo como finalidad determinar la relación entre el contenido de agua y peso unitario seco de los suelos (curva de compactación).

Procedimiento del ensayo:

- De acuerdo con el tipo de suelo obtenido en el análisis granulométrico, se procede con la selección del Método de ensayo A, B o C. En este caso, el método de ensayo es el Método A.
 - Material: pasante el tamiz N°4
 - ≤ 25% material retenido en el tamiza N°4
 - > 75% material pasante el tamiz N°4
 - Capas: 5
 - Golpes por capa: 25
 - Molde: $\emptyset = 4\text{pulgadas}$
- Se procede a colocar la 1/5 parte del material en el molde previamente asegurado y se procede con el apisonado o compactado con 55 golpes por capa.
- Actos seguidos, se procede a colocar la segunda capa y repetir el proceso, de igual manera con la tercera, cuarta y quinta capa.
- Para finalizar, se enraza la superficie del molde y se procede a extraer la muestra con ayuda del extractor hidráulico.
- Tomar una porción de muestra del material extraído, para ubicarlo en una capsula y llevarlo al horno con el propósito de determinar el contenido de humedad.
- El procedimiento se realizó para 4 puntos y así determinar la curva de compactación.
- Este procedimiento se realizó de la misma manera para las diferentes proporciones de adición de ceniza de madera de fondo 0%, 15%; 20% y 25%.



Figura 12. Moldes del Método A - Proctor modificado
Fuente: Elaboración propia

3.8.6. Capacidad de resistencia del suelo

De acuerdo con el Manual de ensayo de materiales, el ensayo de C.B.R. de suelos en Laboratorio tiene como referencia normativa la A.S.T.M. D. 1.8.8.3. denominado Método de prueba estándar para California Bearing Ratio (CBR) de suelos compactados en laboratorio. Teniendo como alcance evaluar la resistencia potencial de la subrasante, subbase y material base, incluyendo materiales reciclados para su uso en pavimentos de vías y campos de aterrizaje (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016).

Según la ASTM D, el CBR se expresa como la relación de la unidad de carga en el pistón para penetrar 0.1plg (2,5mm) y 0.2plg (5,1mm) del material de prueba a la carga.

Procedimiento de ensayo:

- Preparación de la muestra según el Método C del ensayo de Proctor modificado.
 - Molde: $\varnothing = 6plg$
 - Material: Pasante el tamiz $\frac{3}{4}$ "
 $\leq 25\%$ Material retenido en el tamiz $\frac{3}{8}$ "

>75% Material pasante el tamiz 3/8''

- Realizar 3 muestras (tres moldes), donde se considere el número de 10; 25 y 56 golpes por capa.
- Armar el molde de ensayo, colocando primero el disco espaciador (h=6plg – 152,4mm), seguidamente colocar el papel filtro, y a continuación la primera capa de la muestra compactando con el número de golpes según la muestra que se esté realizando y terminar enrasando el molde con el propio material.
- Girar el molde, retirar el disco espaciador y colocar el papel filtro en la base del molde.
- Colocar los pesos de sobrecarga equivalente a la carga del pavimento 10lbf (5.54kg) y ensamblar el vástago ajustable para medir la expansión o hinchamiento.
- Realizar la primera medición de hinchamiento y luego de 96 horas o 4 días)
- Antes de sumergir (96 horas o 4 días) los moldes de ensayo en la poza de curado, tomar un poco de la muestra restante (entre 100 a 500gramos) y colocarla en una cápsula para determinar la humedad de la muestra ensayada.
- Prueba de carga:
 - Retirar el agua de la superficie superior de la muestra y dejar drenar el agua restante por lo menos por 15 minutos.
 - Retirar la placa perforada.
 - Asentar el pistón de penetración con la menor carga posible, tratando de que sea menor a 10lbf.
 - Establecer medidores de carga y penetración cero.
 - Aplicar la carga en el pistón de penetración con velocidad de 0.05plg/min (1.27mm/min).
 - Registrar lecturas de carga en las penetraciones de:
 - * 0.025plg (0.64mm)
 - * 0.050plg (1.3mm)
 - * 0.075plg (1.9mm)
 - * 0.100plg (2.5mm)
 - * 0.125plg (3.18mm)
 - * 0.150plg (3.8mm)
 - * 0.175plg (4.45mm)
 - * 0.200plg (5.1mm)
 - * 0.300plg (7.6mm)
 - * 0.400plg (10mm)

* 0.500plg (13mm)

- Medir la profundidad de penetración del pistón en el suelo.

En las figuras, se puede observar las muestras sumergidas en agua y el equipo de prueba de carga.



Figura 13. Muestras sumergidas en agua - Ensayo de CBR en laboratorio
Fuente: Elaboración propia



Figura 14. Equipo de prueba de carga - Ensayo de CBR en laboratorio
Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1. Presentación de resultados

4.1.1. Adición de ceniza de madera de fondo en el tipo de suelo arcilloso

Suelo 100%

En la siguiente tabla, se puede observar el análisis granulométrico el análisis granulométrico del suelo en estudio.

Tabla 8. *Análisis granulométrico suelo 100%*

TAMIZ	ABERT. (mm)	PESO RETENIDO (gr)	RET. PARCIAL (%)	RET. ACUMULADO (%)	PASA (%)
3"	76.200				100.0
2 1/2"	63.500				100.0
2"	50.800	-	-	-	100.0
1 1/2"	38.100	-	-	-	100.0
1"	25.400	-	-	-	100.0
3/4"	19.050	-	-	-	100.0
1/2"	12.700	-	-	-	100.0
3/8"	9.525	5.0	0.4	0.4	99.6
1/4"	6.350	5.0	0.4	0.8	99.1
No. 4	4.760	8.0	0.7	1.5	98.4
No. 6	3.360	6.0	0.5	2.1	97.9
No. 8	2.380	10.0	0.9	2.9	97.0
No. 10	2.000	12.0	1.0	4.0	96.0
No. 16	1.190	15.0	1.3	5.3	94.7
No. 20	0.840	25.0	2.2	7.4	92.5
No. 30	0.590	13.0	1.1	8.6	91.4
No. 40	0.426	25.0	2.2	10.7	89.2
No. 50	0.297	19.0	1.7	12.4	87.6
No. 80	0.177	22.0	1.9	14.3	85.7
No. 100	0.149	10.0	0.9	15.2	84.8
No. 200	0.074	21.0	1.8	17.0	83.0
- No. 200	-	954.0	83.0	100.0	0.0

Fuente: Elaboración propia

Del mismo modo, en la siguiente tabla, se puede apreciar como resumen la cantidad de gravas, arenas y material fino del suelo extraído.

Tabla 9. Resumen granulometría

MATERIAL	PESO (gr)	CANTIDAD (%)
Grava	18.00	1.5
Arena	178.00	15.5
Fino	954.00	83.0
TOTAL	1,150.00	100.0

Fuente: Elaboración propia

La figura, muestra la curva granulométrica del suelo en estudio, donde se puede observar la presencia de material fino.

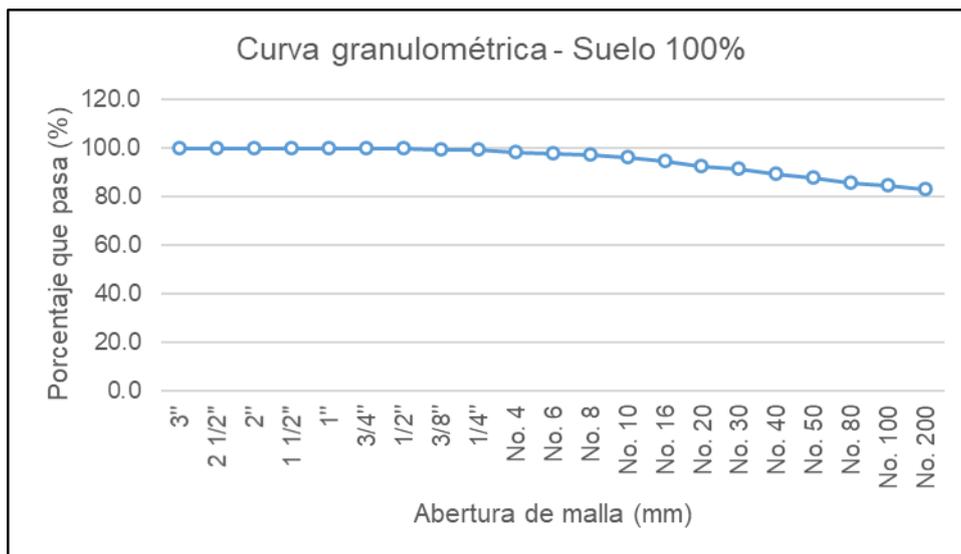


Figura 15. Curva granulométrica - Suelo 100%
Fuente: Elaboración propia

Ceniza de madera de fondo

La siguiente tabla, muestra el análisis granulométrico de la ceniza de madera de fondo, la cual será empleada en los ensayos de la investigación.

Tabla 10. Análisis granulométrico – Ceniza de madera de fondo

TAMIZ	ABERT. (mm)	PESO RETENIDO (gr)	RET. PARCIAL (%)	RET. ACUMULADO (%)	PASA (%)
3"	76.200				100.0
2 1/2"	63.500				100.0
2"	50.800	-	-	-	100.0
1 1/2"	38.100	-	-	-	100.0
1"	25.400	-	-	-	100.0
3/4"	19.050	-	-	-	100.0
1/2"	12.700	-	-	-	100.0
3/8"	9.525	-	-	-	100.0
1/4"	6.350	-	-	-	100.0
No. 4	4.760	-	-	-	100.0
No. 6	3.360	55.8	10.9	10.9	89.1
No. 8	2.380	36.0	7.1	18.0	82.0
No. 10	2.000	7.0	1.4	19.3	80.6
No. 16	1.190	30.8	6.0	25.4	74.6
No. 20	0.840	10.8	2.1	27.5	72.5
No. 30	0.590	8.0	1.6	29.1	70.9
No. 40	0.426	15.6	3.1	32.1	67.8
No. 50	0.297	28.4	5.6	37.7	62.3
No. 80	0.177	84.2	16.5	54.2	45.8
No. 100	0.149	40.4	7.9	62.1	37.8
No. 200	0.074	56.8	11.1	73.3	26.7
- No. 200	-	136.2	26.7	100.0	0.0

Fuente: Elaboración propia

La figura siguiente, muestra la curva granulométrica de la ceniza de madera de fondo.

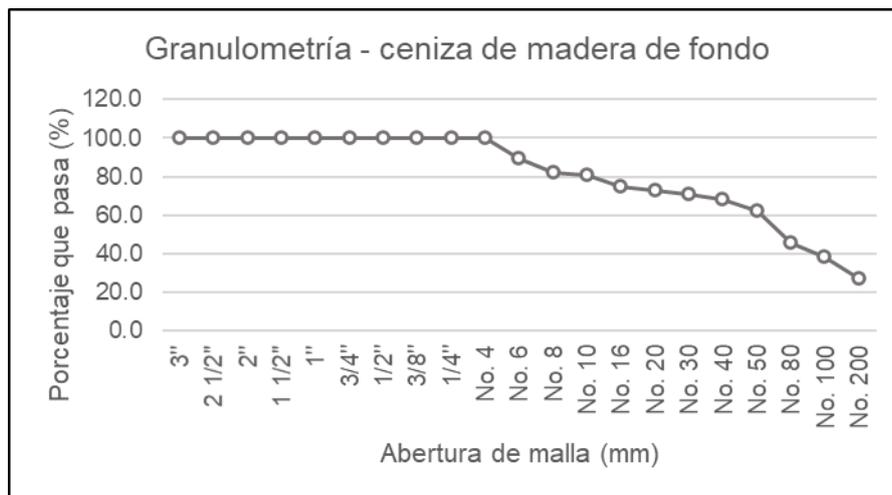


Figura 16. Curva granulométrica - ceniza de madera de fondo
Fuente: Elaboración propia

4.1.2. Adiciones de ceniza de maderas de fondos en la humedad natural de los suelos arcillosos

A continuaciones, se muestran las tablas de contenido de humedad del suelo arcilloso para las diferentes proporciones de adiciones de cenizas de madera de fondo (15%; 20% y 25%), así como también se muestra la humedad para el suelo sin adición de ceniza.

Tabla 11. *Contenido de humedad*

MUESTRAS	CANTIDAD DE CENIZA	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)
Suelo 100%	0%	20
Suelo 85% + 15%CMF	15%	17.5
Suelo 80% + 20%CMF	20%	16.7
Suelo 75% + 25%CMF	25%	16.2

Fuente: Elaboración propia

En la figura se observa la curva de variación de contenido de humedades, del suelo arcilloso en estudio, según la adición de ceniza de madera de fondo.

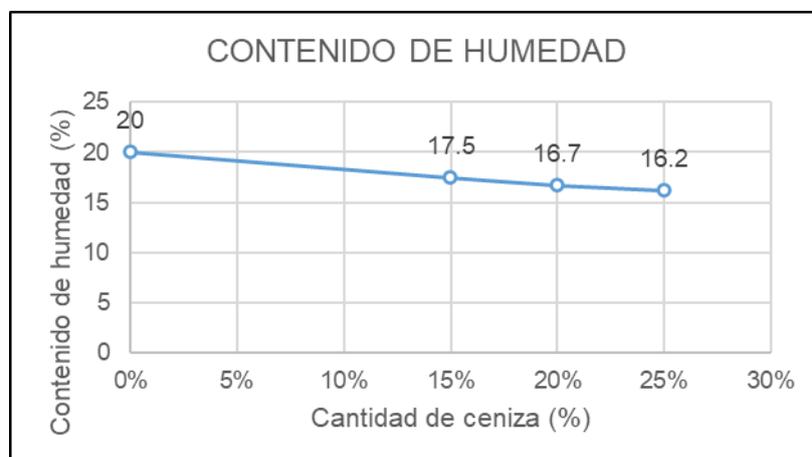


Figura 17. *Contenido de humedad*

Fuente: Elaboración propia

La figura muestra la correlación polinómica de los contenidos de humedades, donde se observa que el 99.91% del contenidos de humedades está relacionado a la proporción de adición de ceniza de madera de fondo.

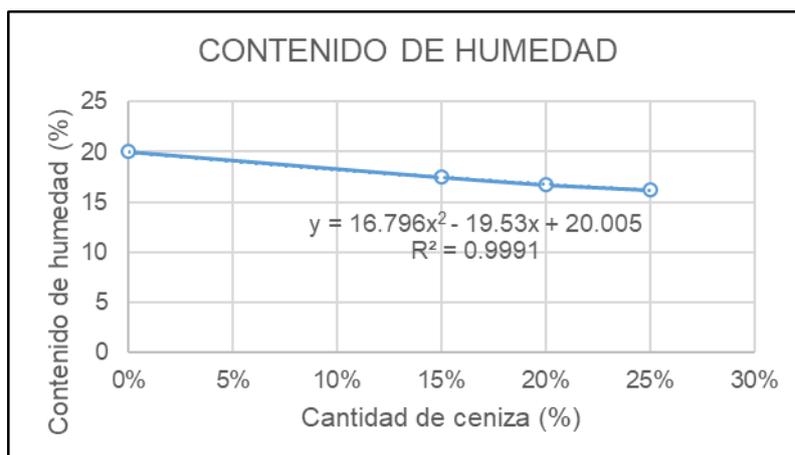


Figura 18. Correlación polinómica - Contenido de humedad
Fuente: Elaboración propia

4.1.3. Adición de ceniza de madera de fondo en el índice de plasticidad del suelo arcilloso

Las tablas siguiente, muestra los resultados de los ensayos de límite líquido y límite plástico para las diferentes proporciones de adición de ceniza de madera de fondo.

Tabla 12. Índice de plasticidad

TRATAM.	MUESTRAS	LÍMITE LÍQUIDO (%)	LÍMITE PLÁSTICO (%)	ÍNDICE DE PLASTICIDAD
T0	Suelo 100%	38.4	21.4	17.0
T1	Suelo 85% + 15%CMF	31.2	18.7	12.5
T2	Suelo 80% + 20%CMF	28.0	17.7	10.3
T3	Suelo 75% + 25%CMF	27.3	16.8	10.5

Fuente: Elaboración propia

Las figuras, muestran la representación gráfica en barras del límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad; de las muestras con adición de ceniza de madera de fondo y sin adición de ceniza. Así como también debajo de cada figura, se puede observar la figura con la correlación que más se ajusta a la disposición de los resultados obtenidos de los ensayos realizados.

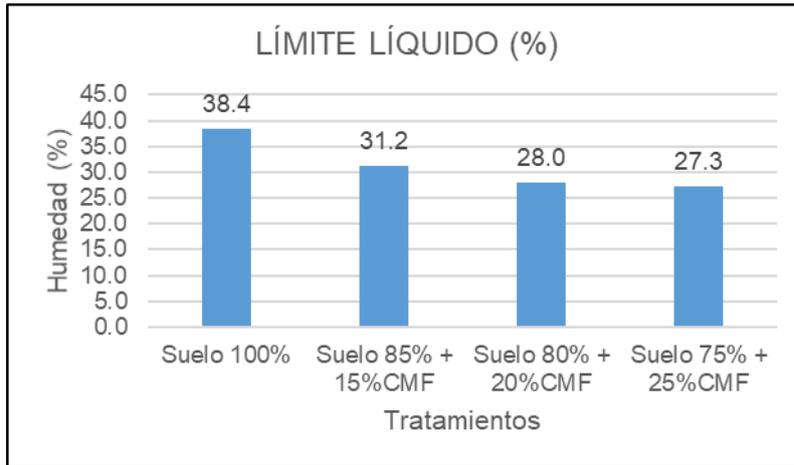


Figura 19. Límite líquido
Fuente: Elaboración propia

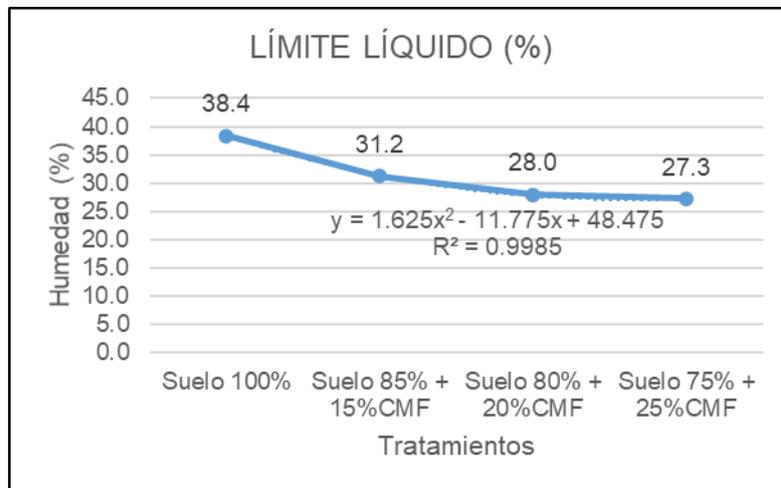


Figura 20. Correlación polinómica - Límite líquido
Fuente: Elaboración propia

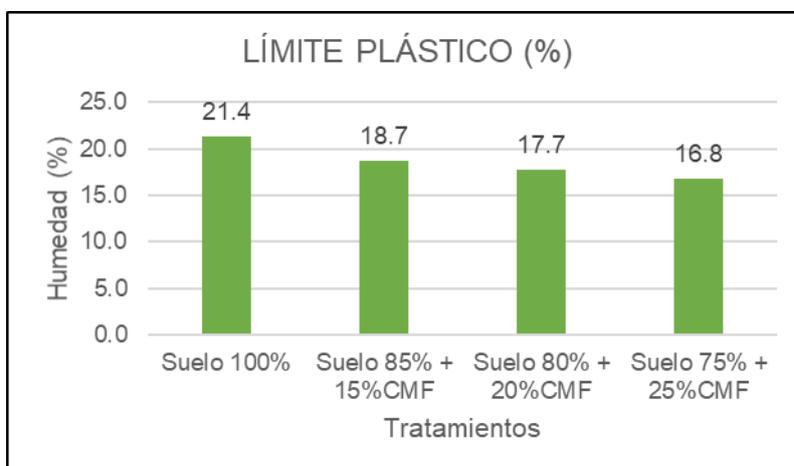


Figura 21. Límite plástico
Fuente: Elaboración propia

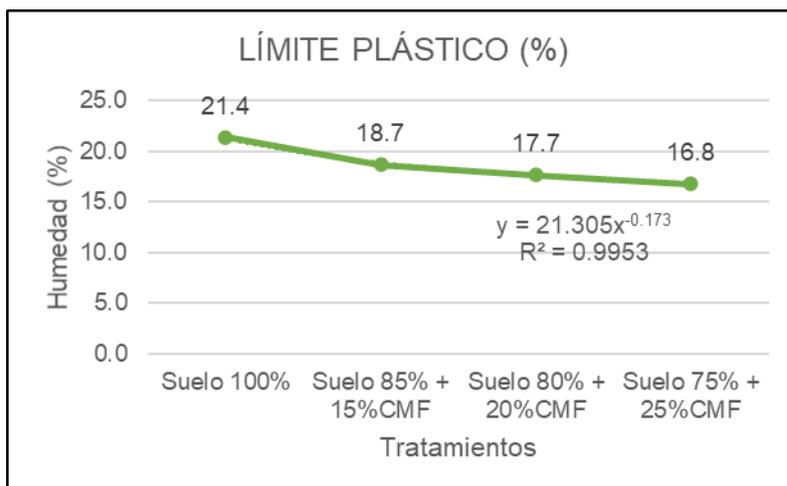


Figura 22. Correlación potencial - Límite plástico
Fuente: Elaboración propia

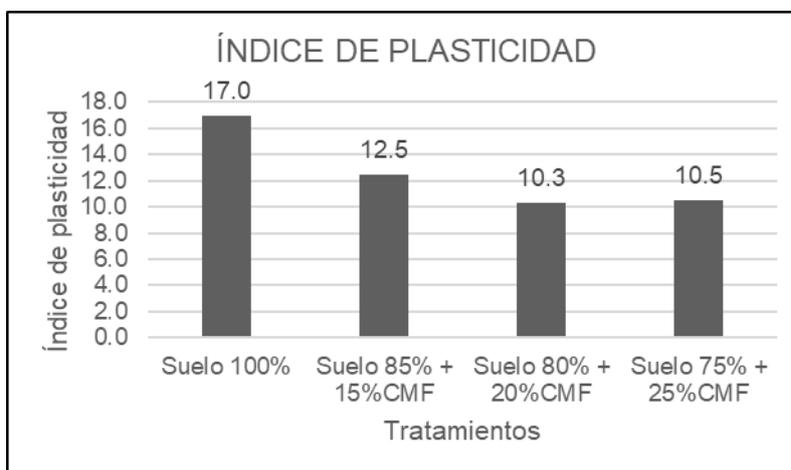


Figura 23. Índice de plasticidad
Fuente: Elaboración propia

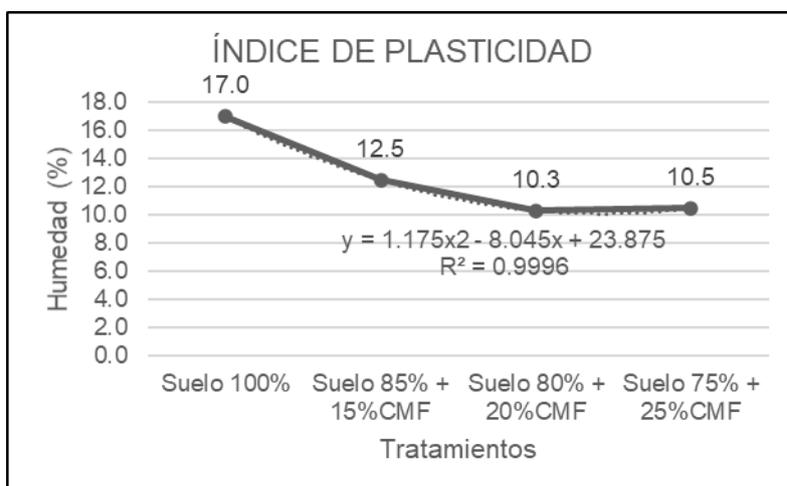


Figura 24. Correlación polinómica - Índice de plasticidad
Fuente: Elaboración propia

4.1.4. Adición de ceniza de madera de fondo en las máximas densidades seca del suelo arcilloso

Óptimos contenidos de humedades

La tabla siguiente, muestran los resultados de los óptimos contenidos de humedades obtenidos del Ensayo Proctor Modificado según la ASTM D 1557; para el cual se añadieron diferentes proporciones de ceniza de madera (0%; 15%; 20% y 25%).

Tabla 13. Óptimo contenido de humedad - Proctor modificado

N° MUESTRA	ADICIÓN DE CENIZA DE MADERA DE FONDO (%)			
	T0	T1	T2	T3
1	17.3	12.7	11.8	12.0
2	19.1	14.3	13.6	13.9
3	21.3	16.3	15.6	16.0
4	23.4	18.6	17.8	18.1
PROMEDIO	20.3	15.5	14.7	15.0

Fuente: Elaboración propia

La figura, muestra la representación gráfica en barras del óptimo contenido de humedad de acuerdo con el ensayo de Proctor Modificado.

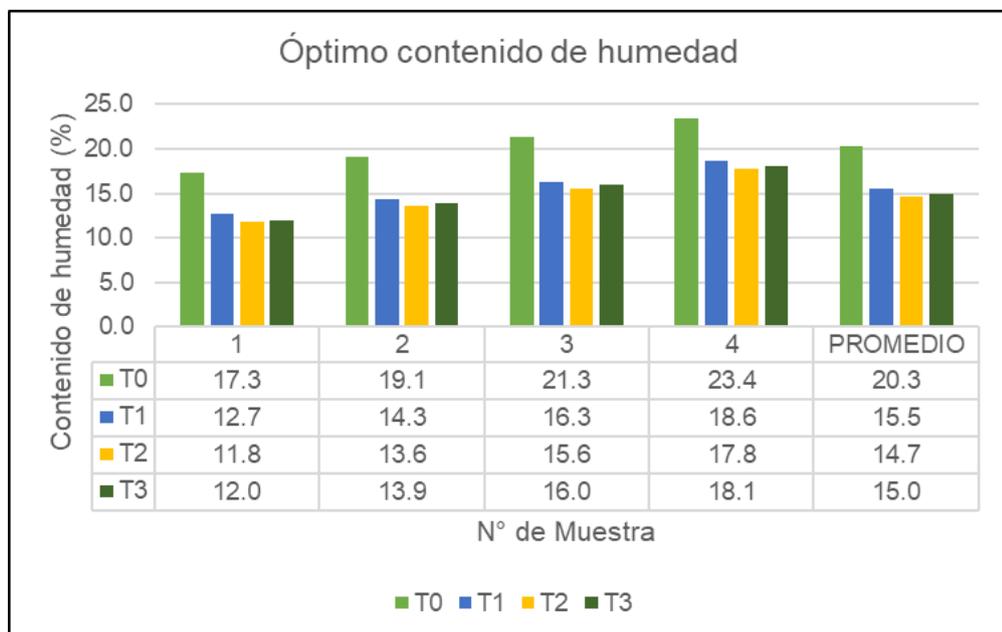


Figura 25. Óptimo contenido de humedad - Proctor Modificado
Fuente: Elaboración propia

Máxima densidad seca

La siguiente figura, muestra los resultados de la máxima densidad (gr/cm³) obtenida del Ensayo de Proctor Modificado. Los resultados se pueden contrastar con la tabla y gráfico anterior con el propósito de reconocer cual es el óptimos contenidos de humedades para cada una de las muestras o tratamientos del ensayo realizados.

Tabla 14. Máxima densidad seca - Proctor Modificado

N° MUESTRA	ADICIÓN DE CENIZA DE MADERA DE FONDO (%)			
	T0	T1	T2	T3
1	1.568	1.473	1.437	1.497
2	1.666	1.592	1.569	1.561
3	1.661	1.610	1.592	1.569
4	1.560	1.499	1.500	1.495
PROMEDIO	1.614	1.544	1.525	1.531

Fuente: Elaboración propia

La figura de a continuación, es la representación gráfica de la máxima densidad del suelo sometida o una determinada proporción de agua que es denominada optimo contenido de humedad.

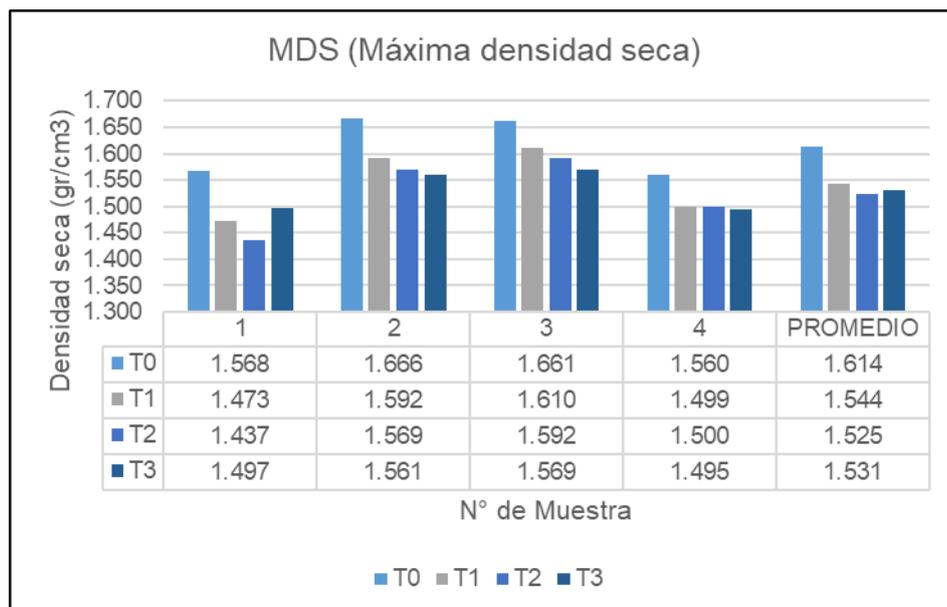


Figura 26. Máxima densidad seca - Proctor Modificado
Fuente: Elaboración propia

4.1.5. Adición de cenizas de maderas de fondos en la capacidad de resistencia de los suelos arcillosos

CBR al 95% de la Máxima Densidad Seca

En la tabla que se muestra, se puede apreciar los resultados de la capacidad portante (CBR) de los suelos arcillosos en estudio con las diferentes proporciones de adiciónese de cenizas de madera de fondo, que para este caso se presenta el C.B.R. al 95% de la Máxima densidad seca.

Tabla 15. Capacidad portante del suelo al 95% de MDS

TRATAMIENTOS	MUESTRAS	CBR AL 95% DE MDS
T0	Suelo 100%	5.37
T1	Suelo 85% + 15%CMF	25.22
T2	Suelo 80% + 20%CMF	32.35
T3	Suelo 75% + 25%CMF	27.17

Fuente: Elaboración propia.

En la figura, se muestra la representación gráfica del C.B.R. del suelo al 95% de M.D.S.; para las diferentes proporciones de adiciónese de cenizas de madera en el suelo arcilloso. Del mismo modo, debajo de la figura se muestra la correlación de los resultados obtenidos del ensayos.

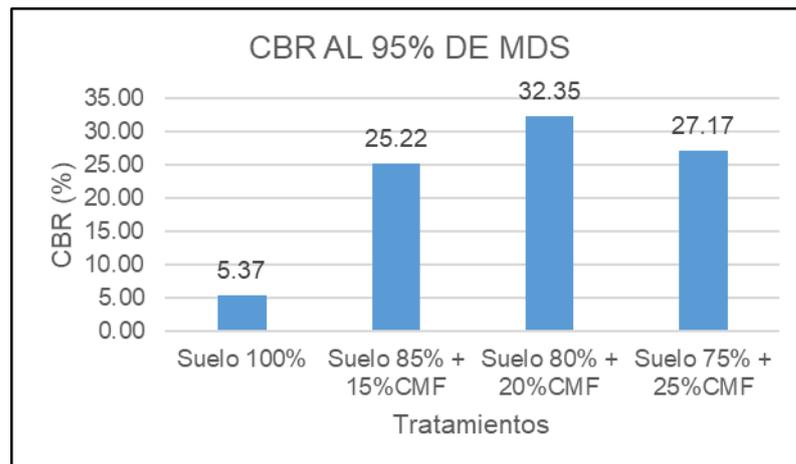


Figura 27. CBR al 95% de MDS
Fuente: Elaboración propia

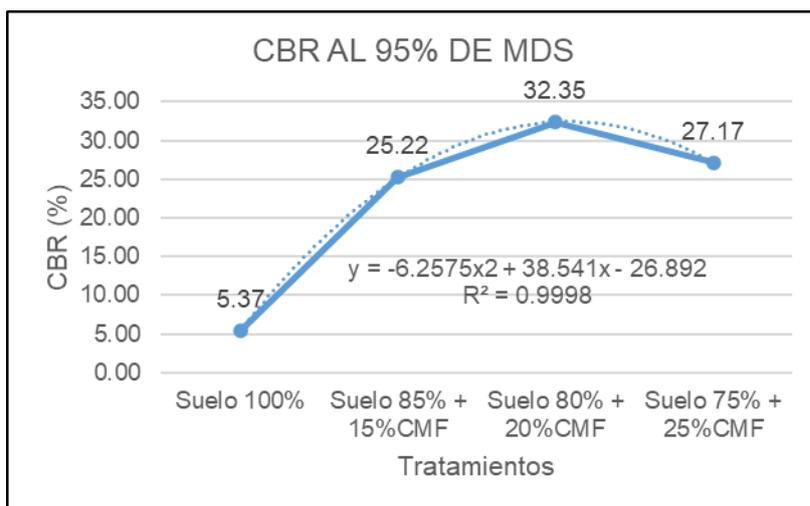


Figura 28. Correlación polinómica - CBR al 95% de MDS
Fuente: Elaboración propia

C.B.R. al 100% de las Máximas Densidades Secas

En la tabla que se muestra, se puede apreciar los resultados de la capacidad portante (CBR) del suelo arcilloso en estudio con las diferentes proporciones de adición de ceniza de madera de fondo, que para este caso se presenta el C.B.R. al 100% de la Máximas densidades secas.

Tabla 16. Capacidad portante del suelo al 100% de MDS

TRATAMIENTOS	MUESTRAS	CBR AL 100% DE MDS
T0	Suelo 100%	7.75
T1	Suelo 85% + 15%CMF	33.58
T2	Suelo 80% + 20%CMF	50.57
T3	Suelo 75% + 25%CMF	40.60

Fuente: Elaboración propia

En la figura, se muestra la representación gráfica del CBR del suelo al 100% de M.D.S.; para las diferentes proporciones de adiciónese de cenizas de madera en el suelo arcilloso. Del mismo modo, debajo de la figura se muestra la correlación de los resultados obtenidos de los ensayos.

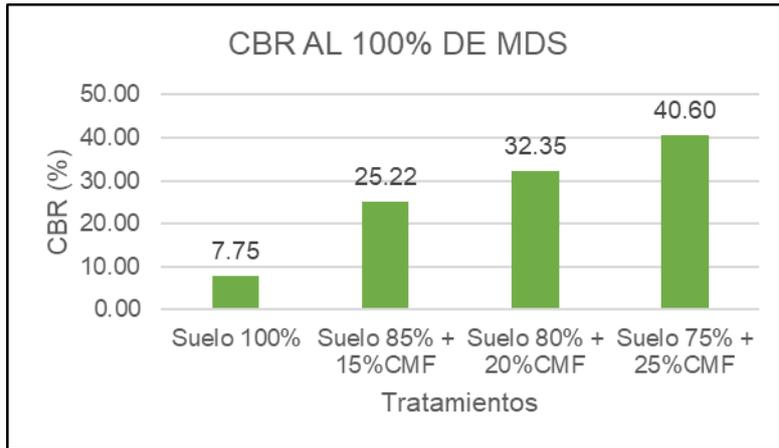


Figura 29. CBR al 100% de MDS
Fuente: Elaboración propia

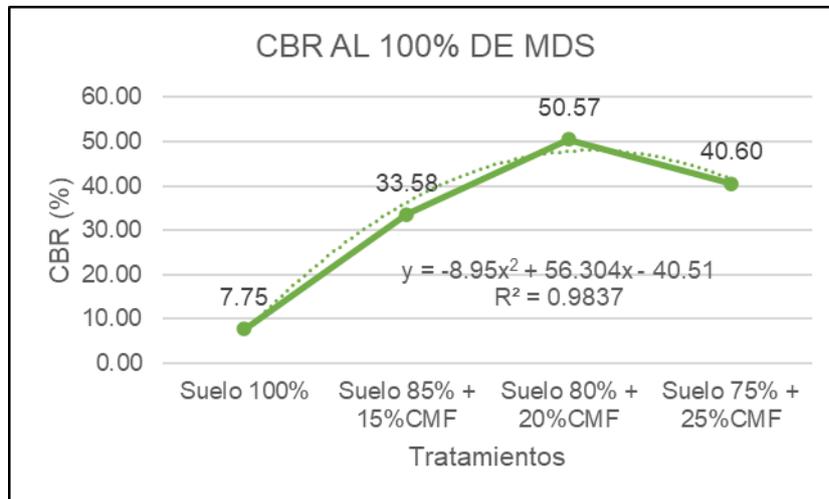


Figura 30. Correlación logarítmica - CBR al 100% de MDS
Fuente: Elaboración propia

4.2. Prueba de hipótesis

Para realizar la prueba de hipótesis, se procederá en primer lugar con el diseño de cuadrado latino, del cual se obtuvo el análisis de varianza y posterior a ello se realizó las pruebas de Duncan para determinar la diferencia de las muestras. Lo descrito anteriormente se presentará para las diferentes adiciones de ceniza de madera de fondo en la estabilización del suelo arcilloso extraído y para el suelo arcilloso sin ningún tipo de adición, propuesto en la presente investigación de ceniza de madera de fondo en la estabilización de suelos arcillosos.

4.2.1. Adiciones de cenizas de madera de fondo en la máxima densidad seca del suelo arcilloso

Óptimo contenido de humedad

Las hipótesis para el siguiente análisis son las siguientes:

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4$$

$$H_a: \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \neq \mu_4$$

En la siguiente tabla, se muestra el diseño del cuadrado latino, para las muestras de suelo ensayadas en el Proctor Modificado.

Tabla 17. Diseño cuadrado latino

	T0	T1	T2	T3
M1	17.3	12.7	11.8	12.0
M2	19.1	14.3	13.6	13.9
M3	21.3	16.3	15.6	16.0
M4	23.4	18.6	17.8	18.1

Fuente: Elaboración propia

En las siguientes tablas, se muestran la forma de distribución de las variables y su ordenamiento con los valores obtenidos para el óptimo contenido de humedad según el ensayo de Proctor modificado.

Tabla 18. Distribución de variables - Diseño cuadrado latino

	T0	T1	T2	T3
M1	V1	V2	V3	V4
M2	V4	V3	V2	V1
M3	V2	V4	V1	V3
M4	V3	V1	V4	V2

Fuente: Elaboración propia

Tabla 19. Valores de las variables - Diseño cuadrado latino

	T0	T1	T2	T3	\bar{y}_i
M1	17.30	12.70	11.80	12.00	53.80
M2	13.90	13.60	14.30	19.10	60.90
M3	16.30	16.00	21.30	15.60	69.20
M4	17.80	23.40	18.10	18.60	77.90
\bar{y}_i	65.30	65.70	65.50	65.30	261.80
	V1	V2	V3	V4	SUMATORIA
	81.10	61.90	58.80	60.00	261.80

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se muestra los valores para la estimación de parámetros.

Estimación de
parámetros

$$\begin{aligned} N \text{ total} &= 16 \\ n &= 4 \end{aligned}$$

En las siguientes líneas, se muestra el cálculo de la suma de cuadrados, los cuales serán trasladados a la tabla de análisis de varianza.

- Término de corrección:

$$TC = \frac{x^2}{n^2} \quad (\text{Fórmula 1})$$

$$TC = 4283.70$$

- Suma de cuadrados (total):

$$SCTO = \sum x^2_{ijk} - TC \quad (\text{Fórmula 2})$$

$$SC(\text{Total}) = 164.30$$

- Suma de cuadrados (filas):

$$SC(\text{Filas}) = \frac{\sum Y_j^2}{n} - TC \quad (\text{Fórmula 3})$$

$$SC(\text{Filas}) = 81.37$$

- Suma de cuadrados (columnas):

$$SC(\text{Columnas}) = \frac{\sum x_i^2}{n} - TC \quad (\text{Fórmula 4})$$

$$SC(\text{columnas}) = 0.03$$

- Suma de cuadrados de las variables (óptimo contenido de humedad):

$$SC(\text{Óptimo contenido de humedad}) = \frac{\sum v_i^2}{n} - TC \quad (\text{Fórmula 5})$$

$$SC(\text{Óptimo contenido de humedad}) = 82.86$$

- Suma de cuadrados (error):

$$SCE = SC(\text{Total}) - (SC(\text{Filas}) + SC(\text{Columnas}) + SC(\text{Óptimo contenido de humedad})) \quad (\text{Fórmula 6})$$

$$SC(\text{Error}) = 0.04$$

- Promedio:

$$Promedio = \frac{\Sigma total}{m*n} \quad (\text{Fórmula 7})$$

$$Promedio = 16.36$$

- Cuadrado medio (error):

$$CM(Error) = \frac{SC(Error)}{(m-1)*(n-1)} \quad (\text{Fórmula 8})$$

$$CM(Error) = 0.004$$

- Coeficiente de varianza:

$$CV = \frac{\sqrt{CM(Error)}}{Promedio} * 100 \quad (\text{Fórmula 9})$$

$$CV = 0.04$$

En la siguiente tabla, se muestra el análisis de varianza del diseño de cuadro latino.

Tabla 20. *Análisis de varianza - Óptimo contenido de humedad*

FUENTE	GI	SC	CM	Fc	Ft
FILA (Muestra)	3	81.37	27.12	4649.86	4.76
COLUMNA (Tratamiento)	3	0.03	0.01	1.57	4.76
Óptimo contenido de humedad	3	82.86	27.62	4735.00	4.76
ERROR	6	0.04	0.01		
TOTAL	15	164.30			

Fuente: Elaboración propia

Interpretación del análisis de varianza:

Según la tabla de análisis de varianza, el valor de F calculado = 4 735.00 y el valor de F tabulado = 4.76 con 3 grados de libertad de fila (muestra) y 6 grados de libertad de error, se observa que existe diferencia estadística significativa entre las medias de los variables, a un nivel de significancia $\alpha = 0.05$, por lo que existe suficiente evidencia para rechazar la hipótesis nula e inferir que la adición de ceniza de madera de fondo en diferentes proporciones influye en el óptimo contenido de humedad del suelo.

Por otro lado, el valor de F calculado = 4649.36 y el valor de F tabulado = 4.76 con 3 grados de libertad de fila (muestra) y 6 grados de libertad de error, se observa

que existe diferencia estadística significativa entre las medias de las filas o hileras, a un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$; y se afirma que las muestras de los ensayos influyeron en el óptimo contenido de humedad del suelo ensayado para el Proctor Modificado.

Respecto al valor de $F_{\text{calculado}} = 1.57$ y el valor de $F_{\text{tabulado}} = 4.76$ con 3 grados de libertad de fila (muestra) y 6 grados de libertad de error, se observa que no existe diferencia estadística significativa entre las medias de las columnas, a un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$, por lo que se deduce que los tratamientos con diferentes proporciones no muestran efectos significativos en el óptimo contenido de humedad.

Del mismo modo, según el coeficiente de variación obtenido, el cual indica que los datos son confiables y existió un buen manejo de las unidades experimentales dentro de cada tratamiento.

En conclusión, se afirman que las adiciones de ceniza de maderas de fondo en las proporciones de 15%; 20% y 25% influye en el óptimo contenido de humedad influye en el óptimo contenido de humedad y a la vez que estas proporciones no son significativas a pesar de que los resultados obtenidos son diferentes entre sí.

Razón por la cual, se realizará la prueba de Duncan para corroborar la diferencia de medias del óptimo contenido de humedad del suelo en el ensayo de Proctor modificado, con diferentes proporciones de adición de cenizas de maderas de fondo y sin adición de la ceniza. La prueba se realizó con el programa Infostat

Prueba de Duncan:

Tabla 21. Prueba de Duncan - Muestras

Test: Duncan Alfa=0.05
 Error: 0.0069 gl: 9

FILAS	Medias	n	E.E.				
M4	19.48	4	0.05	A			
M3	17.30	4	0.05		B		
M2	15.23	4	0.05			C	
M1	13.45	4	0.05				D

Fuente: Elaboración propia

Tabla 22. Prueba de Duncan - Tratamientos

Test: Duncan Alfa=0.05

Error: 0.0069 gl: 9

COLUMNAS	Medias	n	E.E.				
T3	19.48	4	0.05	A			
T2	17.30	4	0.05		B		
T1	15.23	4	0.05			C	
T0	13.45	4	0.05				D

Fuente: Elaboración propia

Tabla 23. Prueba de Duncan - Variables

Test: Duncan Alfa=0.05

Error: 0.0069 gl: 9

VARIABLES	Medias	n	E.E.				
V1	20.28	4	0.05	A			
V2	15.48	4	0.05		B		
V4	15.00	4	0.05			C	
V3	14.70	4	0.05				D

Fuente: Elaboración propia

Interpretación de la prueba de Duncan:

Según los resultados obtenidos de la Prueba de Duncan, la cual se emplea cuando las medias de los resultados son diferentes, se observa que de acuerdo con la tabla de la Prueba de Duncan en las muestras (M1, M2, M3 y M4), las medias son diferentes estadísticamente, resultado que se observó de manera similar para la Prueba de Duncan en los tratamientos (T0: suelo 100%; T1: suelo 85% + 15% ceniza de madera de fondo; T2: suelo 80% + 20% ceniza de madera de fondo y T3: suelo 75% + 25% ceniza de madera de fondo) y variables (V1, V2, V3 y V4) que se asignaron para aleatorizar el diseño del cuadrado latino.

Máxima densidad seca

Las hipótesis para el siguiente análisis son las siguientes:

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4$$

$$H_a: \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \neq \mu_4$$

En la siguiente tabla, se muestra el diseño del cuadrado latino, para las muestras de suelo ensayadas en el Proctor Modificado.

Tabla 24. *Diseño cuadrado latino*

	T0	T1	T2	T3
M1	1.568	1.473	1.437	1.497
M2	1.666	1.592	1.569	1.561
M3	1.661	1.610	1.592	1.569
M4	1.560	1.499	1.500	1.495

Fuente: Elaboración propia

En las siguientes tablas, se muestran la forma de distribución de las variables y su ordenamiento con los valores logrados para los óptimos contenidos de humedades según los ensayos de Proctor modificados.

Tabla 25. *Distribución de variables - Diseño cuadrado latino*

	T0	T1	T2	T3
M1	V1	V2	V3	V4
M2	V4	V3	V2	V1
M3	V2	V4	V1	V3
M4	V3	V1	V4	V2

Fuente: Elaboración propia

Tabla 26. *Valores de las variables - Diseño cuadrado latino*

	T0	T1	T2	T3	χ_i
M1	1.568	1.473	1.437	1.497	5.975
M2	1.561	1.569	1.592	1.666	6.388
M3	1.610	1.569	1.661	1.592	6.432
M4	1.500	1.560	1.495	1.499	6.054
Yi	6.239	6.171	6.185	6.254	24.849
	V1	V2	V3	V4	SUMATORIA
	6.455	6.174	6.098	6.122	24.849

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se muestra los valores para la estimación de parámetros.

Estimación de parámetros

$$N \text{ total} = 16$$

$$n = 4$$

En las siguientes líneas, se muestra el cálculo de la suma de cuadrados, los cuales serán trasladados a la tabla de análisis de varianza.

- Término de corrección:

$$TC = \frac{x^2}{n^2} \quad (\text{Fórmula 1})$$

$$TC = 38.5921$$

- Suma de cuadrados (total):

$$SCTO = \sum x^2_{ijk} - TC \quad (\text{Fórmula 2})$$

$$SC(\text{Total}) = 0.0637$$

- Suma de cuadrados (filas):

$$SC(\text{Filas}) = \frac{\sum Y_j^2}{n} - TC \quad (\text{Fórmula 3})$$

$$SC(\text{Filas}) = 0.0401$$

- Suma de cuadrados (columnas):

$$SC(\text{Columnas}) = \frac{\sum x_i^2}{n} - TC \quad (\text{Fórmula 4})$$

$$SC(\text{columnas}) = 0.0012$$

- Suma de cuadrados de las variables (óptimo contenido de humedad):

$$SC(\text{Óptimo contenido de humedad}) = \frac{\sum v_i^2}{n} - TC \quad (\text{Fórmula 5})$$

$$SC(\text{Máxima densidad seca}) = 0.0204$$

- Suma de cuadrados (error):

$$SCE = SC(\text{Total}) - (SC(\text{Filas}) + SC(\text{Columnas}) + SC(\text{Óptimo contenido de humedad})) \quad (\text{Fórmula 6})$$

$$SC(\text{Error}) = 0.0019$$

- Promedio:

$$Promedio = \frac{\sum total}{m*n} \quad (\text{Fórmula 7})$$

$$Promedio = 1.5531$$

- Cuadrado medio (error):

$$CM(Error) = \frac{SC(Error)}{(m-1)*(n-1)} \quad (\text{Fórmula 8})$$

$$CM(Error) = 0.0002$$

- Coeficiente de varianza:

$$CV = \frac{\sqrt{CM(Error)}}{Promedio} * 100 \quad (\text{Fórmula 9})$$

$$CV = 0.0937$$

En la siguiente tabla, se muestra el análisis de varianza del diseño de cuadro latino.

Tabla 27. Análisis de varianza - Óptimo contenido de humedad

FUENTE	GI	SC	CM	Fc	Ft
FILA (Muestra)	3	0.0401	0.0134	42.13	4.76
COLUMNA (Tratamiento)	3	0.0012	0.0004	1.29	4.76
Máxima densidad seca	3	0.0204	0.0068	21.42	4.76
ERROR	6	0.0019	0.0003		
TOTAL	15	0.0637			

Fuente: Elaboración propia

Interpretación del análisis de varianza:

Según la tabla de análisis de varianza, el valor de Fcalculado = 21.42 y el valor de Ftabulado = 4.76 con 3 grados de libertad de fila (muestra) y 6 grados de libertad de error, se observa que existe diferencia estadística significativa entre las medias de los variables, a un nivel de significancia $\alpha = 0.05$, por lo que existe suficiente evidencia para rechazar la hipótesis nula e inferir que la adición de ceniza de madera de fondo en diferentes proporciones influye en la máxima densidad seca.

Por otro lado, el valor de Fcalculado = 42.13 y el valores de Ftabulado = 4.76 con 3 grados de libertades de fila (muestra) y 6 grados de libertades de error, se observas que existen diferencias estadísticas significativas entre las medias de las filas o hileras, a un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$; y se afirma que las muestras de los ensayos influyeron en máxima densidad seca del suelo ensayado para el Proctor Modificado.

Respecto al valor de $F_{\text{calculado}} = 1.29$ y el valores de $F_{\text{tabulado}} = 4.76$ con 3 grados de libertad de fila (muestra) y 6 grados de libertad de error, se observa que no existe diferencia estadística significativa entre las medias de las columnas, a un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$, por lo que se deduce que los tratamientos con diferentes proporciones no muestran efectos significativos en la máxima densidad seca.

Del mismo modo, según el coeficiente de variación obtenido, el cual indica que los datos son confiables y existió un buen manejo de las unidades experimentales dentro de cada tratamiento.

En conclusión, se afirman que las adicione de cenizas de maderas de fondo en las proporciones de 15%; 20% y 25% influye en máxima densidad seca y a la vez que estas proporciones no son significativas a pesar de que los resultados obtenidos son diferentes entre sí.

Razón por la cual, se realizará la prueba de Duncan para corroborar la diferencia de medias de las máximas densidades seca del suelo en el ensayo de Proctor modificado, con diferentes proporciones de adición de cenizas de maderas de fondo y sin adición de la ceniza. La prueba se realizó con el programa Infostat

Prueba de Duncan:

Tabla 28. Prueba de Duncan - Muestras

Test: Duncan Alfa=0.05
Error: 0.0003 gl: 6

MUESTRAS	Medias	n	E.E.	
M3	1.61	4	0.01	A
M2	1.60	4	0.01	A
M4	1.51	4	0.01	B
M1	1.49	4	0.01	B

Fuente: Elaboración propia

Tabla 29. Prueba de Duncan - Tratamientos

Test: Duncan Alfa=0.05

Error: 0.0003 gl: 6

TRATAMIENTOS	Medias	n	E.E.	
T3	1.56	4	0.01	A
T0	1.56	4	0.01	A
T2	1.55	4	0.01	A
T1	1.54	4	0.01	A

Fuente: Elaboración propia

Tabla 30. Prueba de Duncan - Variables

Test: Duncan Alfa=0.05

Error: 0.0003 gl: 6

VARIABLES	Medias	n	E.E.	
V1	1.61	4	0.01	A
V2	1.54	4	0.01	B
V4	1.53	4	0.01	B
V3	1.52	4	0.01	B

Fuente: Elaboración propia

Interpretación de la prueba de Duncan:

Según los resultados obtenidos de la Prueba de Duncan, en la tabla 26 las muestras M2 y M3 son estadísticamente similares y las muestras M4 y M1 también son estadísticamente similares; en cuanto a la tabla 27 de Prueba de Duncan para los tratamientos, se observa que todos los tratamientos (T0: suelo 100%; T1: suelo 85% + 15% ceniza de madera de fondo; T2: suelo 80% + 20% ceniza de madera de fondo y T3: suelo 75% + 25% cenizas de maderas de fondo) son estadísticamente similares, lo que indica que la máxima seca se vio afectada por la adición de ceniza de madera de fondo; y finalmente en cuanto a la Prueba de Duncan de las variables de distribución de los resultados obtenidos para la MDS (máxima densidad seca) la V1 es estadísticamente diferente de las variables V2, V3 y V4.

CAPÍTULO V

DISCUSIÓN

5.2. Discusión de resultados

5.2.1. Adición de cenizas de maderas de fondo en el tipo de suelo arcilloso

Según la tabla 8 del análisis granulométrico para la muestra de suelo al 100%, se pudo observar que el material del suelo pasó los tamices de mayor abertura, por lo que se puede deducir junto con la tabla 9 que el material del suelo extraído contó con 18 gramos equivalente al 1.5% de gravas, por otro lado se obtuvo 178 gramos de arenas equivalente al 15.5% del material de suelo ensayado y en cuanto al material restante se obtuvo 954 gramos equivalente al 83% del material fino compuesto entre limos y arcillas.

Del mismo es importante detallar lo obtenido en la figura de curva granulométrica del suelo al 100%, que el material característico del suelo es fino; además de mencionar que el color característico del suelo fue amarillo esto según la observación y caracterización del suelo al momento de la extracción del suelo del estrato más abundante de la excavación.

De acuerdo con lo descrito líneas arriba, cabe mencionar que el material característico del suelo extraído del Sector Coviriali de la provincia de Satipo, es fino ya que se obtuvo material en mayor porcentaje para dicha clasificación que se desarrolló conforme lo clasifica en la tabla 4.5 del Manual de suelos y pavimentos del (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014).

También es importante mencionar que se realizó la clasificación del suelo según requerimientos de S.U.C.S. y A.A.S.H.T.O., del cual se obtuvo que el material es CL (Limo arcilloso) según la clasificación S.U.C.S. correspondiente a un limo orgánico y arena muy fina, polvo de roca, arena fina limosa o arcillosa o limo arcilloso con ligera plasticidad y según la clasificación A.A.S.H.T.O. el material corresponde a un A-6, donde el material que pasa por el tamiz de 2 milímetros (N°10), 0.425 milímetros (N°40) y de 0.075 milímetros

(N°200) es como mínimo el 36%, característica principal de los suelos finos que pasan más del 35% del material por el tamiz de 0.075 milímetros (N°200).

Por lo que el material del suelo obtenido es arcilla inorgánica de plasticidades bajas a medias, arcillas gravosas, arcillas arenosas, arcillas limosas o arcillas magras.

Es necesario mencionar los resultados de la tabla 10 del análisis granulométrico de la ceniza de madera de fondo, donde se puede observar que el material más resaltante es en forma de arena ya que está compuesta por el 73.3% del 100% de la ceniza que se empleó para realizar el ensayo de granulometría; mientras que para el material fino se obtuvo el 26.7% del total de la ceniza de madera de fondo ensayada. De donde se puede deducir que las cenizas de maderas de fondo tienen característica arenosa, la cual además estuvo presente en los ensayos de Proctor modificado y C.B.R. en laboratorio.

5.2.2. Adición de cenizas de maderas de fondo en la humedad natural del suelo arcilloso

De acuerdo con la tabla 11, del contenido de humedad natural del suelo arcilloso, el resultado obtenido para una muestra de suelo al 100% la humedad natural fue de 20%, en cambio para una muestra de suelo de 85% + 15% de ceniza de madera de fondo la humedad natural obtenida fue de 17.5%, para una muestra de suelo de 80% + 20% de cenizas de maderas de fondos el contenido de humedad natural fue de 16.7% y finalmente para una muestra de suelo de 75% + 25% de ceniza de madera de fondo la humedad fue de 16.2%.

Resultados que se pueden apreciar en la representación gráfica del contenido de humedad natural de la figura 17, donde se observa claramente la disminución del contenido de humedad a medida del incremento de adición de ceniza de madera de fondo ya que dicha ceniza tiene composición arenosa.

Es importante mencionar los resultados de la figura 18, en la que se realizó una serie de correlaciones, de las que la correlación polinómica demostró mayor valor R (Coeficiente de correlación), de donde es posible mencionar que el 99.91% del contenido de humedad natural se vio influenciado por la adición de ceniza de madera de fondo, en cambio el 0.09% se debe a otros factores externos a la adición de ceniza en el ensayo respectivo.

Los resultados del contenido de humedad, obteniendo los ensayos de contenido de humedades, son de suma importancia para corroborarlos con los resultados del ensayo de Proctor modificado.

5.2.3. Adición de ceniza de madera de fondo en el índice de plasticidad del suelo arcilloso

En la tabla 12, del índice de plasticidad se muestran los resultados del ensayo de los límites de Atterberg, donde se pueden observar los límites líquidos de 38.4% para una muestra de suelo al 100%, para una muestra de suelo al 85% + 15% de ceniza de madera de fondo el límite líquido fue 31.2%, en cuanto a una muestra de suelo de 80% + 20% de ceniza de madera de fondo el límite líquido fue de 28.0% y en cuanto a una muestra de suelo al 75% + 25% de ceniza de madera de fondo el límite líquido fue de 27.3%. Según los resultados descritos líneas arriba, estos se pueden corroborar con la figura 19 de la representación gráfica de los resultados, donde se observa que el límite líquido se reduce con el incremento de adición de ceniza de madera de fondo. Y del mismo modo se puede observar en la figura 20 de correlación, que después de realizar una serie de pruebas de correlación, la correlación polinómica es la que se ajusta más, ya que se obtuvo un coeficiente de correlación (R) de 99.85% el cual representa que el límite líquido se vio influenciado por la adición de ceniza de madera de fondo, mientras que el otro 0.15% se debe a otros factores que no están relacionados directamente al límite y líquido.

Los resultados de la tabla 12, también muestran los resultados del límite plástico, donde se pudo observar que el límite plástico es de 21.4% para una muestra de suelo al 100%, para una muestra de suelo de 85% + 15% de ceniza de madera de fondo el límite plástico fue de 18.7%, para una muestra de suelo al 80% + 20% de ceniza de madera de fondo el límite plástico obtenido fue de 17.7% y en cuanto a una muestra de suelo arcilloso al 75% + 25% de ceniza de madera de fondo el límite plástico fue de 16.8%. De acuerdo con los resultados descritos líneas arriba, se pueden corroborar con la figura 21 de la representación gráfica de los resultados obtenidos, donde se pueden observar que la adición de ceniza de madera de fondo reduce el límite plástico del suelo arcilloso. Del mismo modo se puede observar en la figura 22 de correlación potencial, la cual demostró un mayor valor R (coeficiente de correlación) equivalente al 99.52%, el cual demuestra que las adiciones de cenizas de maderas de fondo afectan el 99.52% el límite plástico del suelo ensayado, mientras que el otro 0.48% se debe a factores externos a los insumos empleados en el ensayo realizado al suelo arcilloso.

En cuanto a los resultados de los ensayos de los límites de Atterberg, se pudo obtener el índice de plasticidad del suelo arcilloso en estudio. Según la tabla 12, el índice de plasticidad para una muestra de suelo al 100% fue de 17.0%, para una muestra de suelo

al 85% + 15% de cenizas de maderas de fondos el índice de plasticidad fue de 12.5%, respecto a una muestra de suelo al 80% + 20% de cenizas de maderas de fondos el índice de plasticidad fue de 10.3% y finalmente para una muestra de suelo al 75% + 25% de cenizas de maderas de fondos los índices de plasticidad obtenido fue 10.5%. Según los resultados detallados líneas de arriba, estos se pueden corroborar con la representación gráfica de la figura 23, donde se aprecia que el índice de plasticidad se reduce con el incremento de adición de ceniza de madera de fondo, sin embargo, es necesario mencionar que para la muestra de suelo al 75% + 25% de ceniza de madera de fondo, el índice de plasticidad no se reduce sino por el contrario tiene un ligero incremento. Y según la figura 24 de la correlación polinómica que es la que más se ajusta a los resultados, además de contar con un coeficiente de correlación (R) equivalente al 99.96% el cual demuestra que la adición de ceniza de madera de fondo influye en los índices de plasticidades de los suelos arcillosos sometido a los ensayos correspondientes, mientras que el 0.04% restante se debe a otros factores externos al ensayo para determinar este valor.

Según el Manual de suelos y pavimentos del (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014), el índice de plasticidad (IP) obtenido para una muestra de suelo al 100% el suelo presenta una plasticidad media con característica de suelo arcilloso, por otro lado para la muestra de suelo al 85% + 15% de ceniza el IP=12.5 la plasticidad correspondiente es media característica de un suelo arcilloso, del mismo modo para una muestra de suelo al 80% + 20% de ceniza de madera el IP=10.3 también le corresponde a un suelo de plasticidad media con la misma característica de suelo arcilloso y finalmente para la muestra de suelo al 75% + 25% de ceniza de madera de fondo el IP=10.5 también es de un suelo arcilloso con plasticidad media. En ese sentido, es posible mencionar que para una muestra de suelo al 80% + 20% de ceniza el índice de plasticidad del suelo presentó un menor valor, el cual se puede considerar como la proporción adecuada, que se verificará en los siguientes ensayos de laboratorio para hacer posible la investigación.

5.2.4. Adiciones de ceniza de madera de fondo en la máxima densidad seca del suelo arcilloso

Según la tabla 13, donde se puede observar los resultados del óptimo contenido de humedad del ensayo de Proctor modificado que previamente se realizó, para el tratamiento de suelo arcilloso al 100% el óptimo contenido de humedad fue de 20.4% en el cual se realizaron 4 puntos para determinar el punto más alto dentro de la curva de compactación,

en cuanto al resultado del T1 – tratamiento 1 (suelo al 85% + 15% ceniza de madera de fondo) el óptimo contenido de humedad obtenido fue 15.4%, respecto al T2 – tratamiento 2 (suelo al 80% + 20% de cenizas de maderas de fondos) el óptimo contenido de humedad fue de 14.9% y finalmente respecto al T4 – tratamiento 4 (suelo al 75% + 25% de ceniza de madera de fondo) el óptimo contenido de humedad obtenido fue de 15.6%. Los resultados descritos de la tabla de Óptimo contenido de humedad se pueden ver reflejados en la representación gráfica de la figura 25, donde se observa claramente que el contenido de humedad se reduce con el incremento de ceniza de madera de fondo y que no ocurre lo mismo con el T4 – tratamiento 4 ya que no siempre el exceso de adición de ceniza reducirá la humedad óptima del suelo para ser compactada. Además es importante mencionar que de acuerdo con el Manual de suelos y pavimentos del M.T.C. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014), donde menciona que cuando el contenido de humedad natural equivalente a 20% es inferior al óptimo contenido de humedad de compactación equivalente a 20.4%, el Proyectista deberá considerar dentro de la obra el incremento de energía de compactación o el reemplazo del material saturado; esto en cuanto al T0 donde el suelo es arcilla al 100% sin ningún tipo de adición.

De acuerdo con lo descrito líneas arriba, es importante mencionar lo obtenido en la Prueba de hipótesis, para el cual previamente se desarrolló el diseño de cuadrado latino por la disposición de los resultados obtenidos (4 filas x 4 columnas), los cuales además son convincentes y significativos para la presente investigación. Par empezar, en la tabla 25 de distribución de variables, se puede apreciar que los resultados obtenidos del óptimo contenido de humedad fueron variados en posición (aleatorización). En cuanto a la tabla 20 del análisis de varianza obtenido del diseño de cuadrado latino que se trabajó para un nivel de significancia $\alpha = 0.05$, y de esta tabla se entiende que tanto para la disposición de las variables como para las muestras de los ensayos la adición de cenizas de maderas de fondo influye significativamente en el óptimo contenido de humedad; mientras que para los diferentes tratamientos, los resultados no son estadística diferentes ya que son similares, que puede ser consecuencia de la lejanía del incremento de ceniza de madera de fondo (que va de 5% en 5%); otro dato importante es el coeficiente de varianza equivalente a 1.41%, resultado que demuestra que los ensayos realizados son confiables además de demostrar que se tuvo un buen manejo de las unidades experimentales dentro de cada tratamiento. Lo obtenido del análisis de varianza se confirma con la Prueban de Duncanes en la que se obtuvo que los resultados del óptimo contenido de humedad de las muestras, tratamientos y distribución de variables son estadísticamente diferentes, donde se reafirma

que las adiciones de cenizas de maderas en la compactación del suelo arcilloso influye significativamente en el óptimo contenido de humedad del suelo en estudio.

Según la tabla 14, donde se puede observar los resultados de la máxima densidad seca del ensayo de Proctor modificado que previamente se realizó, para el tratamiento de suelo arcilloso al 100% la máxima densidad seca fue de 1.680gr/cm^3 en el cual se realizaron 4 puntos para determinar el punto más alto dentro de la curva de compactación, en cuanto al resultado del T1 – tratamiento 1 (suelo al 85% + 15% ceniza de madera de fondo) la máxima densidad seca obtenida fue 1.620 gr/cm^3 respecto al T2 – tratamiento 2 (suelo al 80% + 20% de ceniza de madera de fondo) la máxima densidad seca obtenida fue de 1.600 gr/cm^3 y finalmente respecto al T4 – tratamiento 4 (suelo al 75% + 25% de ceniza de madera de fondo) la máxima densidad seca fue de 1.570 gr/cm^3 Los resultados descritos de la tabla de la Máxima densidad seca se pueden ver reflejados en la representación gráfica de la figura 26, donde se observa claramente que la máxima densidad seca se reduce con el incremento de ceniza de madera de fondo, en la compactación del suelo.

Conforme con la explicación de las líneas de arriba, es importante mencionar lo obtenido en la Prueba de hipótesis, para el cual previamente se desarrolló el diseño de cuadrado latino por la disposición de los resultados obtenidos (4 filas x 4 columnas), además de ser resultados convincentes y significativos para la presente investigación. En la tabla 25 de distribución de variables, se puede apreciar que los resultados obtenidos del óptimo contenido de humedad fueron colocados en diferentes posiciones dentro del cuadro de resultados (aleatorización). Según la tabla 27 del análisis de varianza obtenido del diseño de cuadrado latino que se trabajó para un nivel de significancia $\alpha = 0.05$, de esta tabla se entiende que tanto para la disposición de las variables como para las muestras de los ensayos la adición de ceniza de madera de fondo influye significativamente en máxima densidad seca del suelo ensayado; mientras que para los diferentes tratamientos, los resultados no son estadística diferentes ya que son similares, que puede ser consecuencia de la lejanía del incremento de ceniza de madera de fondo (que va de 5% en 5%); un dato importante del diseño de cuadrado de latino es el coeficiente de varianza equivalente a 0.09%, resultado de bajo valor el cual demuestra que los ensayos realizados son confiables además de demostrar que se desarrolló un buen manejo de las unidades experimentales dentro de cada tratamiento de los ensayos realizados para Proctor modificado. El resultado del análisis de varianza se confirma con la Prueba de Duncan en la que se obtuvo que los

resultados de la máxima densidad seca; donde las muestras 2 y 3 son estadísticamente similares, las muestras 1 y 4 también son estadísticamente similares pero a la vez estas son estadísticamente diferentes de las muestras 3 y 2; respecto a los tratamiento se obtuvo que todos (T0, T1, T2 y T3) son estadísticamente similares lo que indica que la adición de ceniza de madera fondo en diferentes proporciones no influye en los resultados obtenidos de la máxima densidad seca, que puede ser consecuencia del amplio intervalo de incremento de ceniza (que va de 5% en 5%) resultado que se confirma con el del análisis de varianza; y finalmente en cuanto a la prueba de Duncan para las variables del cual se obtuvo que la variable 1 (V1) es estadísticamente diferente de las otras variables (V2, V3 y V4), que no se considera relevante ya que se realizó un cambio de posición de los resultados – aleatorización para ejecutar el diseño de cuadrado latino. Finalmente se afirma que la adición de ceniza de madera de fondo influye significativamente en la máxima densidad seca del suelo extraído en el ensayo de Proctor modificado.

En concordancia con los resultados obtenidos de los ensayos, análisis de varianza y prueba de hipótesis, es posible aceptar la investigación conforma con los antecedentes uno de los cuales es; Espinoza y Velásquez (2018), en la tesis titulada “Estabilización de suelos arcillosos adicionando cenizas de caña de azúcar en el tramo de Pinar Marian, Distrito de Independencia 2018” donde los investigadores obtuvieron como resultado de los ensayos el incremento de la máxima densidad seca junto a una reducción de la optimización del contenido de humedades del suelos arcillosos que emplearon para dicha investigación siendo la mejor proporción de adición de ceniza de caña de azúcar el 20% respecto al peso de material de muestra. Cabe resaltar que se consideró este antecedente para considerar las proporciones de adición de ceniza de madera de fondo.

5.2.5. Adición de ceniza de madera de fondo en la capacidad de resistencia del suelo arcilloso

Según la tabla 15 de CBR con el 95% de la Máxima densidad seca; se observa que el CBR (valor de capacidad soporte de la subrasante) obtenido para una muestra de suelo al 100% es 5.37%, para unas muestras de los suelo al 85% + 15% de adición de ceniza de madera de fondo el valor de capacidad de soporte obtenido fue de 25.22%, a diferencia de la muestra de suelo al 80% + 20% de ceniza de madera de fondo el CBR obtenido fue de 32.35% y finalmente para una muestra de suelo al 75% + 25% de ceniza de madera de fondo el valor de capacidad de soporte obtenido fue de 27.17%. Resultados que se pueden ver reflejados en la representación gráfica de la figura 27, donde se puede apreciar el

incremento del valor de capacidad soporte de la subrasante en función al incremento de la ceniza de madera de fondo, también se puede apreciar que para la última muestra o también T4 (Tratamiento 4) el valor de capacidad soporte se reduce ligeramente. Por otro lado es necesario hacer mención la figura 28 de la correlación que se realizó para determinar la tendencia de la curva, donde se puede apreciar que la correlación es polinómica que es la que más se relaciona con la curva de correlación de los resultados obtenidos, con un coeficiente de correlación (R) igual a 99.98% el cual significa que dicho porcentaje del valor de capacidad soporte (CBR) está en relación a la adición de ceniza de madera de fondo; inferencia que permite concluir que la adición de ceniza de madera influye significativamente en el valor de capacidad soporte del suelo que conforma la subrasante de la vía.

De acuerdo con los resultados obtenidos, estos se puede comparar con los requerimientos del Manuales de carreteras – secciones suelos y pavimentos, que según el cuadro 4.11 de categorías de subrasante, menciona que se considera una subrasante regular a los valores de CBR $\geq 6\%$; valor que se obtiene en la investigación ya que la adición de ceniza de madera de fondo incrementa el valor de capacidad soporte del suelo con el 95% de la máxima densidad seca, superando el 6% requerido con valores de 25.22%; 32.35% y 27.17%, para las proporciones de 15%; 20% y 25% respectivamente (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014).

En función a los resultados obtenidos, estos se pueden reafirmar con los antecedentes que se revisaron dentro de la bibliografía.

Según Cañar (2017), en la tesis titulada “Análisis comparativo de la resistencia al corte y estabilización de suelos arenosos fino y arcillosos combinados con ceniza de carbón” concluyó que las adiciones de ceniza de carbón en una proporción de 25% incrementó la resistencia, además de que tras la adición de la ceniza en diferentes proporciones observó que la masa de suelo se vuelve más compacta e incrementa el grado de compactación y mejora el valor de capacidad soporte (CBR).

Según Espinoza y Velásquez (2018), en la tesis titulada “Estabilización de suelos arcillosos adicionando cenizas de caña de azúcar en el tramo de Pinar Marian, Distrito de Independencia 2018”, los resultados obtenidos para el ensayo de CBR mostraron que la adición de ceniza de caña de azúcar en las proporciones de 0%; 10%; 20% y 30% incrementaron el valor de CBR del suelo arcilloso sometido a estudio obteniéndose como resultados los siguientes valores 4.81%; 11.56%; 15.18% y 10.42%, donde además

mencionan en la conclusión que las adiciones de cenizas de cañas de azúcar en un 20% mejora la capacidad de soporte y disminuye el porcentaje de expansión; hecho que es similar al de la presente investigación ya que para una adición de ceniza de madera de fondo al 20% del volumen de la muestra de suelo, este se de manera considerable hasta un 32.35% que supera lo requerido en el Manual de carreteras de la sección suelos y pavimentos. Con lo que es posible afirmar que la adición de cenizas de madera de fondo incrementa favorablemente la capacidad de soporte del suelo estudiado y que forma parte de la subrasante de la vía.

Según Díaz (2018), en la tesis titulada “Mejoramiento de la subrasante mediante la ceniza de cáscara de arroz en la carretera Dv San Martí - Lonya Grande, Amazonas 2018”, concluye que la adición de ceniza de cáscara de arroz en una proporción del 20% incrementa la capacidad de soporte del suelo, incluso disminuye las deformaciones transversales y la absorción del agua, haciendo que el terreno se vuelva más estable. Conforme con lo obtenido en este antecedente, el anterior y lo obtenido en la presente investigación, se reafirma que la adición de ceniza al 20% incrementa la capacidad de soporte del suelo arcilloso.

Según Mamani y Yataco (2017), en la tesis titulada “Estabilización de suelos arcillosos aplicando ceniza de madera de fondo, producto de ladrilleras artesanales en el departamento de Ayacucho”, concluyen que la combinación de arcilla + ceniza de madera de fondo en el ensayo de Consolidación Unidimensional, en el suelo arcilloso se disminuye la deformación e incrementa el esfuerzo de pre-consolidación además de mejorar el asentamiento del suelo y aumentando su resistencia; y en a los ensayos mecánicos de Corte Directo, este incrementa los parámetros de resistencia al corte, tales como: esfuerzo al corte, ángulo de fricción interna y cohesión, demostrando así el eficiente uso de estos residuos. De este antecedente de la investigación, es necesario reconocer la realización de los ensayos de corte directo para estimar el asentamiento de un suelo.

Según Cubas y Falen (2016), en la tesis titulada “Evaluación de cenizas de carbón para la estabilización de suelos mediante activación alcalina y aplicación en carreteras no pavimentadas”, los autores concluyen que las adiciones de cenizas de carbón en proporciones de 7%; 14% y 21% mejora el comportamiento de los suelos arenosos y arcillosos debido al incremento de cementantes, los cuales favorecen la estabilización del suelo en estudio.

Según Castro (2017), en la tesis titulada “Estabilización de suelos arcillosos con ceniza de cáscara de arroz para el mejoramiento de subrasante”, concluye que el uso de ceniza de cáscara de arroz como agente estabilizar secundario (suelo + 20% de ceniza de

cáscara de arroz + cal) garantiza buenos resultados en la estabilización de suelos para obras de pavimentación, además menciona el alto contenido de material silícico como agente estabilizador primario y secundario, incluyendo el aporte al medio ambiente por medio del uso de las cenizas para fines de investigación. El aporte de esta investigación es en cuanto a la adición de cal a la ceniza para un mejor comportamiento del suelo arcilloso.

Según la tabla 16 de CBR con el 100% de la Máxima densidad seca; se observa que el CBR (valor de capacidad soporte de la subrasante) obtenido para una muestra de suelo al 100% es 7.75%, para las muestras de suelo al 85% + 15% de adición de ceniza de madera de fondo el valor de capacidad de soporte obtenido fue de 25.22%, a diferencia de la muestra de suelo al 80% + 20% de ceniza de madera de fondo el CBR obtenido fue de 32.35% y finalmente para una muestra de suelo al 75% + 25% de ceniza de madera de fondo el valor de capacidad de soporte obtenido fue de 40.60%. Resultados que se pueden ver reflejados en la representación gráfica de la figura 29, donde se puede apreciar el incremento del valor de capacidad soporte de la subrasante en función al incremento de la ceniza de madera de fondo. Por otro lado es necesario hacer mención la figura 30 de la correlación que se realizó para determinar la tendencia de la curva, donde se puede apreciar que la correlación es logarítmica y que es la que más se relaciona con la curva de correlación de los resultados obtenidos, con un coeficiente de correlación (R) igual a 99.52% el cual significa que dicho porcentaje del valor de capacidad soporte (CBR) está en relación a la adición de ceniza de madera de fondo; inferencia que permite concluir que la adición de ceniza de madera influye significativamente en el valor de capacidad soporte del suelo que conforma la subrasante de la vía.

De igual manera los resultados obtenidos cumplen con los requerimientos del Manual de carreteras – sección suelos y pavimentos, que según el cuadro 4.11 de categorías de subrasante, menciona que se considera una subrasante regular a los valores de $CBR \geq 6\%$ y debe de superar dicho valor; valores que se obtiene en la investigación, debido a que la adición de ceniza de madera de fondo incrementa el valor de capacidad soporte del suelo con el 100% de la máxima densidad seca, superando el 6% requerido con valores de 25.22%; 32.35% y 40.60%, para las proporciones de 15%; 20% y 25% respectivamente.

CONCLUSIONES

1. Según los resultados de la adición de ceniza de madera de fondo en el tipo de suelo, este quedó caracterizado según el análisis granulométrico, como un suelo CL correspondiente a una arcilla limosa con alto contenido de plasticidad, con un 83% de material fino el cual representa un alto porcentaje de limos y arcillas. De igual forma es importante mencionar que se realizó la caracterización granulométrica de la ceniza de madera de fondo el presentó una composición arenosa de 73.3% con finos de 26.7% de la muestra total ensayada.
2. En cuanto al contenido de humedad natural de un suelo arcilloso con adición de ceniza de madera de fondo, este se reduce en relación al incremento al incremento de la ceniza, debido a que la ceniza mostró una singular característica de recubrir al material fino, es necesario mencionar que el contenido de humedad es un factor importante para la colocación del material en la subrasante de la carretera.
3. De acuerdo con los resultados de la adición ce ceniza de madera de fondo en el índice de plasticidad, se observó que este se reduce con el incremento de adición de ceniza en los tratamientos T0, T1 y T2, del mismo se pudo observar que en el T3 no se cumple lo mencionado anteriormente ya que el índice de plasticidad se reduce ligeramente, quedando demostrado que no siempre la adición en mayor cantidad garantiza la reducción de del índice de plasticidad. También es necesario mencionar que los resultados obtenido son característicos de un suelo arcilloso con plasticidad media según el Manual de carreteras – sección suelos y pavimentos.

4. Los resultados de la adición de ceniza de madera de fondo en la máxima densidad seca del suelo arcilloso, demostró que el óptimo contenido de humedad y la máxima densidad seca del ensayo de Proctor modificado se reduce con el incremento de adición de ceniza de madera de fondo y que además esta ceniza influye significativamente en la máxima densidad seca y óptimo contenido de humedad, sin dejar de mencionar que para los tratamientos realizados los resultados no tuvieron mucha variación pues eran cercanos y se debió a la lejanía de intervalos de adición de ceniza de madera de fondo.
5. En cuanto a los resultados de la adición de ceniza de madera de fondo en la capacidad de resistencia del suelo arcilloso, quedó demostrado que el valor de capacidad de soporte del suelo se relaciona al 99.98% y al 99.52% con la ceniza de madera de fondo para los valores de CBR al 95% y 100% de la Máxima densidad seca del suelo respectivamente.
6. Y finalmente, como conclusión general se menciona que la adición de ceniza de madera de fondo influye significativamente en la estabilización del suelo arcilloso aplicado a subrasantes, ya que tuvo influencia significativa en la máxima densidad seca del suelo arcilloso con la adición de ceniza de madera, la cual quedó comprobada con la prueba de hipótesis de Duncan desarrollada; además de demostrar que existe una alta relación entre la proporción de adición de ceniza de madera y el contenido de humedad natural, índice de plasticidad y valor de CBR, donde este último supera el mínimo valor de CBR establecido del 6% según el Manual de carreteras – sección suelos y pavimentos. Del mismo modo se demuestra que no siempre la adición de ceniza de madera de fondo en mayor porcentaje garantiza incrementar los resultados.

RECOMENDACIONES

1. Para una mayor diversidad de datos en los resultados del tipo de suelo con adición de ceniza de madera de fondo, se recomienda realizar ensayos de análisis granulométrico para los tratamientos propuestos los cuales son suelo con 15%, 20% y 25% de ceniza, los cuales podrán permitir una mejor caracterización del suelo con diferentes proporciones de ceniza.
2. En cuanto al contenido de humedad natural del suelo arcilloso, este ensayo se debe realizar de manera minuciosa para evitar la pérdida de material, ya que estos resultados son de vital importancia al momento de la compactación de la subrasante en obra.
3. Se recomienda trabajar con material íntegro sin alteraciones y en lugar de temperatura constante para no tener resultados variables en la realización del ensayo para determinar los límites de Atterberg; además de desarrollar el ensayo en función a la norma, ya que usualmente en el límite líquido los hilos del material ensayado deben cumplir con la fisuración correcta.
4. Respecto al ensayo de Proctor modificado en el cual se determina el óptimo contenido de humedad y máxima densidad seca, y no solo para este ensayo se recomienda realizar pruebas con intervalos de proporciones de ceniza de madera menores, por ejemplo 15%; 17.5% y 20.0%, de este modo garantizar resultados más significantes.
5. Es recomendable realizar más ensayos para garantizar la confiabilidad de los resultados en el ensayo de CBR en laboratorio, por lo menos 4 muestras en cada tratamiento y de este modo se permite obtener el nivel explicativo para este objetivo de vital importancia.

6. Finalmente como recomendación general, los ensayos presentados en la investigación deben estar de acuerdo al Manual de ensayos de materiales del MTC, ya que es el documento más confiable para validar el desarrollo y resultados referentes a las carreteras en el Perú. Así como también, se recomienda solicitar la calibración de los equipos con los que se realizaron los ensayos, además del certificado de calidad de los equipos y así tener mayor validez en los resultados que se obtendrán.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bernal, C. (2010). *Metodología de la investigación: administración, economía, humanidades y ciencias sociales*. Colombia.
- Bogotá, A. (2005). *Guía para el diseño y la construcción de capas estructurales de pavimentos estabilizadas mediante procesos químicos*. Bogotá, Colombia.
- Braja, D. (2012). Estabilización con ceniza muy fina. En D. BRAJA M, *Fundamentos de ingeniería de cimentaciones* (pág. 766). México: CENGAGE Learning.
- Braja, D. (2012). *Fundamentos de ingeniería de cimentaciones*. México: Cengage Learning.
- Braja, D. (2012). Mejoramiento del suelo y modificaciones del terreno. En D. Braja, *Fundamentos de ingeniería de cimentaciones*. México: CENGAGE Learning.
- Cañar, E. (2017). *Análisis comparativo de la resistencia al corte y estabilización de suelos arenosos fino y arcillosos combinados con ceniza de carbón*. Ambato, Ecuador: Universidad Técnica de Ambato. Recuperado el 17 de Mayo de 2019, de <http://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/25266>
- Carrasco, D. (2017). *Estabilización de los suelos arcillosos adicionando cenizas de caña de azúcar en el tramo de Moro a Virahuanca en el Distrito de Moro – Provincia del Santa*. Chimbote, Perú.
- Castro, A. (2017). *Estabilización de suelos arcillosos con ceniza de cáscara de arroz para el mejoramiento de subrasante*. Lima, Perú: Universidad Nacional de Ingeniería.
- Castro, E. (2016). *Teoría y práctica de la investigación científica*. Huancayo, Perú: PERUGRAPH SRL.
- Crespo, C. (2008). Granulometría. En C. Crespo, *Mecánica de suelos y cimentaciones*. México: LIMUSA S.A.
- Crespo, C. (2008). Plasticidad de los suelos. En C. Crespo, *Mecánica de suelos y cimentaciones*. México: LIMUSA S.A.
- Cubas, K., & Falen, J. (2016). *Evaluación de cenizas de carbón para la estabilización de suelos mediante activación alcalina y aplicación en carreteras no pavimentadas*. Chiclayo, Perú: Universidad Señor de Sipán.

- Díaz, F. (2018). *Mejoramiento de la subrasante mediante la ceniza de cáscara de arroz en la carretera Dv San Martí - Lonya Grande, Amazonas 2018*. Lima, Perú: Universidad Cesar Vallejo.
- El Peruano. (2015). Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica - SINACYT. *Reglamento de calificaciones y registro de investigadores en ciencia y tecnología*. Lima, Perú.
- Espinoza, A., & Velásquez, J. (2018). *Estabilización de suelos arcillosos adicionando cenizas de caña de azúcar en el tramo de Pinar Marian, Distrito de Independencia 2018*. Huaraz: Universidad Cesar Vallejo. Recuperado el 17 de Mayo de 2019
- Flores, C., Zárate, R., Caicedo, Z., & Contreras, B. (2008). Estabilización química de suelos expansivos de San José de Cúcuta (Colombia) usando cenizas volantes. (2).
- Fonseca, & Montejó, A. (2006). *Ingeniería de Pavimentos*. Bogotá, Colombia: Stella Valbuena García.
- Gil, E., & Núñez, I. (2018). *Influencia de la adición de fibras PET reciclado sobre la resistencia, cohesión y ángulo de fricción interna*. Trujillo, Perú: Universidad Nacional de Trujillo. Recuperado el 14 de Julio de 2019
- González, A. (2014). *Estabilización mecánica de suelos cohesivos a través de la utilización de cal - ceniza volante*. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). *Métodología de la investigación* (6ta Edición ed.). México: McGraw-Hill. Recuperado el 17 de Mayo de 2019
- Ingeniería Civil - Proyectos y apuntes teórico prácticos. (2010). *Ingeniería Civil - Estructura de los minerales de arcilla*. Recuperado el 11 de Abril de 2020, de Ingeniería Civil - Estructura de los minerales de arcilla: <https://www.ingenierocivilinfo.com/2010/12/estructura-de-los-minerales-de-arcilla.html>
- Kraemer, C., Pardillo, J., Rocci, S., Romana, M., Sánchez, V., & Del va, M. (2004). *Ingeniería de Carreteras*. Madrid, España: McGraw-Hill.
- Mamani, L., & Yataco, A. (2017). *Estabilización de suelos arcillosos aplicando ceniza de madera de fondo, producto de ladrilleras artesanales en el departamento de Ayacucho*. Lima, Perú: Universidad Sna Martín de Porres. Recuperado el 15 de Julio de 2019, de <http://www.repositorioacademico.usmp.edu.pe/handle/usmp/3635>

- Ministerio de Transporte y Comunicaciones. (2014). Capítulo IX - Estabilización de suelos. *Manual de carreteras - sección suelos y pavimentos*. Lima, Perú: Ministerio de Transporte y Comunicaciones.
- Ministerio de Transportes y comunicaciones. (2014). Capítulo III - Componentes de la infraestructura del camino . *Manual de carreteras. Sección suelos y pavimentos*. Lima, Perú: Ministerio de Transportes y comunicaciones.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2014). Capítulo IV - Suelos. *Manual de Carreteras - Sección suelos y pavimentos*. Lima, Perú: MTC - Ministerio de Transportes y Comunicaciones.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2016). *Manual de Ensayo de Materiales*. Lima, Perú : Ministerio de Transportes y Comunicaciones.
- Ministerio de vivienda construcción y saneamiento. (2018). *Norma E.050*. Lima, Perú: Ministerio de vivienda construcción y saneamiento.
- Ministerio del Ambiente. (2011). *Memoria Descriptiva del Mapa de Vulnerabilidad Física*. Lima, Perú.
- Morales, D. (2015). *Valoración de las cenizas de carbón para la estabilización de suelos mediante activación alcalina y su uso en vías no pavimentadas*. Medellín, Colombia: Universidad de Medellín.
- RAE - Real Academia Española. (2005). *Diccionario de la Lengua Española*. Lima, Perú: QUEBECOR WORLD PERÚ S.A.
- Ruano, D. (2012). *Estabilización de suelos cohesivos por medio de arenas volcánicas y cal viva*. Guatemala.
- Sánchez, H., & Reyes, C. (2015). *Metodología y diseños en la investigación científica*. Lima, Perú: Business Support Aneth.
- Santaella, L. (Julio de 2001). Caracterización física, química y mineralógica de las cenizas volantes. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*(10).
- Soriano, C. (2012). Diagnóstico nacional del sector ladrillero artesanal. *Diagnóstico nacional del sector ladrillero artesanal*. Recuperado el 2019, de <http://www.redladrilleras.net/assets/files/08f34d2be1d32a80a13a48f2633dd73c.pdf>

Studylib. (31 de Enero de 2019). *Tabla clasificación SUCS*. Recuperado el 15 de Abril de 2020, de Tabla clasificación SUCS: <https://studylib.es/doc/8863139/tabla-clasificacion-sucs>

Suárez, J. (1998). Mejoramiento de la resistencia del suelos. En J. Suárez, *Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales*. Bucaramaga, Colombia.

Valero, L. (1978). *Compactación en carreteras y aeropuertos*. Barcelona, España: Eyrolles.

Zans, J. (1975). *Mecánica de suelos*. Barcelona, España: Eyrolles.

ANEXOS

- 1. Matriz de consistencia**
- 2. Panel fotográfico**
- 3. Ensayos de laboratorio**

Matriz de consistencia

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPOTESIS	VARIABLE	METODOLOGÍA																									
<p>Problema general: ¿De qué manera influye la adición de ceniza e madera de fondo en la estabilización de suelos arcillosos aplicado a subrasantes en la ciudad de Satipo?</p>	<p>Objetivo general: Determinar la influencia de la adición de ceniza de madera de fondo en la estabilización de suelos arcillosos aplicado a subrasantes en la Ciudad de Satipo.</p>	<p>Hipótesis general: La adición de ceniza de madera de fondo influye significativamente en la estabilización de suelos arcillosos aplicado a subrasantes en la Ciudad de Satipo.</p>	<p>Variable independiente Ceniza de madera de fondo <u>Dimensiones:</u> • Adición de ceniza de madera de fondo</p>	<p>Método: Científico Tipo: Aplicada Nivel: Explicativa Diseño: Experimental GE: $O_1 \times O_2$ GC: O_3 T0: Tratamiento control T1: S + Ceniza 10% T2: S + Ceniza 15% T3: S + Ceniza 20%</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th style="width: 10%;">N° de Muestra</th> <th style="width: 10%;">T0</th> <th style="width: 10%;">T1</th> <th style="width: 10%;">T2</th> <th style="width: 10%;">T3</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>X1</td> <td>Y1</td> <td>Z1</td> <td>W1</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>X2</td> <td>Y2</td> <td>Z2</td> <td>W2</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>X3</td> <td>Y3</td> <td>Z3</td> <td>W3</td> </tr> <tr> <td></td> <td>\bar{X}</td> <td>\bar{Y}</td> <td>\bar{Z}</td> <td>\bar{W}</td> </tr> </tbody> </table> <p>Población y muestra: Población: La población está delimitada por los suelos arcillosos Muestra: No probabilística, intencional conformada por 360 Kg de suelo arcilloso</p> <p>Técnicas e instrumentos: No documental (Fichas de observación experimental) Técnicas de procesamiento de datos: Medidas de tendencia central Análisis de varianza Los análisis serán realizados con el software MS-Excel 2013</p>	N° de Muestra	T0	T1	T2	T3	1	X1	Y1	Z1	W1	2	X2	Y2	Z2	W2	3	X3	Y3	Z3	W3		\bar{X}	\bar{Y}	\bar{Z}	\bar{W}
N° de Muestra	T0	T1	T2		T3																								
1	X1	Y1	Z1	W1																									
2	X2	Y2	Z2	W2																									
3	X3	Y3	Z3	W3																									
	\bar{X}	\bar{Y}	\bar{Z}	\bar{W}																									
<p>Problemas específicos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • ¿De qué manera influye la adición de ceniza de madera de fondo en el tipo de suelo arcilloso aplicado a subrasantes en la ciudad de Satipo? • ¿De qué manera influye la adición de ceniza de madera de fondo en la humedad natural de los suelos arcillosos aplicado a subrasantes en la ciudad de Satipo? • ¿De qué manera influye la adición de ceniza de madera de fondo en el índice plasticidad de los suelos arcillosos aplicado a subrasantes en la ciudad de Satipo? • ¿De qué manera influye la adición de ceniza de madera de fondo en la máxima densidad seca de los suelos arcillosos aplicado a subrasantes en la ciudad de Satipo? • ¿De qué manera influye la adición de ceniza de madera de fondo en la capacidad de resistencia de los suelos arcillosos aplicado a subrasantes en la ciudad de Satipo? 	<p>Objetivos específicos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Determinar la influencia de la adición de ceniza de madera de fondo en el tipo de suelo arcilloso aplicado a subrasantes en la Ciudad de Satipo. • Determinar la influencia de la adición de ceniza de madera de fondo en la humedad natural de los suelos arcillosos aplicado a subrasantes en la Ciudad de Satipo. • Determinar la influencia de la adición de ceniza de madera de fondo en el índice plasticidad de los suelos arcillosos aplicado a subrasantes en la Ciudad de Satipo. • Determinar la influencia de la adición de ceniza de madera de fondo en la máxima densidad seca de los suelos arcillosos aplicado a subrasantes en la Ciudad de Satipo. • Determinar la influencia de la adición de ceniza de madera de fondo en la capacidad de resistencia de los suelos arcillosos aplicado a subrasantes en la Ciudad de Satipo. 	<p>Hipótesis específicas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • La adición de ceniza de madera de fondo influye significativamente en el tipo de suelo arcilloso aplicado a subrasantes en la Ciudad de Satipo. • La adición de ceniza de madera de fondo en la humedad natural influye significativamente en los suelos arcillosos aplicado a subrasantes en la Ciudad de Satipo. • La adición de ceniza de madera de fondo influye significativamente en el índice plasticidad de los suelos arcillosos aplicado a subrasantes en la Ciudad de Satipo. • La adición de ceniza de madera de fondo influye significativamente en la máxima densidad seca de los suelos arcillosos aplicado a subrasantes en la Ciudad de Satipo. • La adición de ceniza de madera de fondo influye significativamente en la capacidad de resistencia de los suelos arcillosos aplicado a subrasantes en la Ciudad de Satipo. 	<p>Variable dependiente Estabilización de suelos arcillosos <u>Dimensiones:</u> • Tipo de suelo • Humedad natural • Índice de plasticidad • Densidad seca y húmeda • Capacidad de resistencia del suelo</p>																										

Fuente: Elaboración propia

Panel fotográfico



Figura 31. Excavación de suelo arcilloso en la sección de la subrasante
Fuente: Elaboración propia



Figura 32. Ensayo de análisis granulométrico
Fuente: Elaboración propia



Figura 33. Ensayo de límites de Atterberg
Fuente: Elaboración propia



Figura 34. Ensayo de Proctor modificado
Fuente: Elaboración propia



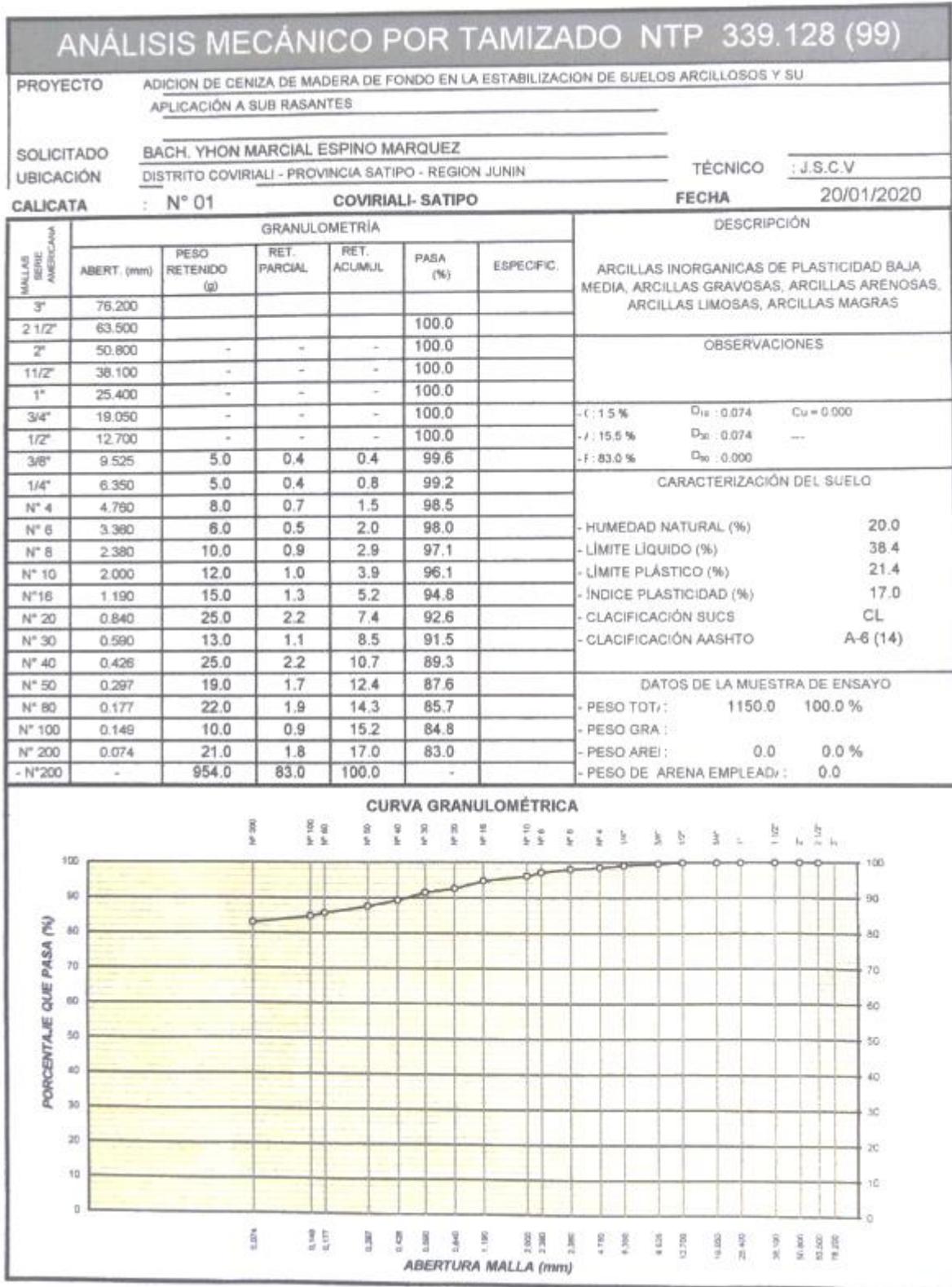
Figura 35. Ensayo de CBR en laboratorio – Curado de muestras de suelo
Fuente: Elaboración propia



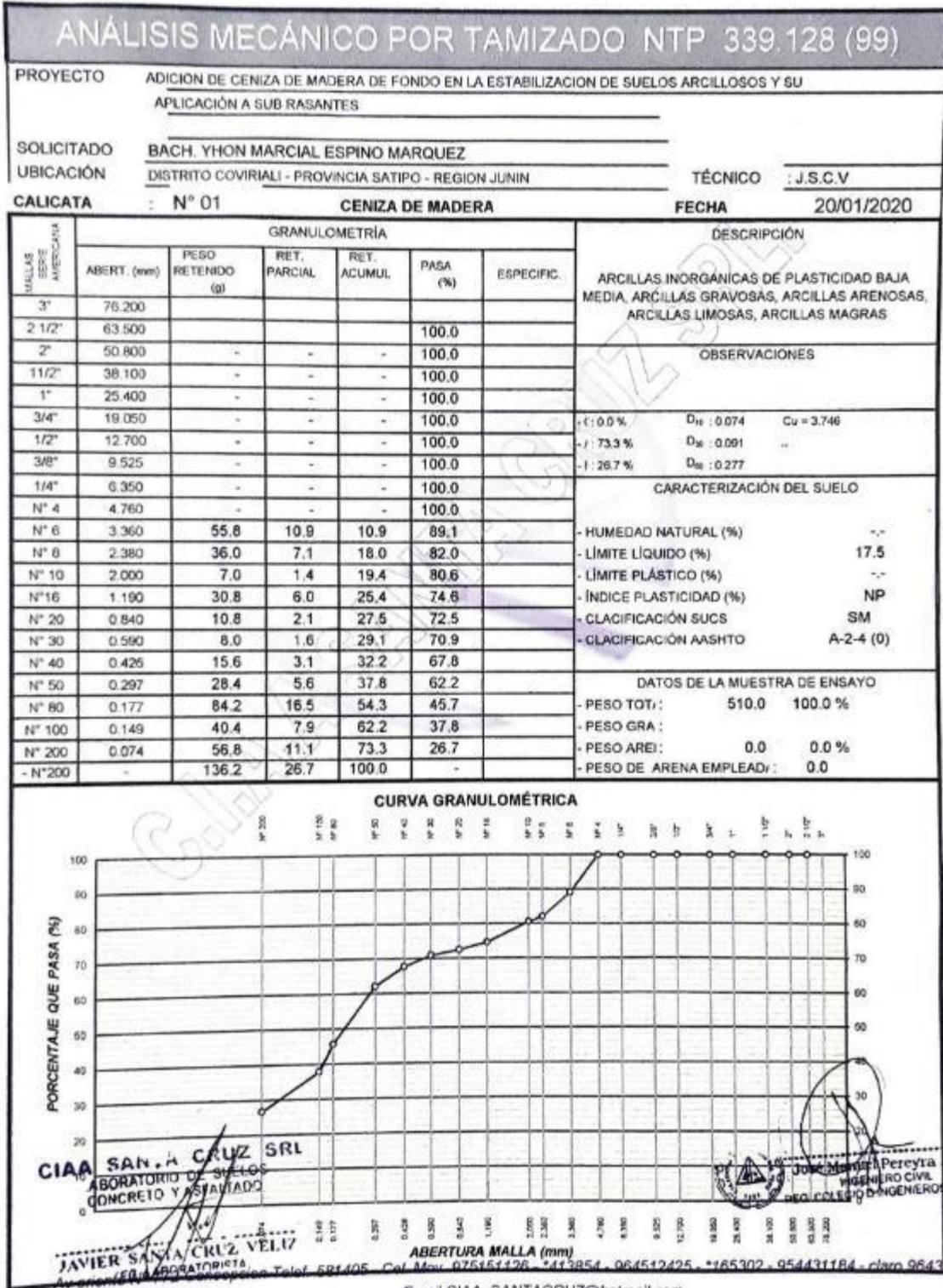
Figura 36. Equipo de carga – Ensayo de CBR en laboratorio
Fuente: Elaboración propia

Ensayos de laboratorio

Análisis mecánico por tamizado del suelo



Análisis mecánico por tamizado de la ceniza de madera de fondo



Límites de Atterberg del suelo

LÍMITES DE ATTERBERG NTP 339.129 (99)							
PROYECTO		ADICION DE CENIZA DE MADERA DE FONDO EN LA ESTABILIZACION DE SUELOS ARCILLOSOS Y SU APLICACIÓN A SUB RASANTES					
SOLICITADO		BACH. YHON MARCIAL ESPINO MARQUEZ					
UBICACIÓN		DISTRITO COVIRIALI - PROVINCIA SATIPO - REGION JUNIN				TÉCNICO	: j.s.c.v
CALICATA		Calicata 017				FECHA	: enero-2020
TT					LÍMITE PLÁSTICO		
G -XJ56	XZA	1	2	3	1	2	
CÁPSULA No.		56	62	AA-9	AA-6	AA-10	
PESO CÁPSULA + SUELO HÚMEDO, g		40.70	39.90	43.40	11.30	16.20	
PESO CÁPSULA + SUELO SECO, g		36.70	36.10	40.00	10.60	15.80	
PESO AGUA, g		4.00	3.80	3.40	0.50	0.40	
PESO DE LA CÁPSULA, g		26.70	26.30	30.60	8.50	13.90	
PESO SUELO SECO, g		10.00	9.80	9.20	2.30	1.90	
CONTENIDO DE HUMEDAD, %		40.00	38.78	36.96	21.74	21.05	
NÚMERO DE GOLPES		15	25	35			
DIAGRAMA DE FLUIDEZ							
<p>The diagram is a semi-logarithmic plot of moisture content (%) on the y-axis (ranging from 33.0 to 43.0) against the number of blows on the x-axis (ranging from 10 to 100). Three data points are plotted: (15 blows, 40.00% moisture), (25 blows, 38.78% moisture), and (35 blows, 36.96% moisture). A horizontal dashed line at 38.4% moisture is labeled 'LL = 38.4%'. A solid line connects the points at 15 and 35 blows. Vertical lines are drawn from the points at 25 and 35 blows down to the x-axis.</p>							
OBSERVACIONES :							
RESULTADOS DE ENSAYOS							
LÍMITE LÍQUIDO (%)	38.4	LÍMITE PLÁSTICO (%)	21.4	ÍNDICE DE PLASTICIDAD (%)	17.0		

Límites de Atterberg de la ceniza



CONSTRUCTORA INGENIEROS & ARQUITECTOS ASESORES

SANTA CRUZ SRL

ELABORACION DE PROYECTOS - EJECUCION DE OBRAS - CONTROL DE CALIDAD EN MECANICA DE SUELOS

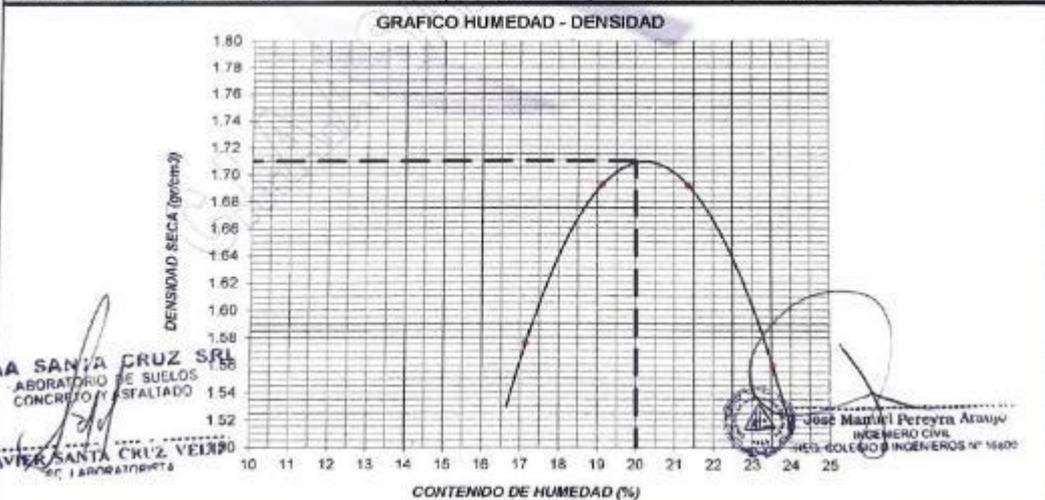
PROCTOR MODIFICADO ASTM (D- 1557)

SOLICITA / PETICIONARIO : BACH. YHON MARCIAL ESPINO MARQUEZ
PROYECTO / OBRA : ADICION DE CENIZA DE MADERA DE FONDO EN LA ESTABILIZACION DE SUELOS ARCILLOSOS Y SU APLICACION A SUB RASANTES

CAUCATA : N° 1 3% DE CENIZA
UBICACION DE OBRA : Distrito COVIRIALI
 Provincia SATIPO **TECNICO :** J.S.C.V
 Departamento JUNIN **FECHA :** 20/01/2020

Determinación de la Densidad				
Peso del suelo húmedo+Molde (gr)	3625.0	3785.0	3620.0	3700.0
Peso del Molde (gr)	1890.0	1890.0	1890.0	1890.0
Peso del suelo húmedo (gr)	1735.0	1895.0	1930.0	1810.0
Volumen del molde (cm ³)	940.0	940.0	940.0	940.0
Densidad Húmeda (gr/cm ³)	1.846	2.016	2.053	1.926
Contenido de Humedad promedio (%)	17.1	19.1	21.4	23.6
Densidad Seca (gr/cm ³)	1.575	1.692	1.691	1.556

Determinación del Contenido de Humedad				
Muestra N°				
Recipiente N°	61	V-38	V-64	V-56
Peso del recipiente + suelo húmedo (gr)	102.0	102.3	106.6	104.3
Peso del recipiente + suelo seco (gr)	90.0	91.0	93.2	89.6
Peso del agua (gr)	12.0	11.3	13.4	14.8
Peso del recipiente (gr)	20.0	32.0	30.5	26.6
Peso del suelo seco (gr)	70.0	59.0	62.7	62.9
Contenido de humedad (%)	17.1	19.1	21.4	23.6
Contenido de humedad promedio (%)	17.1	19.1	21.4	23.6



CIAA SANTA CRUZ SRL
 LABORATORIO DE SUELOS
 CONCRETO Y ASFALTO
 JAVIER SANTA CRUZ VELAZQUEZ

José Manuel Pereyra Araníez
 INGENIERO CIVIL
 REG. COLEGIO INGENIEROS N° 15400

RESULTADO DEL ENSAYO

MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm³) :	1.71	OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	20.0
---	-------------	--	-------------

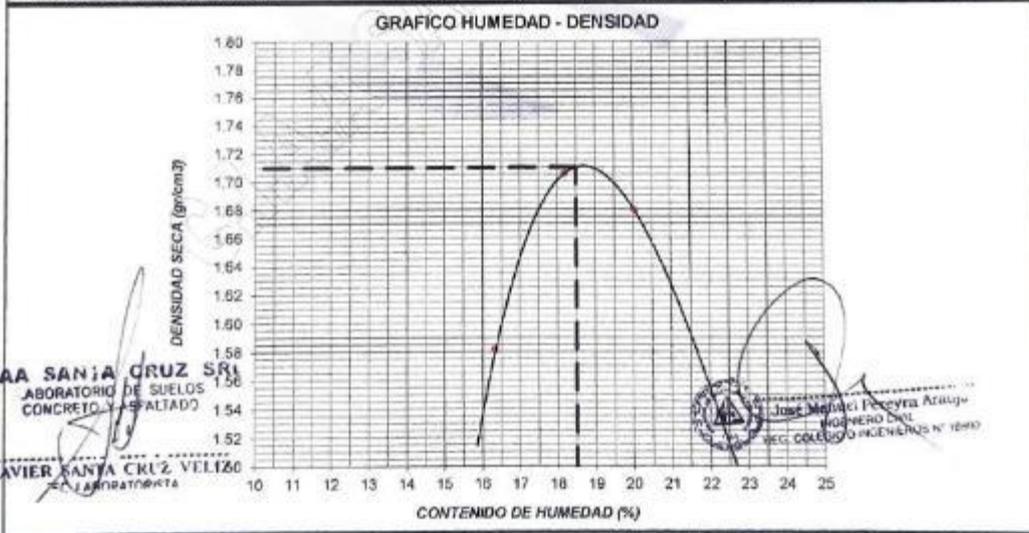
PROCTOR MODIFICADO ASTM (D- 1557)

SOLICITA / PETICIONARIO : BACH. YHON MARCIAL ESPINO MARQUEZ
 PROYECTO / OBRA : ADICION DE CENIZA DE MADERA DE FONDO EN LA ESTABILIZACION DE SUELOS ARGILLOSOS Y SU APLICACION A SUB RASANTES

CALICATA N° 1 5% DE CENIZA
 UBICACION DE OBRA : Distrito COMRIALI
 Provincia SATIPO TECNICO : J.S.C.V
 Departamento JUNIN FECHA : 20/01/2020

Determinación de la Densidad				
Peso del suelo húmedo-Molde (gr)	3020.0	3795.0	3785.0	3655.0
Peso del Molde (gr)	1890.0	1890.0	1890.0	1890.0
Peso del suelo húmedo (gr)	1730.0	1895.0	1895.0	1765.0
Volumen del molde (cm3)	940.0	940.0	940.0	940.0
Densidad Húmeda (gr/cm3)	1.840	2.016	2.016	1.878
Contenido de Humedad promedio (%)	16.3	18.2	20.0	22.2
Densidad Seca (gr/cm3)	1.581	1.708	1.680	1.537

Determinación del Contenido de Humedad				
Muestra N°				
Recipiente N°	V-50	V-51	V-33	V-56
Peso del recipiente + suelo húmedo (gr)	66.9	86.9	98.0	127.1
Peso del recipiente + suelo seco (gr)	77.6	77.6	84.3	109.5
Peso del agua (gr)	6.4	9.3	11.7	17.6
Peso del recipiente (gr)	30.0	25.5	25.9	30.3
Peso del suelo seco (gr)	57.5	51.1	58.4	79.2
Contenido de humedad (%)	16.3	18.2	20.0	22.2
Contenido de humedad promedio (%)	16.3	18.2	20.0	22.2



RESULTADO DEL ENSAYO			
MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm3) :	1.71	OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	18.5

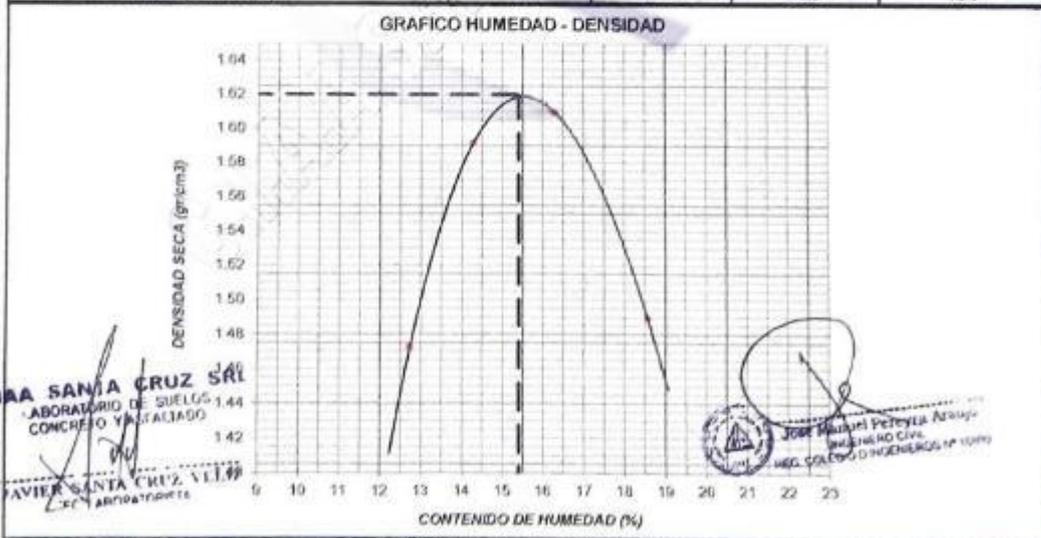
PROCTOR MODIFICADO ASTM (D- 1557)

SOLICITA / PETICIONARIO : BACH YVON MARCIAL ESPINO MARQUEZ
 PROYECTO / OBRA : ADICION DE CENIZA DE MADERA DE FONDO EN LA ESTABILIZACION DE SUELOS ARGILLOSOS Y SU APLICACION A SUBPISANTES.

CALICATA N° 1 15% DE CENIZA
 UBICACION DE OBRA : Distrito COVIRIALI
 Provincia SATIPO TECNICO : J.S.C.V
 Departamento JUNIN FECHA : 20/01/2020

	1	2	3	4
Peso del suelo húmedo + Molde (gr)	3425.0	3620.0	3650.0	3550.0
Peso del Molde (gr)	1395.0	1390.0	1390.0	1390.0
Peso del suelo húmedo (gr)	1550.0	1210.0	1260.0	1650.0
Volumen del molde (cm ³)	940.0	940.0	940.0	940.0
Densidad Húmeda (gr/cm ³)	1.650	1.289	1.341	1.766
Contenido de Humedad promedio (%)	12.7	14.3	16.3	18.6
Densidad Seca (gr/cm ³)	1.473	1.502	1.610	1.489

Muestra N°	65	76	61	17
Recipiente N°				
Peso del recipiente + suelo húmedo (gr)	70.9	97.0	110.9	90.9
Peso del recipiente + suelo seco (gr)	72.0	88.0	103.0	79.0
Peso del agua (gr)	6.9	9.0	13.0	11.9
Peso del recipiente (gr)	17.0	25.0	17.7	14.9
Peso del suelo seco (gr)	54.2	63.0	85.3	64.1
Contenido de humedad (%)	12.7	14.3	16.3	18.6
Contenido de humedad promedio (%)	12.7	14.3	16.3	18.6



MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm ³) :	1.62	OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	15.4
--	-------------	---------------------------------	-------------

PROCTOR MODIFICADO ASTM (D- 1557)

SOLICITA / PETICIONARIO : BACH YHON MARCIAL ESPINO MARQUEZ
 PROYECTO / OBRA : ADICION DE CENIZA DE MADERA DE FONDO EN LA ESTABILIZACION DE SUELOS ARCILLOSOS Y SU APLICACION A SUB RASANTES

CALICATA N° 1 20% DE CENIZA
 UBICACION DE OBRA : Distrito COVIRIALI
 Provincia SATIPO TECNICO : J.S.C.V
 Departamento JUNIN FECHA : 20/01/2020

Determinación de la Densidad				
Peso del suelo húmedo + Molde (gr)	3400.0	3565.0	3820.0	3550.0
Peso del Molde (gr)	1890.0	1890.0	1890.0	1890.0
Peso del suelo húmedo (gr)	1510.0	1675.0	1730.0	1660.0
Volumen del molde (cm ³)	940.0	940.0	940.0	940.0
Densidad Húmeda (gr/cm ³)	1.606	1.782	1.840	1.766
Contenido de Humedad promedio (%)	11.8	13.6	15.6	17.8
Densidad Seca (gr/cm ³)	1.437	1.569	1.592	1.500

Determinación del Contenido de Humedad				
Muestra N°				
Recipiente N°	67	15	30	70
Peso del recipiente + suelo húmedo (gr)	78.9	109.3	114.4	106.9
Peso del recipiente + suelo seco (gr)	72.0	99.0	102.5	95.0
Peso del agua (gr)	6.9	10.3	11.9	11.9
Peso del recipiente (gr)	13.8	23.0	28.0	28.0
Peso del suelo seco (gr)	58.6	76.0	76.5	67.0
Contenido de humedad (%)	11.8	13.6	15.6	17.8
Contenido de humedad promedio (%)	11.8	13.6	15.6	17.8



RESULTADO DEL ENSAYO			
MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm ³) :	1.60	OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	14.9

PROCTOR MODIFICADO ASTM (D- 1557)

SOLICITA / PETICIONARIO :
PROYECTO / OBRA :

BACH. YHON MARCIAL ESPINO MARQUEZ

ADICION DE CENIZA DE MADERA DE FONDO EN LA ESTABILIZACION DE SUELOS ARCILLOSOS Y SU APLICACION A SUB RASANTES

CALICATA
UBICACION DE OBRA :

N° 1 25% DE CENIZA

Distrito COVIRIALI

Provincia SATIPO

Departamento JUNIN

TECNICO : J.S.C.V

FECHA : 20/01/2020

Determinación de la Densidad				
Peso del suelo húmedo+Molde (gr)	3465.0	3050.0	3600.0	3550.0
Peso del Molde (gr)	1850.0	1890.0	1890.0	1890.0
Peso del suelo húmedo (gr)	1575.0	1160.0	1710.0	1660.0
Volumen del molde (cm ³)	940.0	940.0	940.0	940.0
Densidad Húmeda (gr/cm ³)	1.678	1.234	1.819	1.766
Contenido de Humedad promedio (%)	12.0	13.9	16.0	18.1
Densidad Seca (gr/cm ³)	1.497	1.551	1.569	1.496
Determinación del Contenido de Humedad				
Muestra N°				
Recipiente N°	2	5	4	3
Peso del recipiente + suelo húmedo (gr)	132.4	136.2	138.4	132.3
Peso del recipiente + suelo seco (gr)	121.5	124.6	125.0	118.5
Peso del agua (gr)	10.9	11.6	13.4	15.8
Peso del recipiente (gr)	30.3	41.0	41.0	29.0
Peso del suelo seco (gr)	91.2	83.6	84.0	87.5
Contenido de humedad (%)	12.0	13.9	16.0	18.1
Contenido de humedad promedio (%)	12.0	13.9	16.0	18.1

GRAFICO HUMEDAD - DENSIDAD					
	<p>CIAA SANTA CRUZ SRL LABORATORIO DE SUELOS CONCRETO Y ASFALTO</p> <p>JAVIER SANTA CRUZ VELIZ</p>				
<p>RESULTADO DEL ENSAYO</p> <table border="1"> <tr> <td>MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm³) :</td> <td>1.57</td> <td>OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%)</td> <td>15.6</td> </tr> </table>	MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm³) :	1.57	OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	15.6	<p>Jose Manuel Peryera Aranda INGENIERO CIVIL REG. COLEGIO D INGENIEROS N° 10000</p>
MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm³) :	1.57	OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	15.6		

Proctor Modificado del suelo

PROCTOR MODIFICADO ASTM (D- 1557)

SOLICITA / PETICIONARIO : BACH. YHON MARCIAL ESPINO MARQUEZ
PROYECTO / OBRA : ADICION DE CENIZA DE MADERA DE FONDO EN LA ESTABILIZACION DE SUELOS ARCILLOSOS Y SU APLICACIÓN A SUB RASANTES

CALICATA N° : 1
UBICACION DE OBRA : Distrito COVIRIALI
 Provincia SATIPO
 Departamento JUNIN

TECNICO : J.S.C.V
FECHA : 20/01/2020

Determinación de la Densidad					
Peso del suelo húmedo+Molde (gr)	3620.0	3755.0	3785.0	3699.0	
Peso del Molde (gr)	1890.0	1890.0	1890.0	1890.0	
Peso del suelo húmedo (gr)	1730.0	1865.0	1895.0	1809.0	
Volumen del molde (cm ³)	940.0	940.0	940.0	940.0	
Densidad Húmeda (gr/cm ³)	1.840	1.984	2.016	1.924	
Contenido de Humedad promedio (%)	17.3	19.1	21.3	23.4	
Densidad Seca (gr/cm ³)	1.568	1.666	1.661	1.560	
Determinación del Contenido de Humedad					
Muestra N°					
Recipiente N°	V-50	V-9	V-63	V-53	
Peso del recipiente + suelo húmedo (gr)	78.9	126.3	137.2	122.1	
Peso del recipiente + suelo seco (gr)	70.0	110.9	118.7	104.0	
Peso del agua (gr)	8.9	15.4	18.5	18.1	
Peso del recipiente (gr)	30.2	30.3	32.0	26.5	
Peso del suelo seco (gr)	39.8	80.6	86.7	77.5	
Contenido de humedad (%)	17.3	19.1	21.3	23.4	
Contenido de humedad promedio (%)	17.3	19.1	21.3	23.4	

GRAFICO HUMEDAD - DENSIDAD	
RESULTADO DEL ENSAYO	
MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm ³) :	1.68
OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%) :	20.4

Proctor Modificado de la ceniza



CONSTRUCTORA INGENIEROS & ARQUITECTOS ASESORES SANTA CRUZ SRL

ELABORACION DE PROYECTOS - EJECUCION DE OBRAS - CONTROL DE CALIDAD EN MECANICA DE SUELOS

PROCTOR MODIFICADO ASTM (D- 1557)

SOLICITA / PETICIONARIO : BACH. YHON MARCIAL ESPINO MARQUEZ
 PROYECTO / OBRA : ADICION DE CENIZA DE MADERA DE FONDO EN LA ESTABILIZACION DE SUELOS ARCILLOSOS Y SU APLICACION A SUB RASANTES

CALICATA N° 1 3% DE CENIZA
 UBICACION DE OBRA : Distrito COVIRIALI
 Provincia SATIPO TECNICO : J.S.C.V
 Departamento JUNIN FECHA : 20/01/2020

Determinación de la Densidad				
Peso del suelo húmedo+Molde (gr)	3625.0	3785.0	3820.0	3700.0
Peso del Molde (gr)	1890.0	1890.0	1890.0	1890.0
Peso del suelo húmedo (gr)	1735.0	1895.0	1930.0	1810.0
Volumen del molde (cm ³)	940.0	940.0	940.0	940.0
Densidad Húmeda (gr/cm ³)	1.846	2.016	2.053	1.926
Contenido de Humedad promedio (%)	17.1	19.1	21.4	23.5
Densidad Seca (gr/cm ³)	1.576	1.692	1.691	1.559
Determinación del Contenido de Humedad				
Muestra N°				
Recipiente N°	61	V-38	V-64	V-56
Peso del recipiente + suelo húmedo (gr)	102.0	102.3	106.6	104.3
Peso del recipiente + suelo seco (gr)	80.0	91.0	93.2	89.5
Peso del agua (gr)	12.0	11.3	13.4	14.8
Peso del recipiente (gr)	20.0	32.0	30.5	26.8
Peso del suelo seco (gr)	70.0	69.0	62.7	62.9
Contenido de humedad (%)	17.1	19.1	21.4	23.5
Contenido de humedad promedio (%)	17.1	19.1	21.4	23.5



CIAA SANTA CRUZ SRL
 LABORATORIO DE SUELOS
 CONCRETO ASFALTADO
 JAVIER SANTA CRUZ VELAZCO
 INGENIERO CIVIL

José Manuel Pereyra Araujo
 INGENIERO CIVIL
 INSTITUTO COLEGIADO DE INGENIEROS N° 16800

RESULTADO DEL ENSAYO

MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm ³) :	1.71	OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	20.0
--	-------------	---------------------------------	-------------

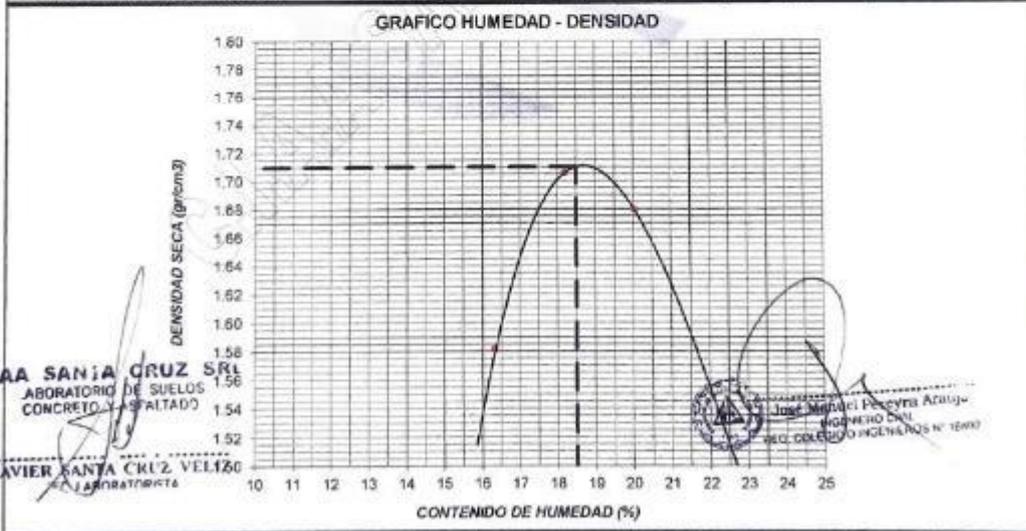
PROCTOR MODIFICADO ASTM (D- 1557)

SOLICITA / PETICIONARIO : BACH. YHON MARCIAL ESPINO MARQUEZ
 PROYECTO / OBRA : ADICION DE CENIZA DE MADERA DE FONDO EN LA ESTABILIZACION DE SUELOS ARCILLOSOS Y SU APLICACION A SUB RASANTES

CALICATA N° 1 5% DE CENIZA
 UBICACION DE OBRA : Distrito COVIRIALI
 Provincia SATIPO TECNICO : J.S.C.V
 Departamento JUNIN FECHA : 20/01/2020

Determinación de la Densidad				
Peso del suelo húmedo+Molde (gr)	3620.0	3785.0	3785.0	3655.0
Peso del Molde (gr)	1800.0	1890.0	1890.0	1690.0
Peso del suelo húmedo (gr)	1730.0	1895.0	1895.0	1765.0
Volumen del molde (cm3)	940.0	940.0	940.0	940.0
Densidad Húmeda (gr/cm3)	1.840	2.016	2.016	1.878
Contenido de Humedad promedio (%)	16.3	18.2	20.0	22.2
Densidad Seca (gr/cm3)	1.581	1.706	1.680	1.537

Determinación del Contenido de Humedad				
Muestra N°				
Recipiente N°	V-50	V-51	V-33	V-56
Peso del recipiente + suelo húmedo (gr)	86.9	86.9	96.0	127.1
Peso del recipiente + suelo seco (gr)	77.5	77.6	84.3	109.5
Peso del agua (gr)	9.4	9.3	11.7	17.6
Peso del recipiente (gr)	20.0	26.5	25.9	30.3
Peso del suelo seco (gr)	57.5	51.1	58.4	79.2
Contenido de humedad (%)	16.3	18.2	20.0	22.2
Contenido de humedad promedio (%)	16.3	18.2	20.0	22.2



RESULTADO DEL ENSAYO		
MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm3) :	1.71	OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%)
		18.5

PROCTOR MODIFICADO ASTM (D- 1557)

SOLICITA / PETICIONARIO : BACI YVON MARCIAL ESPINO MAPOJEZ
 PROYECTO / OBRA : ADICION DE CENIZA DE MADERA DE FONDO EN LA ESTABILIZACION DE SUELOS ARCILLOSOS Y SU APLICACION A SUB PISANTES.

CALICATA N° 1 15% DE CENIZA
 UBICACION DE OBRA : Distrito COVIRIALI
 Provincia SATIPO TECNICO : J.S.C.V
 Departamento JUNIN FECHA : 20/01/2020

Determinación de la Densidad				
Peso del suelo húmedo + Molde (gr)	3450.0	3690.0	3650.0	3550.0
Peso del Molde (gr)	1090.0	1090.0	1090.0	1090.0
Peso del suelo húmedo (gr)	2360.0	2600.0	2560.0	2460.0
Volumen del molde (cm ³)	940.0	940.0	940.0	940.0
Densidad Húmeda (gr/cm ³)	2.511	2.766	2.722	2.617
Contenido de Humedad promedio (%)	12.7	14.3	16.3	18.6
Densidad Seca (gr/cm ³)	2.227	2.392	2.336	2.188
Determinación del Contenido de Humedad				
Muestra N°				
Recipiente N°	65	76	61	17
Peso del recipiente + suelo húmedo (gr)	78.9	97.0	116.9	90.9
Peso del recipiente + suelo seco (gr)	72.0	88.0	103.0	79.0
Peso del agua (gr)	6.9	9.0	13.9	11.9
Peso del recipiente (gr)	17.6	25.9	17.7	14.5
Peso del suelo seco (gr)	54.2	63.0	85.3	64.7
Contenido de humedad (%)	12.7	14.3	16.3	18.6
Contenido de humedad promedio (%)		12.7	14.3	16.3

GRAFICO HUMEDAD - DENSIDAD	
	<p>CIAA SANTA CRUZ S.A. LABORATORIO DE SUELOS CONCRETO Y ACIADO</p> <p>PAVIER SANTA CRUZ VILLALBA</p> <p>Jose Manuel Petyela Arsuaga INGENIERO CIVIL REG. COL. PROF. D INGENIEROS N° 10499</p>
RESULTADO DEL ENSAYO	
MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm ³) :	1.62
OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%) :	15.4

PROCTOR MODIFICADO ASTM (D- 1557)

SOLICITA / PETICIONARIO : BACH. YIVON MARCIAL ESPINO MARQUEZ
 PROYECTO / OBRA : ADICION DE CENIZA DE MADERA DE FONDO EN LA ESTABILIZACION DE SUELOS ARCILLOSOS Y SU APLICACION A SUB RASANTES

CALCATA N° 1 20% DE CENIZA
 UBICACION DE OBRA : Distrito COVIRIALI
 Provincia SATIPO TECNICO : J.S.C.V
 Departamento JUNIN FECHA : 20/01/2020

Determinación de la Densidad				
Peso del suelo húmedo+Molde (gr)	3400.0	3565.0	3630.0	3650.0
Peso del Molde (gr)	1890.0	1890.0	1890.0	1890.0
Peso del suelo húmedo (gr)	1510.0	1675.0	1730.0	1860.0
Volumen del molde (cm ³)	940.0	940.0	940.0	940.0
Densidad Húmeda (gr/cm ³)	1.606	1.782	1.840	1.989
Contenido de Humedad promedio (%)	11.8	13.6	15.6	17.8
Densidad Seca (gr/cm ³)	1.437	1.569	1.592	1.500
Determinación del Contenido de Humedad				
Muestra N°	67	15	30	70
Recipiente N°	67	15	30	70
Peso del recipiente + suelo húmedo (gr)	78.9	109.3	114.4	106.9
Peso del recipiente + suelo seco (gr)	72.0	99.0	102.5	95.0
Peso del agua (gr)	6.9	10.3	11.9	11.9
Peso del recipiente (gr)	13.5	23.0	26.0	28.0
Peso del suelo seco (gr)	58.5	76.0	76.5	67.0
Contenido de humedad (%)	11.8	13.6	15.6	17.8
Contenido de humedad promedio (%)	11.8	13.6	15.6	17.8



RESULTADO DEL ENSAYO			
MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm ³) :	1.60	OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	14.9

PROCTOR MODIFICADO ASTM (D- 1557)

SOLICITA / PETICIONARIO : BACH. YHON MARCIAL ESPINO MARQUEZ
 PROYECTO / OBRA : ADICION DE CENIZA DE MADERA DE FONDO EN LA ESTABILIZACION DE SUELOS ARCILLOSOS Y SU APLICACION A SUB RASANTES

CALICATA N° 1 25% DE CENIZA
 UBICACION DE OBRA : Distrito COVIPAL
 Provincia SATIPO TECNICO : J.S.C.V
 Departamento JUNIN FECHA : 20/01/2020

Determinación de la Densidad				
Peso del suelo húmedo+Molde (gr)	3465.0	3590.0	3600.0	3550.0
Peso del Molde (gr)	1690.0	1890.0	1690.0	1690.0
Peso del suelo húmedo (gr)	1575.0	1880.0	1710.0	1660.0
Volumen del molde (cm ³)	940.0	940.0	940.0	940.0
Densidad Húmeda (gr/cm ³)	1.676	1.766	1.819	1.766
Contenido de Humedad promedio (%)	12.0	13.9	16.0	18.1
Densidad Seca (gr/cm ³)	1.497	1.551	1.569	1.496
Determinación del Contenido de Humedad				
Muestra N°				
Recipiente N°	2	5	4	3
Peso del recipiente + suelo húmedo (gr)	132.4	136.2	138.4	132.3
Peso del recipiente + suelo seco (gr)	121.5	124.6	125.0	118.5
Peso del agua (gr)	10.6	11.6	13.4	15.6
Peso del recipiente (gr)	30.3	41.0	41.0	29.0
Peso del suelo seco (gr)	91.2	83.6	84.0	87.5
Contenido de humedad (%)	12.0	13.9	16.0	18.1
Contenido de humedad promedio (%)	12.0	13.9	16.0	18.1

GRAFICO HUMEDAD - DENSIDAD	
	<p>CIAA SANTA CRUZ SRL LABORATORIO DE SUELOS CONCRETO Y ASFALTADO</p> <p>JAVIER SANTA CRUZ VELIZ INGENIERO CIVIL</p> <p>Jose Manuel Pezayra Arce INGENIERO CIVIL REG. COLEGIO D'INGENIEROS</p>
RESULTADO DEL ENSAYO	
MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm ³) :	1.57
OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%) :	15.6

CBR del suelo

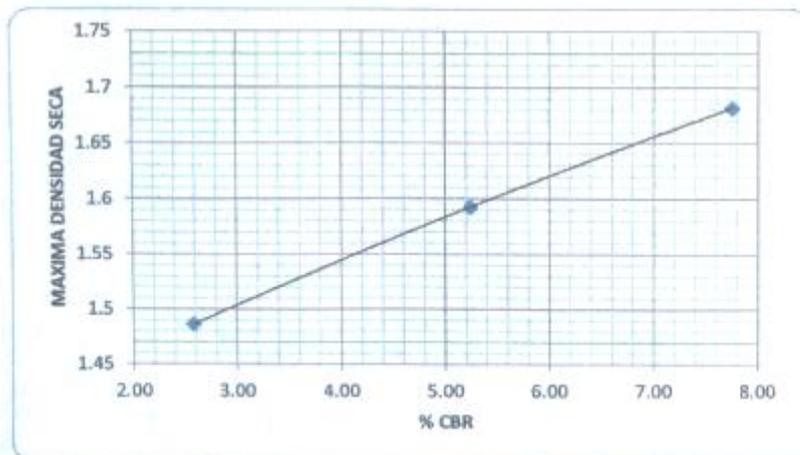
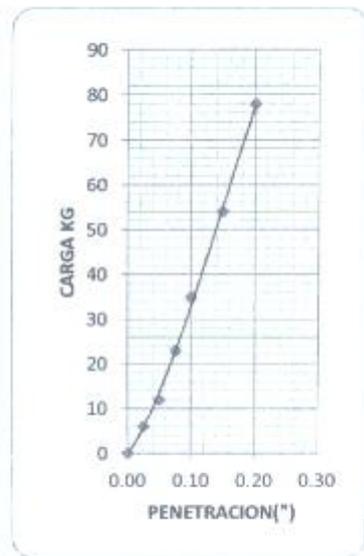
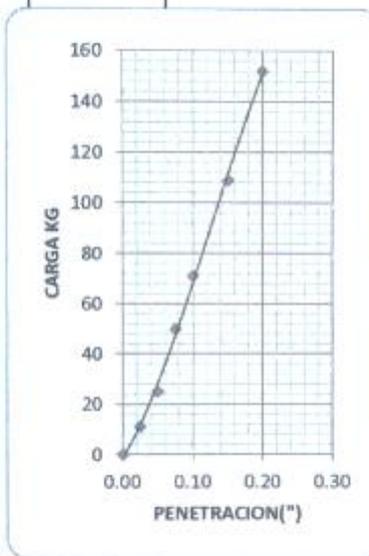
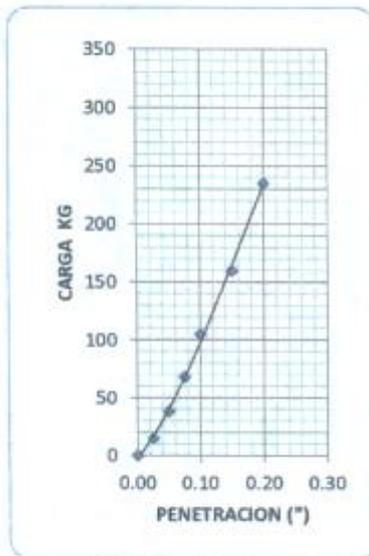
PROYECTO : ADICION DE CENIZA DE MADERA DE FONDO EN LA ESTABILIZACION DE SUELOS ARCILLOSOS Y SU APLICACIÓN A SUB RASANTES

SOLICITA : BACH. YHON MARCIAL ESPINO MARQUEZ
UBICACIÓN: DIST. COVIRIALI - PROV. SATIPO- DPTO. JUNIN
CALICATA Nº 01 COVIRIALI - SATIPO

TECNICO J.S.C.V
FECHA 20/01/2020

VALOR RELATIVO DE SOPORTE C.B.R. METODO DE COMPACTACION AASHO T-180 D

	PENETRACION	Nº GOLPES 56	PENETRACION	Nº GOLPES 25	PENETRACION	Nº GOLPES 12
	0.00	0	0.00	0	0.00	0
	0.25	15	0.03	11	0.03	6
	0.50	38	0.05	25	0.05	12
	0.75	68	0.08	50	0.08	23
	1.00	105	0.10	71	0.10	35
	1.50	160	0.15	109	0.15	54
	2.00	235	0.20	152	0.20	78



RESULTADO DE C.B.R.	
M. D. S. (g/cc)	1.68
O. C. H. (%)	20.40
C.B.R. AL 100% DE M.D.S. (%)	7.75
C.B.R. AL 95% DE M.D.S. (%)	5.37
CARGA PATRON	1355

Suelo 85% + 15% ceniza de madera de fondo

PROYECTO : ADICION DE CENIZA DE MADERA DE FONDO EN LA ESTABILIZACION DE SUELOS ARCILLOSOS Y SU APLICACIÓN A SUB RASANTES

SOLICITA : BACH. YHON MARCIAL ESPINO MARQUEZ

TECNICO J.S.C.V

UBICACIÓN: DIST. COVIRIALI - PROV. SATIPO- DPTO JUNIN

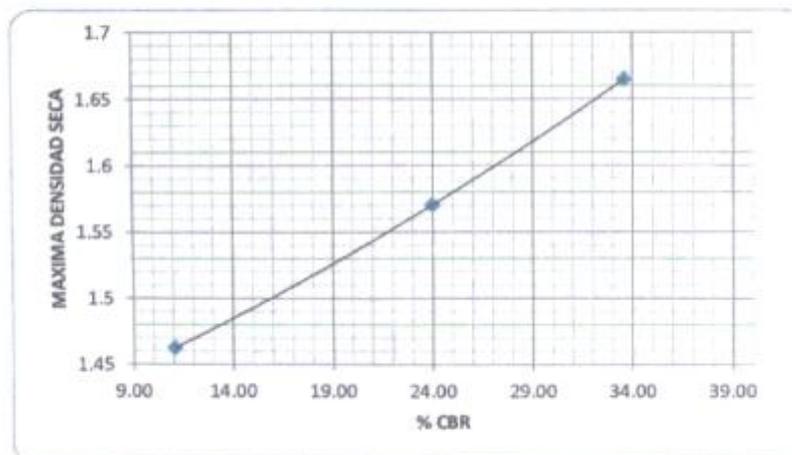
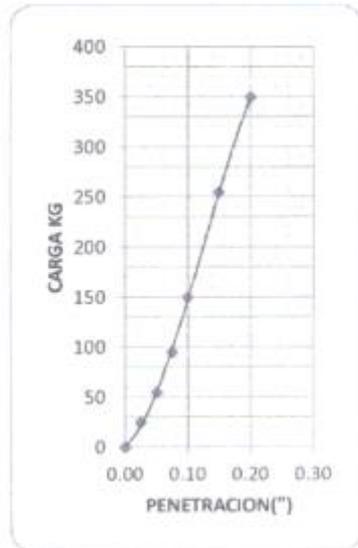
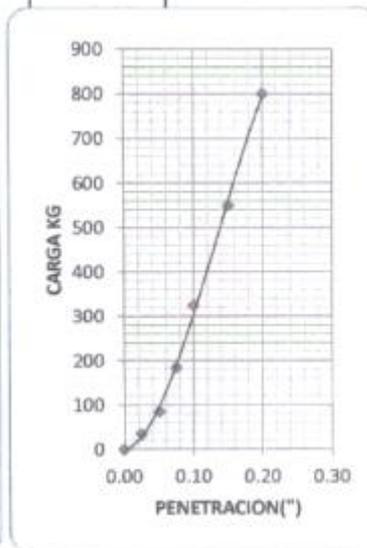
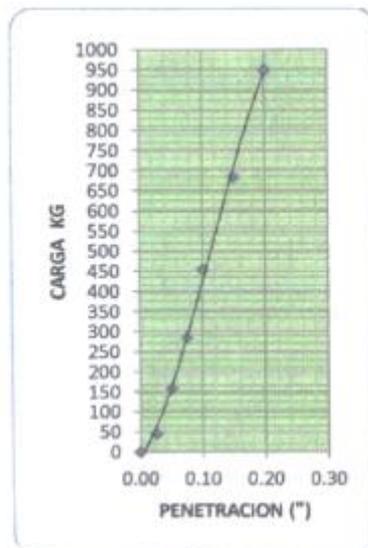
FECHA 20/01/2020

CALICATA Nº 01 COVIRIALI - SATIPO

CENIZA AL 15%

VALOR RELATIVO DE SOPORTE C.B.R. METODO DE COMPACTACION AASHO T-180 D

	PENETRACION	Nº GOLPES 56	PENETRACION	Nº GOLPES 25	PENETRACION	Nº GOLPES 12
0.00	0.00	0	0.00	0	0.00	0
0.25	0.03	45	0.03	35	0.03	25
0.50	0.05	158	0.05	85	0.05	55
0.75	0.08	285	0.08	185	0.08	95
1.00	0.10	455	0.10	325	0.10	150
1.50	0.15	685	0.15	550	0.15	255
2.00	0.20	950	0.20	800	0.20	350



RESULTADO DE C.B.R.	
M. D. S. (gr/cc)	: 1.68
O. C. H. (%)	: 20.40
C.B.R. AL 100% DE M.D.S. (%)	: 33.58
C.B.R. AL 95% DE M.D.S. (%)	: 25.22
CARGA PATRON	: 1355

Suelo 80% + 20% ceniza de madera de fondo

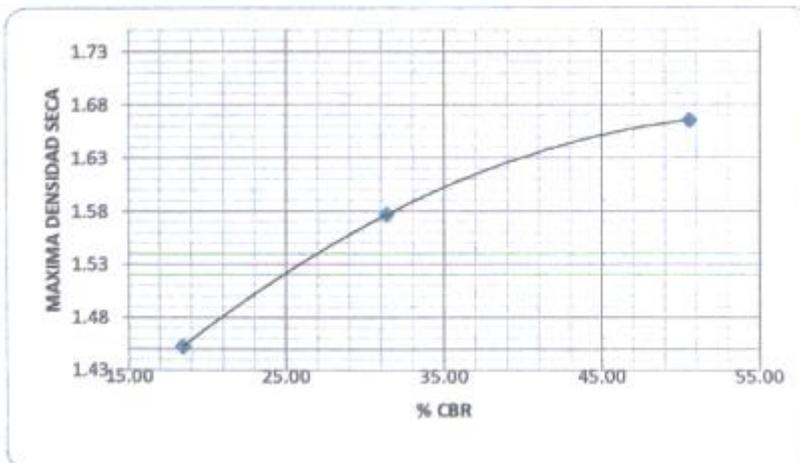
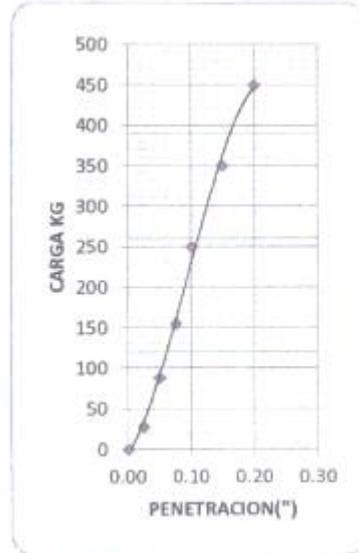
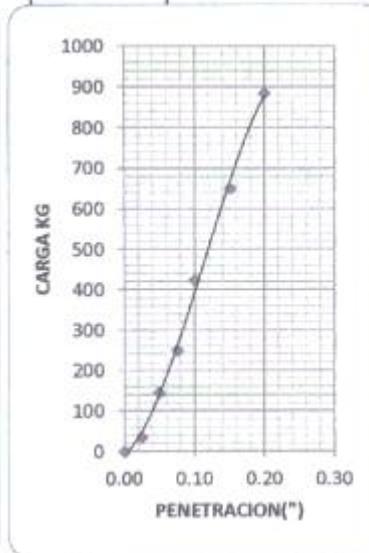
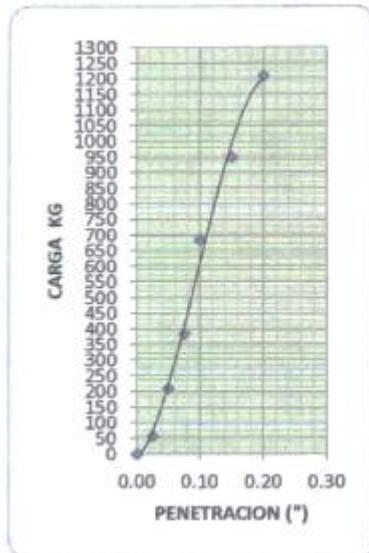
PROYECTO : ADICION DE CENIZA DE MADERA DE FONDO EN LA ESTABILIZACION DE SUELOS ARCILLOSOS Y SU APLICACIÓN A SUB RASANTES

SOLICITA : BACH. YHON MARCIAL ESPINO MARQUEZ
 UBICACIÓN: DIST. COVIRIALI - PROV. SATIPO- DPTO JUNIN
 CALICATA Nº 01 COVIRIALI - SATIPO

TECNICO J.S.C.V
 FECHA 20/01/2020
 CENIZA AL 20%

VALOR RELATIVO DE SOPORTE C.B.R. METODO DE COMPACTACION AASHO T-180 D

	PENETRACION	Nº GOLPES 56	PENETRACION	Nº GOLPES 25	PENETRACION	Nº GOLPES 12
0.00	0.00	0	0.00	0	0.00	0
0.25	0.03	58	0.03	35	0.03	28
0.50	0.05	210	0.05	145	0.05	88
0.75	0.08	385	0.08	250	0.08	155
1.00	0.10	685	0.10	425	0.10	250
1.50	0.15	950	0.15	650	0.15	350
2.00	0.20	1210	0.20	885	0.20	450



RESULTADO DE C.B.R.	
M. D. S. (g/cc)	1.68
O. C. H. (%)	20.40
C.B.R. AL 100% DE M.D.S. (%)	50.57
C.B.R. AL 95% DE M.D.S. (%)	32.35
CARGA PATRON	1355

Suelo 75% + 25% ceniza de madera de fondo

PROYECTO : ADICION DE CENIZA DE MADERA DE FONDO EN LA ESTABILIZACION DE SUELOS ARCILLOSOS Y SU APLICACIÓN A SUB RASANTES

SOLICITA : BACH, YHON MARCIAL ESPINO MARQUEZ

TECNICO J.S.C.V

UBICACIÓN: DIST. COVIRIALI - PROV. SATIPO - DPTO JUNIN

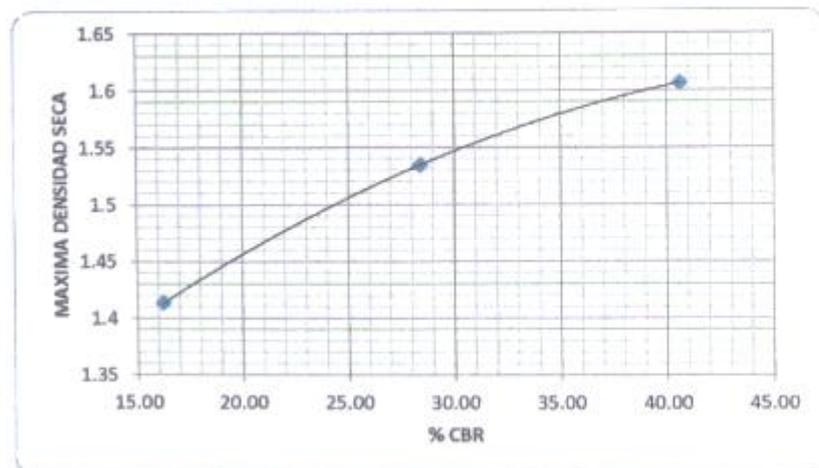
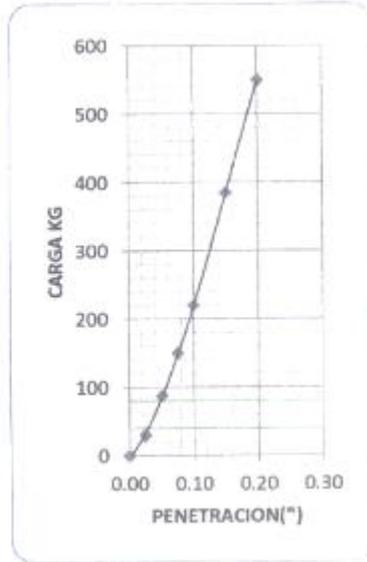
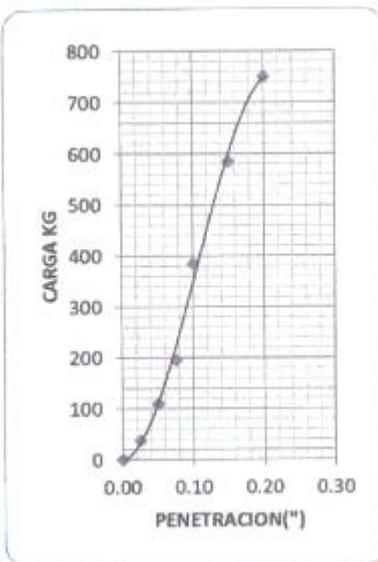
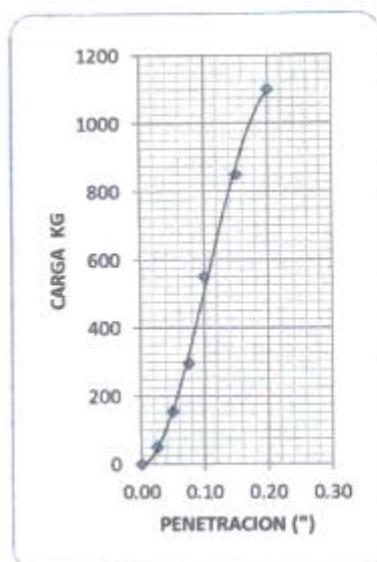
FECHA 20/01/2020

CALICATA Nº 01 COVIRIALI - SATIPO

CENIZA AL 25%

VALOR RELATIVO DE SOPORTE C.B.R. METODO DE COMPACTACION AASHO T-180 D

	PENETRACION	Nº GOLPES 56	PENETRACION	Nº GOLPES 25	PENETRACION	Nº GOLPES 12
	0.00	0	0.00	0	0.00	0
	0.25	50	0.03	38	0.03	30
	0.50	155	0.05	110	0.05	88
	0.75	295	0.08	195	0.08	150
	1.00	550	0.10	385	0.10	220
	1.50	850	0.15	585	0.15	385
	2.00	1100	0.20	750	0.20	550



RESULTADO DE C.B.R.	
M. D. S. (gr/cc)	1.68
Q. C. H. (%)	20.40
C.B.R. AL 100% DE M.D.S. (%)	40.60
C.B.R. AL 95% DE M.D.S. (%)	27.17
CARGA PATRON	1355