



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

Cenizas de madera y cal para estabilizar suelos arcillosos en una subrasante para pavimentos urbanos, Lurigancho - Chosica 2023

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniera Civil

AUTORA:

Ramos Avalos, Melissa Stefany (orcid.org/0000-0002-8927-8935)

ASESOR:

MSc. Clemente Condori, Luis Jimmy (orcid.org/0000-00002-0250-4363)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Diseño de Infraestructura Vial

LÍNEA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA:

Desarrollo sostenible y adaptación al cambio climático

LIMA – PERÚ

2023

DEDICATORIA

A mis padres quienes velan mi educación y bienestar siendo mi apoyo continuo, brindando su confianza ante las diversas situaciones que me encuentro expuesta sin dudar de mi capacidad,

Al asesor de tesis por haber puesto a prueba la capacidad y conocimiento en el desarrollo de esta investigación.

AGRADECIMIENTO

Expreso mi profundo agradecimiento a mis padres y hermana por el soporte que me han brindado durante esta etapa de mi carrera profesional, por las palabras de aliento, consejos para continuar.



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

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

Declaratoria de Autenticidad del Asesor

Yo, CLEMENTE CONDORI LUIS JIMMY, docente de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA CIVIL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - LIMA ATE, asesor de Tesis titulada: "Cenizas de madera y cal para estabilizar suelos arcillosos en una subrasante para pavimentos urbanos, Lurigancho - Chosica 2023", cuyo autor es RAMOS AVALOS MELISSA STEFANY, constato que la investigación tiene un índice de similitud de 17.00%, verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin, el cual ha sido realizado sin filtros, ni exclusiones.

He revisado dicho reporte y concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la Tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

En tal sentido, asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

LIMA, 29 de Diciembre del 2023

Apellidos y Nombres del Asesor:	Firma
CLEMENTE CONDORI LUIS JIMMY DNI: 09957407 ORCID: 0000-0002-0250-4363	Firmado electrónicamente por: LCLEMENTECO el 04-01-2024 20:14:58

Código documento Trilce: TRI - 0712589



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

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

Declaratoria de Originalidad del Autor

Yo, RAMOS AVALOS MELISSA STEFANY estudiante de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA CIVIL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - LIMA ATE, declaro bajo juramento que todos los datos e información que acompañan la Tesis titulada: "Cenizas de madera y cal para estabilizar suelos arcillosos en una subrasante para pavimentos urbanos, Lurigancho - Chosica 2023", es de mi autoría, por lo tanto, declaro que la Tesis:

1. No ha sido plagiada ni total, ni parcialmente.
2. He mencionado todas las fuentes empleadas, identificando correctamente toda cita textual o de paráfrasis proveniente de otras fuentes.
3. No ha sido publicada, ni presentada anteriormente para la obtención de otro grado académico o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de la información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

Nombres y Apellidos	Firma
MELISSA STEFANY RAMOS AVALOS DNI: 73708890 ORCID: 0000-0002-8927-8935	Firmado electrónicamente por: MRAMOSAV el 29-12- 2023 16:31:47

Código documento Trilce: TRI - 0712588

Índice de contenidos

DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTO.....	iii
DECLARATORIA DE ATENTICIDAD DEL ASESOR.....	iiiv
DECLARATORIA DE ORIGINALIDAD DEL AUTOR	iv
Índice de contenidos	vi
Índice de tablas	vi
Índice de figuras	viii
Índice de abreviaturas	x
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEÓRICO	6
III. METODOLOGÍA.....	25
3.1. Tipo y diseño de investigación	25
3.2. Variables y operacionalización.....	34
3.3. Población, muestra y muestreo.....	35
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	42
3.5. Validez y confiabilidad.....	43
3.6. Procedimientos	44
3.6. Método de análisis de datos.....	51
3.7. Aspectos éticos	51
IV. RESULTADOS	52
V. DISCUSIÓN.....	76
VI. CONCLUSIONES.....	80
VII. RECOMENDACIONES	81
REFERENCIAS.....	82
ANEXOS.....	86

Índice de tablas

Tabla 1 Composición química de la ceniza de madera.	16
Tabla 2 Composición química y física de la cal.	16
Tabla 3 Clasificación de suelos arcillosos Norma ASTM. D4318-84.	18
Tabla 4 Clasificación de Suelos según la Norma ASTM D42.....	20
Tabla 5 Clasificación de categorías de la Subrasante.....	21
Tabla 6 Representación geométrica de diseño factorial 23	27
Tabla 7: Cantidad de ensayos para el grupo patrón.	36
Tabla 8 Cantidad de ensayos para el grupo experimental.....	36
Tabla 9 Diseño Factorial para las variables.....	36
Tabla 10 Diseño experimental en % para variables.....	37
Tabla 11: Diseño de Mezcla para Límites de Atterberg C-1.	38
Tabla 12: Diseño de Mezcla para Límites de Atterberg C-2.....	38
Tabla 13: Diseño de Mezcla para Límites de Atterberg C-3.....	39
Tabla 14. Diseño de Mezcla para Proctor Modificado C-1.....	39
Tabla 15 Diseño de Mezcla para Proctor Modificado C-2.....	40
Tabla 16 Diseño de Mezcla para Proctor Modificado C-3.....	40
Tabla 17. Diseño de Mezcla para CBR C-1.....	41
Tabla 18 Diseño de Mezcla para CBR C-2.....	41
Tabla 19 Diseño de Mezcla para CBR C-3.....	42
Tabla 20 Ensayos que se someterán al Laboratorio.....	43
Tabla 21 <i>Distribución de partículas</i>	53
Tabla 22 Análisis por tamizado.....	53
Tabla 23 Muestras y grupo para el ensayo de Límites de Atterberg.....	55
Tabla 24 Índice de Plasticidad – Límites de Atterberg.....	56
Tabla 25 Máxima densidad seca.....	58
Tabla 26 Óptimo contenido de humedad.....	58
Tabla 27 Máxima Densidad Seca (gr/cm ³).	59
Tabla 28 Grupos Experimentales para CBR.	61
Tabla 29 California Bearing Ratio.	61
Tabla 30 Prueba de normalidad (Anderson Darling – AD).....	63
Tabla 31 Prueba de normalidad Shapiro Wilk.....	64
Tabla 32 Prueba de Tukey del CBR.	65

Tabla 33 Medias para los diseños de CBR.	66
Tabla 34 Prueba de normalidad (Anderson Darling – AD).....	68
Tabla 35 Prueba de normalidad Shapiro Wilk.....	69
Tabla 36 Prueba de Tukey del Proctor Modificado.	70
Tabla 37 Medias para los diseños de Proctor Modificado.....	70
Tabla 38 Prueba de Normalidad Anderson Darling – AD.....	72
Tabla 39 Prueba de normalidad Shapiro Wilk.....	73
Tabla 40 Prueba de Tukey del CBR.	74
Tabla 41 Medias para los diseños de CBR.	75

Índice de figuras

<i>Figura 1</i> Ubicación de localidad Jicamarca.....	5
<i>Figura 2</i> Ciclo de las rocas.....	13
<i>Figura 3</i> Transición de mezcladores	13
<i>Figura 4</i> Suelo arcilloso	14
<i>Figura 5</i> Cenizas de madera	15
<i>Figura 6</i> Cal en polvo.....	17
<i>Figura 7</i> Suelos arcillosos	19
<i>Figura 8</i> Representación geométrica para el diseño factorial.....	27
<i>Figura 9</i> Elección del método estadístico.....	28
<i>Figura 10</i> Elección para crear el diseño factorial	28
<i>Figura 11</i> Creación de diseños y corridas	29
<i>Figura 12</i> Elección de 3 factores para el diseño factorial	29
<i>Figura 13</i> Creación del diseño factorial	30
<i>Figura 14</i> Identificación de factores.....	30
<i>Figura 15</i> Elección de características para diseño factorial	31
<i>Figura 16</i> Dosificación para las variables.....	31
<i>Figura 17</i> Levantamiento de datos.....	44
<i>Figura 18</i> Tramo crítico.	45
<i>Figura 19</i> Excavación de Calicata	45
<i>Figura 20</i> Excavación de Calicatas	45
<i>Figura 21</i> Excavación de Calicata	46
<i>Figura 22</i> Excavación de Calicata	46
<i>Figura 23</i> Cal, cenizas de madera y suelo arcilloso.	46
<i>Figura 24</i> Combinación de muestras	47
<i>Figura 25</i> Combinación de muestras.	47
<i>Figura 26</i> Tamizado para suelo.	47
<i>Figura 27</i> Tamices para suelo fino.	47
<i>Figura 28</i> Tamizado para Límites de Atterberg.	48
<i>Figura 29</i> Lavado de material.....	48
<i>Figura 30</i> Copa casa grande.	48
<i>Figura 31</i> Masa (g) para Límites de Atterberg.....	48
<i>Figura 32</i> Masa para Límite plástico	49

<i>Figura 33</i> Límite plástico.	49
<i>Figura 34</i> Ensayo para Límite Líquido.	49
<i>Figura 35</i> Ensayo para Límites Líquido.	49
<i>Figura 36</i> Tamizado para Proctor Modificado.....	50
<i>Figura 37</i> Distribuyendo en 5 capas.....	50
<i>Figura 38</i> Colocación de la 1ra capa.....	50
<i>Figura 39</i> Compactando las 5 capas.....	50
<i>Figura 40</i> Suelo compactado.....	51
<i>Figura 41</i> Muestras para secar en el horno.	51
<i>Figura 42</i> Curva Granulométrica.....	54
<i>Figura 43</i> Tamizaje de suelo arcilloso.....	54
<i>Figura 44</i> Índice de Plasticidad.	56
<i>Figura 45</i> Muestras colocadas en el horno.	57
<i>Figura 46</i> Óptimo Contenido de Humedad.....	59
<i>Figura 47</i> Máxima densidad seca.....	60
<i>Figura 48</i> Ensayo de Proctor Modificado.	60
<i>Figura 49</i> Resultados del CBR.....	62
<i>Figura 50</i> Prensa CBR.	62
<i>Figura 51</i> Gráfica de Normalidad Anderson Darling.....	64
<i>Figura 52</i> Análisis de varianza de CBR.	65
<i>Figura 53</i> Gráfica de medias del CBR.	66
<i>Figura 54</i> Diagrama de Pareto de CBR.....	67
<i>Figura 55</i> Gráfica de Normalidad Anderson Darling (AD).....	68
<i>Figura 56</i> Análisis de varianza de Proctor Modificado.	70
<i>Figura 57</i> Gráfica de medias del Proctor Modificado.....	71
<i>Figura 58</i> Diagrama de Pareto del Proctor Modificado.....	71
<i>Figura 59</i> Gráfica de Normalidad Anderson Darling (AD).....	73
<i>Figura 60</i> Análisis de varianza de CBR.....	74
<i>Figura 61</i> Diagrama de Pareto de Proctor Modificado.....	75

Índice de abreviaturas

C.B.C.A.	: Ceniza de Bagazo de Caña de Azúcar.
C.B.R.	: California Bearing Ratio.
C.D.A.	: Ceniza de Arroz.
C.D.C.	: Ceniza de Carbón.
C.M.F.	: Ceniza de Madera de Fondo.
E.D.S.A.	: Estabilización de Suelos Arcillosos.
I.P.	: Índice de Plasticidad.
L.C.	: Límite de Consistencia.
L.L.	: Límite Líquido.
L.P.	: Límite Plástico.
M.C.S.S.P.	: Manual de Carreteras Sección de Suelos y Pavimentos.
M.D.S.	: Máxima Densidad Seca.
M.E.M.	: Manual de Ensayos de Materiales.
M.S.G.G.P.	: Manual de Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos.
M.T.C.	: Ministerio de Transportes y Comunicación

Resumen

La presente investigación propone el uso y aprovechamiento de las cenizas de madera y cal, con el objetivo de la estabilización de suelos arcillosos a nivel de subrasante para pavimentos urbanos.

La metodología utilizada fue el hipotético-deductivo, de tipo aplicada, con un diseño experimental y un nivel correlacional, la población fue de 8 grupos muestrales, teniendo como muestra 24 unidades para cada ensayo realizado, en donde, se realizó el ensayo de California Bearing Ratio (C.B.R), Proctor Modificado y Límites de Atterberg, para evaluar las propiedades mecánicas y físicas del suelo arcilloso con las respectivas adiciones y grupo patrón.

Por lo tanto, se concluyó que con la adición del grupo experimental 6, 92% Suelo arcilloso + 6.5% cal + 2.5% ceniza de madera, tiene el mayor beneficio teniendo una incidencia significativa en la estabilización del suelo arcilloso, mediante la evaluación de las propiedades mecánicas y físicas, se obtuvieron los respectivos valores, en primer lugar, del ensayo de California Bearing Ratio (C.B.R) un valor de 19.133%, respecto, al ensayo de Proctor modificado, tuvieron un valor de máxima densidad seca de 1.85 g/cm^3 , y por último, respecto al ensayo de Límites de Atterberg se obtuvo un índice de plasticidad de 9.667%, en comparación con los resultados del grupo patrón se obtuvo un gran mejoramiento de gran alcance.

Palabras clave: cenizas, cal, estabilización, suelo arcilloso, propiedades mecánicas.

Abstract

This research proposes the use and exploitation of wood ash and lime, with the objective of stabilising clayey soils at the subgrade level for urban pavements.

The methodology used was the hypothetical-deductive, applied type, with an experimental design and a correlational level, the population was of 8 sample groups, having as sample 24 units for each test carried out, where, the California Bearing Ratio (C.B.R), Modified Proctor and Atterberg Limits tests were performed, to evaluate the mechanical and physical properties of the clay soil with the respective additions and a standard group.

Therefore, it is concluded that with the addition of the experimental group 6, 92% clayey soil + 6.5% lime + 2.5% wood ash, indicate significantly in the stabilization of clayey soils, by evaluating the mechanical and physical properties, the respective values were obtained, first, the California Bearing Ratio test (C.B.R) a value of 19.133%, with respect to the modified Proctor test, had a maximum dry density value of 1.85 g/cm³, and finally, with respect to the Atterberg Limits test, a plasticity index of 9.667% was obtained, in comparison with the results of the standard group, a great improvement of great scope was obtained.

Keywords: ashes, lime, stabilization, clayey soil, mechanical properties.

I. INTRODUCCIÓN

A nivel mundial el término “suelo” es considerado el material de construcción más usado por los ingenieros ya que es base fundamental en todo proyecto de construcción por ende tendrá que cumplir con ciertas características físicas y mecánicas. El suelo tiene propiedades como la resistencia, durabilidad, permeabilidad y estabilidad volumétrica, la interacción del suelo es de gran importancia para la ingeniería ya que es un elemento portante para la cimentación y cada que esta recibe las cargas hacia el terreno los daños que se generen va depender de las propiedades del terreno de soporte ante las cargas aplicadas sobre este, la pérdida de resistencia del suelo de soporte conlleva daños severos en infraestructuras civiles (Rivera, et al., 2020).

Ante ello, los suelos arcilloso en Colombia en muchas ocasiones presentan deficientes características para el desarrollo de proyectos de ingeniería civil en la rama de la infraestructura vial, debido a que, tiene una baja resistencia, altas deformaciones e índice de plasticidad, por tal razón, presenta una resistencia inadecuada y padecen de desgaste a corto plazo, debido a esto, ocasiona costos elevados de reparación de la vías de infraestructura vial, por tal razón, el tratamiento del suelo se define como una estabilización, puesto que, mejora sus características de estabilidad, durabilidad y resistencia, ante ello, existe un material que históricamente se utilizó en la construcción de las pirámides, la construcción de vías y para la construcción de la Muralla china, principalmente en los años 1950 la cal se convirtió en un componente muy importante para el mejoramiento de suelos arcillosos (Parra, 2018).

En Costa Rica la subrasante está conformada por suelos con alto índice de plasticidad en gran parte del país, debido a sus características geológicas. Las subrasantes que son parte del cimiento para rutas pavimentadas o no pavimentadas (lastre y tierra) tendrán la superficie en contacto directo con las cargas que generan el tránsito de vehículos, pero el alto índice de plasticidad, la humedad y la constante deformación plástica ante las cargas tiene un efecto negativo en estos suelos ya que les da una baja capacidad mecánica. (Arrieta, 2010).

A nivel nacional, según la estadística del M.T.C. (2014) el 89.9% de la red vial departamental o regional no se presentan asfaltadas, así mismo el 99% de la red rural no tiene pavimentación o se considera en estado crítico, ya que, los suelos en estas zonas muestran alta inestabilidad, por tal razón, es la situación de San Juan de Jicamarca, este tipo de suelo presenta alta cantidad de arcilla, la cual, se debe mejorar empleando el método de la estabilización, en la que consiste en usar C.M.F originadas en las ladrilleras artesanales, en la E.D.S.A.

El Perú es una nacional de una enorme diversidad de suelos, puesto que, dentro de esta gran diversidad se encuentran los suelos arcillosos, los cuales, en su estado natural no son idóneos para su uso en la construcción de infraestructuras viales, puesto que, sus características físicas y mecánicas son deficientes, tal cual, muchas veces su tamaño de grano, plasticidad o capacidad de carga no están sujetas a cumplir las mejores condiciones de uso, es por ello, que no es un material apropiado para la ejecución de proyectos de construcción de carreteras (López, 2021) .

A nivel local, en el distrito de Lurigancho-Chosica, dispone de un suelo común, denominado arcilla de acuerdo con la clasificación S.U.C.S, es por ello, que su suelo tiene presencia de mala calidad, ante ello, cuando ocurre lluvias es complejo movilizarse por la localidad de San Juan de Jicamarca, debido a que, no se encuentran pavimentadas y esto genera malestar en los pobladores. Es por ello que la investigación pretende determinar la influencia de las cenizas de madera de fondo y cal en la E.D.S.A, y así posteriormente, de tal forma poder pavimentar calles de dicha asociación y mejorar el estilo de vida de los pobladores.

1.1. Planteamiento del problema

Problema general

¿Cómo las cenizas de madera y cal podrían estabilizar los suelos arcillosos en una subrasante para pavimentos urbanos?

Problemas secundarios

- ¿Con una proporción definida de cal y cenizas se podría mejorar el CBR en suelos arcillosos?

- ¿Con una proporción definida de cal y cenizas de madera se podrá mejorar la capacidad de compactación?
- ¿Con una proporción definida de cal y cenizas de madera cuánto altera el índice de plasticidad del suelo?

1.2. Objetivos

Objetivo general:

Estabilizar suelos arcillosos en una subrasante para pavimentos urbanos mediante las cenizas de madera y cal.

Objetivos secundarios:

- Mejorar el CBR en suelos arcillosos mediante una proporción definida de cal y cenizas de madera.
- Mejorar la capacidad de compactación en suelos arcillosos con una proporción definida de cal y cenizas de madera.
- Alterar la índice plasticidad en suelos arcillosos con proporción definida de cal y cenizas de madera.

1.3. Justificaciones

Justificación teórica:

El desarrollo de esta investigación justificará teóricamente la mejoría de las condiciones del suelo (propiedades mecánicas y físicas) con la adición de conglomerantes como la cal y cenizas de madera logrando aumentar la resistencia a compresión, variabilidad del índice de plasticidad y capacidad de soporte a cargas verticales para garantizar la estabilización requerida.

Justificación técnica:

Esta investigación tendrá como justificación técnica los resultados favorables que va dar la adición de aglomerantes al suelo natural, y este contenido cumpla con los estándares de ingeniería ofreciendo una alternativa aplicable en campo.

Justificación social:

Esta investigación se justificará socialmente debido al beneficio que van a recibir los pobladores con el flujo vehicular, reduciendo el tiempo de traslado y también

económicamente a las ladrilleras artesanales cercanas que generan las cenizas de maderas con la combustión de las mismas, la presente investigación es de mucha importancia ya que el anexo 8 de Jicamarca cuenta con subrasantes de tipo arcilloso que deberán ser tratados para dar inicio a la etapa de asfaltado para el pavimento.

Justificación metodológica:

En la presente investigación se va a utilizar el método experimental, realizando levantamiento de datos in situ que se va a dar en el Anexo 8 de Jicamarca, para luego ejecutar la manipulación del suelo con la incorporación de aglomerantes cal y cenizas de madera, por último, el método de observación para ver la mejora en las propiedades de compresión, resistencia y plasticidad y evaluar cuáles serán las dosificaciones que van a lograr óptima estabilización.

1.4. Hipótesis

Hipótesis general

Las cenizas de madera y cal estabilizan suelos arcillosos en subrasantes para pavimentos urbanos.

Hipótesis específicas

- Una proporción definida de cal y cenizas mejora el CBR en suelos arcillosos.
- Una proporción definida de cal y cenizas de madera mejora la capacidad de compactación.
- Una proporción definida de cal y cenizas de madera disminuye el índice de plasticidad.

1.5. Delimitaciones

Delimitación espacial

La zona donde se desarrollará la presente investigación, fue propuesta bajo las consideraciones del lugar que se va estudiar en la localidad de San Juan de Jicamarca distrito Lurigancho – Chosica y Región Lima, tal se observa en la figura1.



Figura 1 Ubicación de localidad Jicamarca
(Fuente: <http://bitly.ws/EpxH>)

Delimitación temporal

Esta investigación se va a desarrollar en un periodo de 36 semanas consecutivas, equivalente a 9 meses, iniciando desde el mes de abril y culminando en el mes de diciembre del 2023, donde se va recolectar información para proceder a realizar ensayos en laboratorio según lo que corresponda dentro de la investigación, también se va realizar trabajo de gabinete con la finalidad de obtener resultados adecuados que aporten a la búsqueda de los objetivos de esta investigación.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

Internacionales

Como antecedentes internacionales se tiene a Putra, et al. (2022) en su artículo de revisión titulado “Effectiveness of waste paper ash for stabilization on clay soil” (“Eficacia de la ceniza de papel usado para la estabilización en suelos arcillosos”) tiene como objetivo estudiar la estabilización de suelos arcillosos con la adición de cenizas de papel reciclado usando como método de investigación la recolección de papel usado ya sea de actividades domésticas e industriales para luego quemarlo. Se realizó 4 muestras S+0% CP, S+5%CP, S+10%CP, S+15%CP para la prueba de hinchamiento se realizó el espécimen con suelo compactado y cantidad de humedad con 3 días de curado, para la R.C.C. se estudió espécimen de suelo y suelo con la adición de C.P. y se dejó 3 días de curado llegando la conclusión que el índice de plasticidad va reduciendo según va agregando el porcentaje de ceniza al suelo ya que está disminuyendo el límite líquido (LL), también el potencial de hundimiento va reducir según va aumentando el contenido de cenizas , para la resistencia a la compresión los mejores porcentajes para utilizar son 5% y 10% respondiendo a 105kPa y 340 kPa respectivamente caso contrario con 15% reduce ligeramente a 250kPa.

Karami et al.(2021) en su respectivo artículo científico que tiene como título “Influence of the addition of fly ash for the stabilization of clay soils” tiene el principal objetivo de determinar la influencia de las cenizas volantes en la estabilización del suelo arcilloso mediante la adición en porcentajes de S+ 7.5% de ceniza volante y S+15% de ceniza volante, se realizaron ensayos de límites de Atterberg, proctor modificado y C.B.R, respectivamente a través de los ensayos se vio reflejado el mejoramiento respecto a las adiciones. En conclusión, los valores de mayor alcance y mayor beneficio se obtuvieron a través de la adición de S+15% de ceniza volante, obteniendo valores superlativos respecto al grupo control, asimismo estos valores fueron, respecto al índice de plasticidad de 18.8 %, una máxima densidad seca de 1.77 g/cm³ y un valor de C.B.R DE 3.20%.

Bayshakhi, et al. (2018) en su artículo de revisión titulado “Geotechnical Properties of Wood Ash-Based Composite Fine-Grained Soil” (“Propiedades geotécnicas del suelo compuesto de grano fino a base de ceniza de madera”) tienen como objetivo estabilizar el suelo con aglomerantes como la ceniza de madera, mejorando las características del suelo particularmente la resistencia a la compresión, parámetros de resistencia y trabajabilidad para el desarrollo de esta investigación se usó la metodología recolección de madera en un aserrado local para luego ser pulverizado y ser añadido en porcentajes al suelo realizando 5 muestras de las siguientes mezclas, S+0%C.M., S+5%C.M., S+7.5%C.M., S+10%C.M., S+12.50%C.M. que fueron dejadas reposando una noche a 105°C para reprimir la humedad con la finalidad de mantener la consistencia se realizó. Para obtener la estabilización del suelo se hicieron ensayos de índice de plasticidad, pruebas de compactación, pruebas UCS pruebas de corte a directo y pruebas de consolidación, las mezclas de estabilización se mezclaron con agua durante 10 minutos a mano para luego ser colocadas en bolsas para que pasen por las pruebas Proctor, de gravedad específica, límite de atterberg llegando a la conclusión que la mezcla S+10%CM aumenta en la R.C.C. es proporcional al porcentaje (%) de ceniza. La ceniza de madera reduce la plasticidad y densidad seca máxima de la arcilla, aumenta la resistencia a compresión con en el incremento de ceniza 10% optimiza el resultado, mejora los parámetros de resistencia al corte con el incremento del 10% de ceniza el A.F. mejora en un 85%, mientras que el ángulo de cohesión solo mejora en un 6% con la adición de ceniza del 10%, el índice de compresión fueron disminuyendo con los aumentos del contenido de cenizas de madera y la relación de vacíos aumentó para el suelo con la adición de cenizas.

Arrieta et al. (2010) en su artículo de revisión titulado “Efecto de la cal en la estabilización de subrasantes” tiene como Objetivo evaluar el efecto de la cal adicionando materiales finos de media o alta plasticidad como metodología se van a tener muestras de S+2%C, S+4%C, S+6%C, S+8%C para hallar el contenido de cal más bajo al cual se logra un pH de aproximadamente 12,4, humedad optima del suelo y máxima densidad seca de la mezcla del suelo y cal mediante el procedimiento Proctor Modificado, para determinar la compresión inconfiada y durabilidad se va utilizar 3 muestras con el triple de mezcla S+C para cada ensayo

y deberá tener un curado de 28d a 23 °C llegando a la conclusión con la adición de cal progresivamente también se va obteniendo mejores resultados, ha logrado mejorar significativamente las propiedades del suelo, para los resultados del ensayo de compresión inconfiada se ve mejores resultados cuando la cal contiene mayor OCa y OMg, el porcentaje estabilizador será S+6% permiten transformas un material de alta plasticidad y muy susceptible a deformarse en un material con propiedades que permita ser utilizado como sub base inclusive como base.

Abdalla y Salih (2020) en su artículo de revisión titulado “Hydrated lime effects on geotechnical properties of clayey soil” (“Efectos de la cal hidratada sobre las propiedades geotécnicas de suelos arcillosos”) tiene como objetivo indagar las influencias de cal hidratada en los suelos arcillosos del norte de Irak, mejorando sus propiedades de consistencia, compactación y resistencia al corte de muestras para el desarrollo del método de investigación se utilizó 5 muestras mezcladas S+0%CH, S+2.5% CH, S+7.5%CH, S+10%CH, luego se agregó agua y se colocaron en recipientes impermeables durante 24h para posibilitar su maduración y homogeneidad, para evaluar la varianza del I.P. del suelo se dejó secar al aire y se tamizó para luego agregarse cal hidratada + agua desionizada dejando a 24h a temperatura de ambiente para determinar M.D.D. y el O.M.C. se usó agua desionizada, para para realizar dos series de compactación, la primera para determinad los parámetros naturales de compactación (OMC y MDD) en suelo natural, en la segunda serie se ha compactado la mezcla S+CH, para la prueba de compresión no confinada se tomó como densidad seca de campo (1,56 g/cm³) y el contenido de humedad natural (18.68%) fueron los datos elegidos para preparar las muestras de prueba de compresión no confinada esta investigación llegó a la conclusión la mezcla S+10%CH es el mejor porcentaje para estabilizar suelos arcillosos, con esta mezcla el L.L. y el I.P. se logró reducir significativamente en un 28% y 73% respectivamente no sucedió lo mismo con el límite plástico ya que aumentó ligeramente en un 6%, mejoró la densidad seca máxima en un 13% del suelo estabilizado y logró reducir el C.H. en un 37%, pero el CB.R. confinada aumentó en un 81%.

Deepak et al. (2020) en su artículo científico “Stabilization of clay soils with fly ash” tiene como objetivo principal determinar la influencia de las cenizas volante y cal en

el suelo arcilloso, se utilizó diferentes dosificaciones tales como, S+ 0% de ceniza volante + 0% cal, S+ 1% ceniza volante + 4% cal, S+ 2% ceniza volante + 4%, se desarrolló ensayos de límites de Atterberg, resistencia de compactación y CBR para mejorar la las propiedades y características del suelo mediante las respectivas adiciones. En conclusión, de obtuvo el mayor beneficio respecto a los ensayos que se realizaron con la adición de S+ 2% ceniza volante +4 % cal.

Behak y Peres (2008) en su artículo de revisión “Caracterización de un material compuesto por suelo arenoso, ceniza de cáscara de arroz y cal potencialmente útil para su uso en pavimentación” tiene como objetivo estudiar la mejoría de las propiedades del suelo con la adición CCA y cal al suelo arenoso para el método que va desarrollar se van usar tres mezclas con diferentes dosificaciones, S + 15%CCA+5%Cal, S+20%CCA+5%Cal, S+20%CCA+10%Cal, esta última mezcla luego de ser homogeneizada con el agua se compactó y adaptó a los parámetros óptimos del ensayo Proctor normal, las mezclas se dejaron días de curado según el ensayo para permitir las reacciones alcalinas, estas reacciones se dan mediante difracto gramas de rayos x para el CBR se utilizó la última mezcla (S+20%+10%Cal) con 28 días de curado siendo saturadas durante 96 horas. Para evaluar la resistencia a la compresión confinada se utilizaron las probetas curadas 7, 14, 28 y 56 días, para la resistencia a la tracción por compresión diametral se hizo el análisis para las muestras 14, 28 y 56 días de curado teniendo como conclusiones, la mezcla S+20%CCA+10%Cal con 28 días de cura aumentó significativamente el CBR dando como resultado 25% de CBR afirmando que puede ser usado para subbase de pavimentos, La RCI de las mezclas van a ser directamente proporcionales al contenido de CCA + Cal + el tiempo de cura siendo su máximo valor 276kPa a la mezcla S+20%CCA+10%Cal con 56 día de curado, la RCD también va ser directamente proporcional al contenido CCA+Cal+ el tiempo de cura siendo su máximo valor 95kPa a la mezcla S+20%CCA+10%Cal con 56 días de cura, los difracto gramas de rayos x afirman que después de veintiocho días de curado se forman con características puzolánicas..

Nacionales

Asimismo, se tiene como antecedentes nacionales a Labajos y Nuñez (2020) en su artículo de revisión titulado “Estabilización de suelos con cenizas de carbón para uso como subrasante mejorada” tiene como objetivo conocer cuál será la influencia de la C.D.C. producido por la quema de carbón (mineral y vegetal) proveniente de las ladrilleras aledañas a la localidad en la estabilización para suelo arcilloso a nivel de subrasante, las muestras pasaran por los siguientes ensayos; L.C., Proctor estándar y C.B.R., además, para el desarrollo del método de investigación se utilizaron las siguientes muestras C.D.C con estas porcentajes 15%, 20% y 25%, ante ello, se conocerá que se tienen como suelo CH y OH, en conclusión, se determinará que el porcentaje adecuado es el de 25% de C.D.C proporcionando una mejoría en las características de la subrasante de los suelos tanto para las calicatas 1 y 2, presentando mayor incremento para los valores de C.B.R. en base a la muestra de suelo natural, puesto que se alcanza un para la calicata 1 un CBR de 3.5% y para la calicata 2 un CBR de 3.7%.

Delgado y Mormontoy (2021) en su investigación que tiene como título “Estabilización de suelos arcillosos con adición de ceniza de mazorca de maíz y cal” tiene como objetivo principal determinar la incidencia de la ceniza de mazorca de maíz y cal en el suelo arcillo, tiene la finalidad de mejorar las propiedades físicas y mecánicas del suelo con características muy negativas, se realizó ensayos de límites de consistencia, Proctor modificado y CBR, con las adiciones respectivas de S + 5% de Cal, S + 5% de Cal + 1% de CMM, S + 5% de Cal + 2% de CMM, y S + 5% de Cal + 3% de CMM, donde se realizó en total 72 ensayos de laboratorio. En conclusión, se obtuvo el mayor beneficio con la adición de S+5% de Cal + 3% de CMM respecto a los ensayos realizados, principalmente tuvo una incidencia significativa en el valor del CBR respecto al grupo patrón.

Montejo et al. (2020) en su artículo de revisión titulado “Materiales alternativos para estabilizar suelos: el uso de ceniza de cáscara de arroz envías de bajo tránsito de Piura” tiene como objetivo buscar la información de la reacción de la C.D.A. en los suelos arcillosos para la estabilización de la subrasante de un pavimento, el estudio estará basado en un tipo de teoría practica con un nivel descriptivo donde estará conformado por la revisión 7 artículos actualizados, puesto que, se identificara que

tuvieron en común la aglomeración de la C.D.A. para mejorar la estabilización del suelo, además, con los datos alcanzados se determinará que se alcanza con la sumade 4% de C.D.A. un CBR de 4.85 % y con la adición de 7 % se alcanza un CBR de 7.8%. En conclusión, el porcentaje que se debe adicionar al suelo arcilloso para la estabilización y obtener un CBR adecuado es 7%, en cambio si se le aumenta el porcentaje su resultado será todo lo contrario.

Ayala et al. (2019) en su artículo de revisión titulado “Estudio del efecto de adición de ceniza proveniente de ladrilleras artesanales en la estabilización de suelos arcillosos para pavimentos” cuyo objetivo evaluará el efecto que aportará la inclusión de cenizas, provenientes de la combustión de la madera y el carbón, en el comportamiento mecánico de un suelo arcilloso, además, para el método que va desarrollarse se van usar 4 mezclas con diferentes dosificaciones, Suelo + 0% de CFLA, Suelo + 10% de CFLA, Suelo + 20% de CFLA, Suelo + 30% de CFLA, Suelo + 40% de CFLA, ante ello, se realizará análisis de difracción de rayos X para la caracterización química de ambos materiales. pruebas de compactación Proctor modificado, C.B.R., por tal, que con los datos alcanzados se determinará su difracción de rayos X en donde indica que es un material con características puzolánicas, también se podría decir que puede conformar compuestos cementantes, ya que presenta SiO₂ en su composición, además, el CBR con 20 % alcanzará el máximo incremento el cual será de 9.5%, se obtendrá una disminución de la MDS al aumento de la cantidad de ceniza en la mezcla, puesto que, al decrecer la M.D.S. se observa hasta alcanzar un 20% de ceniza en la mezcla, ya con 30% y 40% de ceniza la máxima densidad seca tiene una tendencia a aumentar. En conclusión, se establecerá que para este tipo de suelo el porcentaje de ceniza óptimo para alcanzar el mejor comportamiento mecánico está alrededor de 20%.

Peralta (2020) en su investigación que tiene por título “Mejoramiento de la subrasante de baja capacidad de soporte a través de la incorporación de la ceniza de gallinaza” tiene como finalidad estabilizar suelo de baja C.B.R. utilizando la ceniza de gallinaza como alternativa para el mejoramiento de la subrasante, ante ello, se establecerá incorporar los porcentajes de cenizas de gallinaza de 2.0%, 4.0% y 8.0% del peso del suelo para la evaluación de sus propiedades físicas y

mecánicas, este influyo también al adicionar la ceniza de gallinaza en su clasificación logrando así un suelo de subrasante como CH, A-7-6 (25), ante esto, en las propiedades físicas los resultados no fueron favorables esto implicó el aumento de sus límites líquido y límites plásticos, además se obtendrán que con 4 % se obtendrá un CBR de 9.7% mejorando sus propiedades mecánicas del suelo, en conclusión, con el porcentaje de 4% se obtendrá el mayor CBR, dado que, con estará cumpliendo el parámetro según la categorización del M.S.G.G.G.P. del MTC, que nos indica que ($6\% \leq \text{CBR} < 10\%$), corresponde a una subrasante regular.

Castillo (2022) en su investigación que tiene por título “Uso de ceniza de bagazo de caña de azúcar para la estabilización en la carretera Santiago de Cao – Huanchaco, 2021” tiene como objetivo lograr estabilizar al suelo con la adición C.B.C.A., para ello, se establecerá incorporar los porcentajes de C.B.C.A. de 1.0%, 2.0% y 3.0% respecto al contenido de muestra del suelo para poder conocer la estimación de sus propiedades, en este estudio se pasaran por los siguientes ensayos; Proctor estándar, L.C., y C.B.R., como conclusión ya que se cuentan con todos los datos especificados se obtendrán un aumento significativo con el 3% (S.N. + 3% C.B.C.A.) con el aumento del C.B.R. hasta un 102.40%, máxima densidad seca 2.09% y óptimo contenido de humedad de 7.40%, por ende se logró mejorar las propiedades mecánicas de este suelo y el mejor porcentaje estabilizador será 3% C.B.C.A.

2.2. Teorías relacionadas

Teoría de las rocas

La teoría del neptunismo indica que el origen de las rocas se habría dado por la cristalización de minerales en los océanos, los estratos rocosos primitivos se formaron por la precipitación química de sustancias sólidas, dando origen a granitos, gneis, esquisto, etc. La filtración hacia el interior del planeta o evaporación de las aguas hizo que se origine un segundo tipo de terreno, denominado transición, que se han dado como consecuencia de la precipitación química y procesos mecánicos de sedimentación, conformados por calizas, doleritas, etc. estos son terrenos mencionados son con escasos fósiles, sucesivamente se formaron los lignitos y basaltos con terrenos en abundancia de fósiles, también se formaron

sedimentos poco cohesionado, como arcillas y areniscas y por último se superpusieron los materiales volcánicos, como lavas y tobas. En la figura 2 se muestra el origen y ciclo de las rocas.

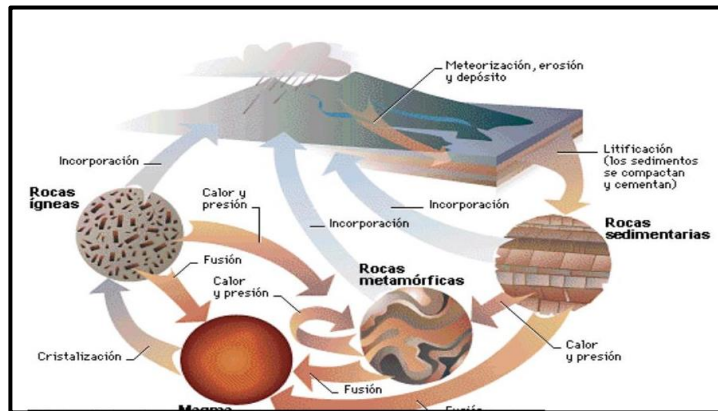


Figura 2 Ciclo de las rocas
Fuente: <http://bitly.ws/EpEZ>

Teoría de las mezclas y dosificación

Hace mucho tiempo se utilizaban una especie de tambores para mezclar los aditivos con materiales vírgenes y remolido, eran de grandes imprecisiones e ineficiencias, pero no había otra alternativa, más tarde se adjuntaron las válvulas a cargadores de vacío y receptores para crear capas por tiempo de carga de material triturado y virgen en proporciones muy gruesas. Con el pasar del tiempo la industria se desarrolló y demandaron de procesadores más grandes y con mayor precisión que mezclaran y homogenizaran ingredientes de mayores cantidades, esta necesidad dio origen a la mezcladora volumétrica para posteriormente crear los mezcladores gravimétricos podían mezclar hasta 4 componentes utilizando dos válvulas de corredera y dos tornillos alimentadores. En la figura 3 se observa la transición de mezcladores.



Figura 3 Transición de mezcladores
Fuente: <http://bitly.ws/EpF9>

Teoría de la arcilla

La arcilla es un suelo o roca sedimentaria que está compuesto por silicatos de aluminio hidratados, este tipo de suelo es producto del envejecimiento de la superficie de la tierra, por ende, es de material corriente y abundante en la naturaleza, tiene como presentación tierra arcillosa que puede tener origen de la alteración de la roca magmática o metamórfica y después dar arcillas detríticas, también puede proceder de una reorganización mineralógica durante la diagénesis.



Figura 4 Suelo arcilloso
Fuente: <http://bitly.ws/EqeE>

2.3. Bases teóricas

Cenizas de madera de fondo

Las cenizas de madera son el residuo de la quema del eucalipto producido en ladrilleras artesanales, las cenizas de fondo con un tamaño menor a 0.075 mm, estas cenizas tendrían una etapa terminal en un botadero contaminando el medio ambiente sin embargo en esta investigación se va a utilizar como aglomerante para estabilizar suelos arcillosos (Brandan, 2020, p.14). En la figura 5 se observa el residuo de la combustión de madera, cenizas de madera.



Figura 5 Cenizas de madera
Fuente: <http://bitly.ws/EpFq>

Cenizas de madera de fondo

Actualmente en el país existen 2000 hornos funcionando aproximadamente que se dedican a la fabricación de ladrillos artesanales, además, las principales ladrilleras de Lima se encuentran en el distrito de Lurigancho-Chosica, por ello, la obtención de dicho material como la ceniza de madera de fondo es la parte más gruesa de ceniza, esta ceniza se acumula en el fondo del horno y es producto de la incineración del carbón y la madera, este material cae hasta el fondo del horno y se separa manualmente, abarcando la mayor parte 60% del total de las cenizas. (Espino, 2021, p.28).

Propiedades físicas de la ceniza de madera de fondo

Tienen en su estructura moléculas de forma angular, la cual se visualiza una textura muy porosa y áspera en su superficie, la dimensión de la partícula interviene en gravas finas y arena fina, con un bajo índice de finos, ya que, mayormente en un material clasificado en que se establece la dimensión de arena fina (Alanya, 2020, p.33).

Propiedades químicas de la ceniza de madera de fondo

Tiene una estructura química similar a la ceniza volante como se puede visualizar en la tabla N° 1. Estas se clasifican por su componente primordial, en silíceas, en caso de SiO_2 o calcáreas, en caso de CaO . Para determinar con mayor precisión su composición química se debe realizar el Ensayo de Difracción de Rayos X. (Alanya, 2020, p.33).

Tabla 1 Composición química de la ceniza de madera.

COMPONENTES	CANTIDAD %
silice (SiO ₂)	49.19
óxido de aluminio	26.18
óxido férrico	14.63
óxido de magnesio	1.13
óxido de calcio (CaO)	5.84
trioxido de azufre	0.58
óxido de sodio	1.52
cloruros	TRAZAS
óxido de potasio	0.77
perdida de calcinación	1.27
residuo insoluble	77.31

Fuente: Alanya (2021)

Cal

Es un material aglomerante hidráulico con la finalidad de unir diferentes sustancias a través de su reacción química, puesto que, la cal es producto de la calcinación de las rocas calizas, además, es un material sólido que tiene color blanco y P.E de 3300 Kg/m³, por ello, su utilidad se ha extendido para la mejora de suelos blandos, estabilizándolos para la construcción de vías (López y Ortiz, 2021. p.28). En la tabla 2 indica cómo está compuesto la cal química y físicamente.

Tabla 2 Composición química y física de la cal.

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS DE LA CAL	
Fórmula	CaO
Color	Blanco
Densidad	3300 kg/cm ³
Estado de agregación	Sólido
Masa molar	56.10 g/mol
Punto de fusión	2927°C
Solubilidad en agua	Reacciona

Fuente: López y Ortiz (2021)

Obtención de la Cal

Se obtiene del proceso de calcinación de rocas calizas a altas temperaturas 800 a 900°C y constituido por CaO óxido de calcio, puesto que, se visualiza de dos formas en grano o polvo (López y Ortiz, 2021. p.28). En la figura 6 se observa a la presentación de cal en polvo.



Figura 6 Cal en polvo
Fuente: <http://bitly.ws/EpGr>

Subrasante

Es la capa que está debajo de las capas de afirmado y sobre el terraplén, tiene como función recepcionar las cargas transferidas en el pavimento y transmitir las hacia las capas inferiores, si la subrasante es de óptima calidad las siguientes capas tendrán menor espesor (Gamarra, 2022. p.21).

Estabilización de suelos

La estabilización consiste en mejorar los mismos suelos, respecto a la resistencia mecánica y permanencia adecuada de sus propiedades con el pasar de los años, existen muchas técnicas y se proporcionan desde la adición de un material estabilizante, ante ello, cualquier mecanismo utilizado, le sigue el proceso de compactación (M.T.C., 2014).

Suelos arcillosos

El suelo arcilloso está compuesto por arcilla color amarillento en mayor cantidad con textura pesada cuando está en estado seco y pegajosa cuando está húmedo, estos suelos tienen baja resistencia debido a su alto contenido de humedad, sus partículas tienen tamaños de 0.002 mm. en algunos casos entre 0.002 y 0.005 mm, además, para determinar el tamaño adecuado de cada una de sus partículas, se establecerá según lo que indica en la Tabla N° 3 y el índice de flexibilidad para la propiedad del tipo de superficie arcilloso. (Villalta y Chang, 2020, p.19).

Tabla 3 Clasificación de suelos arcillosos Norma ASTM. D4318-84.

ÍNDICE DE PLASTICIDAD	CARACTERÍSTICAS
IP>20	Suelos muy arcillosos
20>IP>10	Suelos arcillosos
10>IP>4	Suelos poco arcillosos
IP=0	Suelos exentos de arcilla

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicación (2016)

Estabilización de suelos arcillosos

Este procedimiento se va a realizar para mejorar las propiedades del suelo como las mecánicas, para esta investigación será suelo arcilloso y así pueda cumplir con los requerimientos deseados para el uso adecuado en pavimentación para esta investigación se va a estabilizar con conglomerantes cal y cenizas de madera dosificando cantidades necesarias con respecto al peso seco del suelo arcilloso (Mamani & Yataco, 2017, pág. 39). En la figura 7 se observa una calicata en suelo arcilloso.



Figura 7 Suelos arcillosos
Fuente: <http://bitly.ws/EpGC>

Límite de Atterberg

Este límite se define como el ensayo que tiene como finalidad la plasticidad del tipo de estudio suelo, además, también se encargará de encontrar el contenido de humedad para este, para poder conocer los comportamientos del L.L y L.P. y conocer la variación que se da tanto para el estado plástico y estado líquido, siendo así se determinará el I.P., se tendrá como resultado si se tiene plasticidad estable o inestable (Faisal et al, 2022, p.35).

Limite Líquido

Este límite va identificar la cantidad de humedad que contiene el suelo y se representará en porcentaje que permite el cambio de estado de un suelo, del contenido líquido a plástico o del estado plástico al líquido (Faisal et al, 2022, p.36).

Limite Plástico

Este límite hace referencia a la humedad que será representado en porcentajes de un suelo, en el cual el tipo de suelo en muestra puede cambiar de estado, así mismo es considerado como el contenido de humedad más (Faisal et al, 2022, p.36).

Índice de plasticidad

El I.P. hace referencia al intervalo de humedad que posee un suelo, en donde este tiene contenido plástico y se puede clasificar. Es así que a mayor I.P. representará al tipo de suelo muy arcilloso y al tener bajo I.P. representará a un suelo poco arcilloso (Faisal et al, 2022, p.37).

Granulometría

Para la granulometría se tiene como representación los diferentes tamaños que tienen los diferentes agregados a través del tamizado como indica en la Tabla 4, además, según las especificaciones técnicas (Ensayo MTC E107), en donde se determina, con una máxima o mínima aproximación, por lo cual, para realizar un análisis granulométrico de cualquier suelo se deberá tener en cuenta la proporción de sus diversos elementos constituyentes (MTC, 2014, pag.30).

Tabla 4 Clasificación de Suelos según la Norma ASTM D42

TIPO DE MATERIAL	TAMAÑO DE PÁRTICULAS
Grava	75mm - 2mm
Arena Gruesa	2mm - 0.2mm
Arena Fina	0.2mm - 0.05mm
Limo	0.5mm - 0.005mm
Arcilla	Menor a 0.005mm

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicación (2016)

Ensayo C.B.R. (California Bearing Ratio)

Lo define como un ensayo a determinar o estimar la capacidad de un suelo bajo las ruedas, la cual, nos indica, cuanto puede soportar una determinada estructura de infraestructura vial sometida a cargas de los vehículos, además, está determinado a estudiar la resistencia mecánica del suelo. (Polo-Mendoza, Duque y Masin, 2023, p. 30). En la tabla 5 se observa la clasificación y parámetros de subrasante.

Tabla 5 Clasificación de categorías de la Subrasante.

CATEGORÍA DE SUBRASANTE	CBR
S0: subrasante inadecuada	CBR < 3%
S1: subrasante insuficiente	De CBR ≥ 3%
	A CBR < 6%
S2: subrasante regular	A CBR < 6%
	De CBR ≥ 6%
S3: subrasante buena	De CBR ≥ 10%
	A CBR < 20%
S4: subrasante muy buena	De CBR ≥ 20%
	A CBR < 30%
S5: subrasante excelente	De CBR ≥ 30%

Fuente: Manual de suelos (2013)

Ensayo de Proctor Modificado

Lo define como un ensayo que tiene como finalidad determinar un óptimo contenido de humedad a través de humedad en grados, también se va evaluar el peso volumétrico para conocer la compactación del suelo, este proceso es denominado densidad relativa con relación al volumen, utilizando un óptimo contenido de humedad ya obtenida por otros ensayos, en este ensayo se va a dar diversos golpes que varían dentro de las cinco capas (Aucalla y Valenzuela, p.22).

Pavimentos Flexible

Los pavimentos flexibles están formados por capas de diversos materiales con características físicas y mecánicas que deberían estar diseñados para una vida útil de 20 años. Los materiales de mayor capacidad de carga se colocan en las capas superiores en las capas inferiores, el orden de capas será la carpeta asfáltica, la capa de base, y la capa de subbase estas capas están sobre el cuerpo del terraplén y este sobre el terreno natural (Zhao et al, 2023, p.14).

Diseño Factorial 2^k

El diseño factorial es el más recurrente cuando se realiza una investigación que utiliza desde 2 a más variables para que se analice los cambios que va generar al proceso. Para utilizar un diseño 2^k se debe contar con dos niveles para cada variable que podrá ser cualitativo o cuantitativo, permitiendo conocer los efectos

que tiene k variables buscando la respuesta e interacción entre ellas de una forma adecuada, así mismo se podrán realizar variadas combinaciones sea posible, para ello se dibujará una matriz de diseño en donde se usarán los signos + y – para los niveles de cada variable, se iniciara alternando los signos negativos (-) en la primera columna, en la siguiente columna se alternarán de dos signos en dos, la siguiente de cuatro en cuatro y así consecuentemente. (Fernández, 2020)

2.4. Marco normativo

El órgano rector a nivel nacional del estado peruano, M. T. C., es la autoridad para dictar las normas correspondientes, en el M.C.S.S.P. (2014) da a conocer como análisis granulométrico a la variedad de tamaños que tiene cada agregado y a través de la actividad del tamizaje se logrará diferenciar a los elementos constituyentes por la clasificación de su tamaño. Para determinar el límite de atterberg se deberá estudiar el suelo respecto al contenido de humedad que posee para el límite líquido (LL) y se establecerá de acuerdo al ensayo (M.E.M., 2016) que lleva como codificación MTC E 110 en donde indica que para establecer el L.L. se tomará una muestra de 150 – 200g que pasen por el tamiz N° 40 para ser reducidas por el método del cuarteo y mezclarse con agua destilada, para luego ser colocada en la copa y utilizando en acanalador para dividir la muestra formando una línea desde el punto mínimo hasta el punto máximo originando una ranura luego de esta actividad se va registrar el cuantos de golpes (n) se va dar para después cerrar la ranura y luego regresar el suelo al plato, lavar y secar la copa para la siguiente pruebas consecutivas de veinticinco a treinta y cinco golpes, veinte a treinta golpes y por ultimo de quince a veinticinco golpes, así mismo para determinar el L.P. se establecerá de acuerdo el ensayo (M.E.M., 2016) que lleva como codificación MTC E 111 en donde indica que para poder determinar el L. P., se tomará como muestra de 20g aproximadamente que pase por el filtro N° 40, por consiguiente se mezclará con agua destilada hasta que tome la forma de una esfera sin dejar que se pegue en los dedos siguiendo el procedimiento se va a moldear una de las divisiones en dos que vendría a ser la mitad de la esfera hasta que tome la forma de un elipsoide con la finalidad que se forme un cilindro, si previo a obtener la forma de cilindro con un diámetro 3.2 mm. Aún llegó a desmoronarse, se volverá a repetir el proceso, hasta que se desmorone y lograr reunir 6 g.

Así mismo en el M.C.S.S.P. (2014) da a conocer que para realizar el ensayo de C.B.R. se tiene que clasificar los suelos por los sistemas A.A.S.H.T.O y S.U.C.S para poder realizar el P.E. en los diferentes tramos de estudio, determinando la serie de ensayos para conocer la resistencia del suelo (CBR) con una inserción de carga de 2.54 mm. y para determinar Proctor modificado se va utilizar (M.E.M., 2016) que lleva como codificación MTC E115 en donde indica que para lograr compactar el suelo en laboratorio requerido se tendrá que utilizar una E.M. de 2700kN-m/m³, el presente ensayo va a establecer el contenido de agua respecto al P.U.S de los suelos, así mismo se deberá tener en cuenta que este ensayo solo aplicará para suelos que tengan hasta el 30% de partículas que no pasen por el tamiz de 19.00mm. por consecuente para el Proctor modificado tiene 3 métodos; método A: Al contenido de muestra que pasa a través de la malla N°4 se dividirá en cinco capas para que a cada una de ellas se le dé veinticinco golpes por cada una de las capa. Este procedimiento se va usar para que cuando máximo el 20% de la cantidad de material no pasa por la malla N°4. El siguiente procedimiento B será utilizado para material pasa por la malla de 3/8", también se formará 5 capas para dar 25 golpes por cada una de las capas. Este método se va usar cuando como mínimo el 20 % de cantidad del material no pasa por el tamiz N°4 y como máximo el 20 % de peso de la muestra no pasa por el tamiz 3/8" y por último el método C será utilizado para el material pasa por la malla de 3/4", se formará 5 capas para dar 56 golpes por cada una de las capas. Este método se usará cuando a partir del 20 % de cantidad de material no pasará por el tamiz 3/8". pero si es que el 30% del material no pasa por el tamiz 3/4".

2.5. Marco conceptual

Cenizas de madera

Las cenizas de madera son el residuo de la quema del eucalipto producido en ladrilleras artesanales, estas cenizas son divididas en dos tipos, las cenizas volantes caracterizada por su tamaño mayor a 0.075 mm y las cenizas de fondo con un tamaño menor a 0.075 mm. Estas cenizas tendrían una etapa terminal en un botadero contaminando el medio ambiente sin embargo en esta investigación se va a utilizar como aglomerante para estabilizar suelos arcillosos.

Cal

La cal proviene de un proceso de calcinación de rocas calizas a altas temperaturas 800 a 900 °C y constituido por CaO óxido de calcio. La incorporación de cal en suelos arcillosos tiene como respuesta la disminución de índice plástico ya que al mezclar suelo cal aumenta el límite líquido permitiendo la capacidad de soporte y el C.B.R.

Suelos arcillosos

Los suelos arcillosos están compuestos por arcilla color amarillento en mayor cantidad con textura pesada cuando está en estado seco y pegajosa cuando está húmedo, estos suelos tienen baja resistencia debido a su alto contenido de humedad, sus partículas tienen tamaños de 0.002 mm. en algunos casos entre 0.002 y 0.005 mm.

Subrasante de pavimentos

La estabilización de suelo es un procedimiento que tiene como objetivo la mejoría de sus propiedades mecánicas en el suelo, para este caso suelo arcilloso y así pueda cumplir con los requerimientos deseados para el uso adecuado en pavimentación. En esta investigación se va a estabilizar con aglomerantes cal y cenizas de madera dosificando cantidades necesarias con relación al peso específico del suelo.

Pavimentos Flexible

El pavimento flexible está formado por diversos materiales en sus capas características físicas y mecánicas que deberían estar diseñados para una vida útil de 20 años. Los materiales de mayor capacidad de carga se colocan en las capas superiores en las capas inferiores, el orden de capas será la carpeta asfáltica, la capa de base, y la capa de subbase estas capas están sobre el cuerpo del terraplén y este sobre el terreno natural.

Estabilización de suelos

Es un procedimiento que tiene como finalidad la mejoría de las propiedades mecánicas para el suelo, para este caso suelo arcilloso y así pueda cumplir con los requerimientos deseados para el uso adecuado en pavimentación. En esta investigación se va a estabilizar con aglomerantes cal y cenizas de madera dosificando cantidades necesarias con relación al peso específico del suelo.

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño de investigación

Tipo de investigación

Según Hernández, et. al (2014) para elegir el tipo de investigación se evaluó cada uno de los objetivos plasmados en la presente, se seleccionó grupos respecto a la variable, luego de ello estos grupos que ser pasaron por la etapa de comparación e interpretación de la alteración que generaron respecto a la variable independiente y con ello se determinó la existencia de precedentes al problema en investigación y verificar cuales serían las posibles soluciones, así mismo cuales fueron los resultados con este. Según la descripción anterior, este proyecto fue de tipo *aplicada* debido a que inicialmente los objetivos pasaron por una etapa de evaluación para tener el conocimiento como se debió modificar para llevar a cabo la mejora permanente para estos suelos arcillosos.

Método de investigación

Según Chanto (2008) da a conocer que las suposiciones (hipótesis) son el origen a nuevas conclusiones. Este método de investigación se enfoca en la secuencia de especulaciones formando hipótesis que fueron comprobados de forma empírica y lógico, a su vez si se detecta alguna hipótesis que arroje resultados incongruentes aun así seguirá siendo importante la conclusión para la investigación ya que requerirá de reajuste debido a la contradicción lógica de la hipótesis principal. Según la descripción anterior, este proyecto aplicó el método *hipotético-deductivo* que va dio espacio para originar conclusiones nuevas a la hipótesis de la investigación, y siendo así establecer los resultados sean positivos o negativos para la hipótesis principal.

Diseño de investigación

Hernández et al. (2014) indica que la palabra experimentar se utiliza para la mezcla de dos o más sustancias con manipulación intencional generando algún tipo de reacción con este procedimiento, siendo así se analizó los posibles resultados. A continuación, la palabra experimento se utiliza cuando se manipula intencionalmente la(s) variables ante la reacción que generaron las variables independientes, respecto a la variable dependiente. Según la descripción anterior, en este proyecto se aplicó el diseño de investigación experimental, para tener conocimiento de efecto que dio manipular la variable independiente (cal y cenizas de madera) respecto a la dependiente (estabilización de suelos arcillosos).

Así mismo, el diseño experimental tiene dentro de su campo al diseño cuasiexperimental en donde indica que la elección de los grupos no es al azar siendo esta la diferencia con otros diseños. Este, tiene como objetivo observar, evaluar y analizar el efecto que genera respecto a la variable dependiente. Según la descripción anterior, este proyecto aplicó el diseño *cuasi experimental*, que se encargó de observar, evaluar y analizar los efectos que han generado la adición de cal y cenizas de madera en los suelos arcillosos, así mismo, se consideraron tres calicatas para que el material de muestra sea expuesto a las dosificaciones que indica en la figura 16 y sea evidenciado la causa- efecto de esta investigación, para luego continuar con la evaluación de los ensayos en el laboratorio.

Diseños Factoriales

Según Rosero (2021), indica que en una investigación participan de dos o más factores habitualmente, este tipo de diseños factoriales tienden a ser más eficientes ya que se toman todas las posibles combinaciones entre los niveles de los factores para cada réplica. Estos diseños se encuentran en constante evaluación acerca del efecto que emite cada factor en el cambio de la respuesta y así permitir la estimación de los efectos del factor con diferentes niveles de los demás factores permitiendo válidas conclusiones a través de un rango de condiciones.

Diseño Factorial 2^k

Este método, tiene como diseño factorial 2^k en donde se indica que el número 2 hace referencia a los niveles (mínimos y máximos), el valor de k es el número de

factores o de variables que tiene cada nivel, para esta investigación el valor de “k” es 3, ya que se evaluaron 3 factores (cal, cenizas de madera y suelo arcilloso) en 2 niveles que serán los niveles mínimos y máximos para cada uno de los factores.

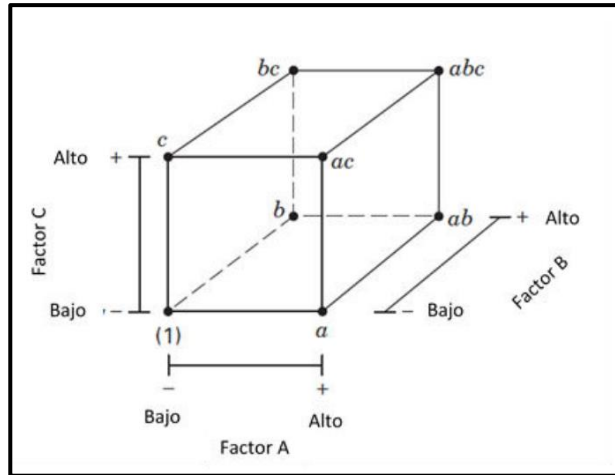


Figura 8 Representación geométrica para el diseño factorial 2³.
Fuente: Naranjo, 2019

Tabla 6 Representación geométrica de diseño factorial 2³

Corrida	A	B	C	AB	AC	BC	ABC	Etiquetas	A	B	C
1	-	-	-	+	+	+	-	-1	0	0	0
2	+	-	-	-	-	+	+	a	1	0	0
3	-	+	-	-	+	-	+	b	0	1	0
4	+	+	-	+	-	-	-	ab	1	1	0
5	-	-	+	+	-	-	+	c	0	0	1
6	+	-	+	-	+	-	-	ac	1	0	1
7	-	+	+	-	-	+	-	bc	0	1	1
8	+	+	+	+	+	+	+	abc	1	1	1

Fuente: Rosero, 2021

En la tabla número 6 se evidencia la representación en codificación geométrica acomodándolos en signos que representan los niveles mínimos y máximos respecto a contenidos para cada factor A, B y C.

Diseño del experimento factorial: 3 factores

Pasos para realizar el experimento

Para empezar a realizar el experimento se utilizó el Software Minitab 16 para insertar los datos requeridos.

1. Elección del método que se usará como estadística.

En la barra de opciones hay una pestaña de estadísticas, elegir DOE, que significa diseño de experimentos.

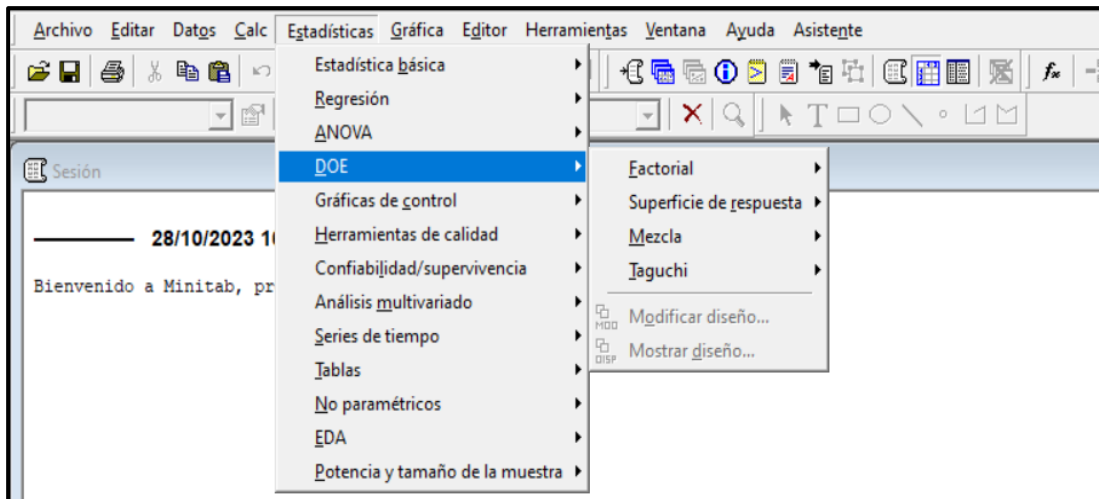


Figura 9 Elección del método estadístico.

2. Elección del método estadístico factorial

En la ventana de estadísticas, DOE, elegir factorial y crear diseño factorial.

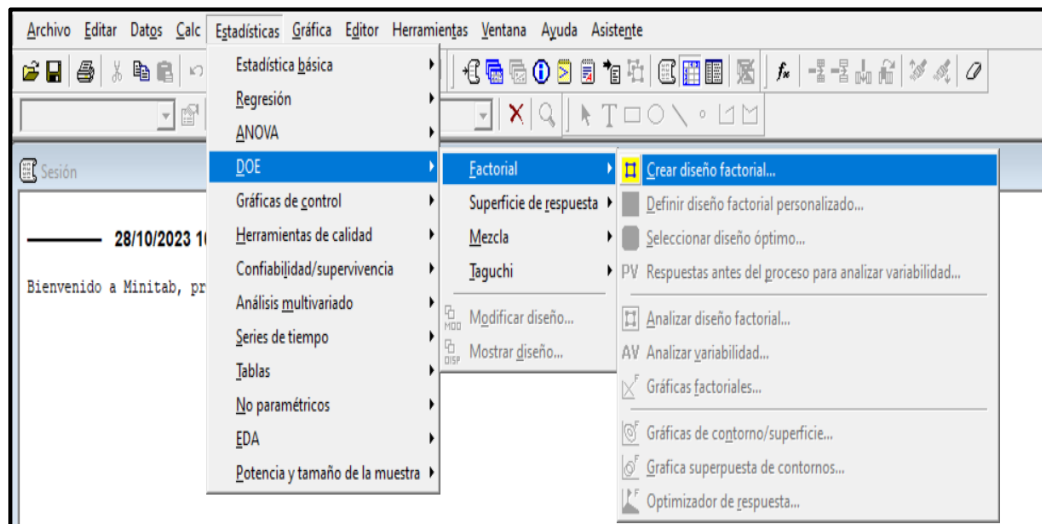


Figura 10 Elección para crear el diseño factorial

3. Creación de diseños y corridas.

Para la elección de varios diseños factoriales disponibles, solo se ha elegido el de 3 grupos y 8 corridas.

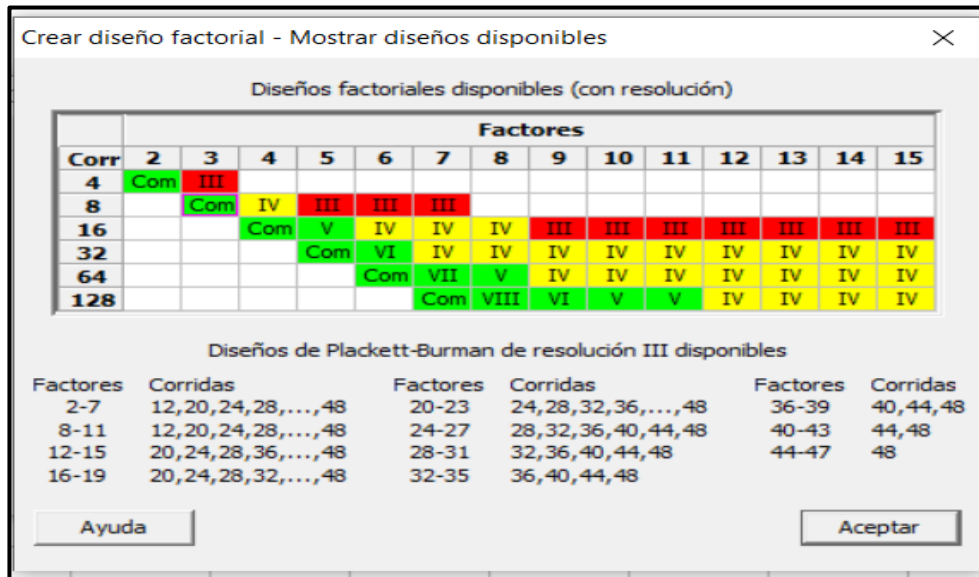


Figura 11 Creación de diseños y corridas

4. Elección del número de factores

El diseño que se ha creado es para 2 niveles de experimentación con 3 factores, por ello se seleccionó en tipo de diseño factorial para 2 niveles (generadores predeterminados) y en número de factores se eligió 3.

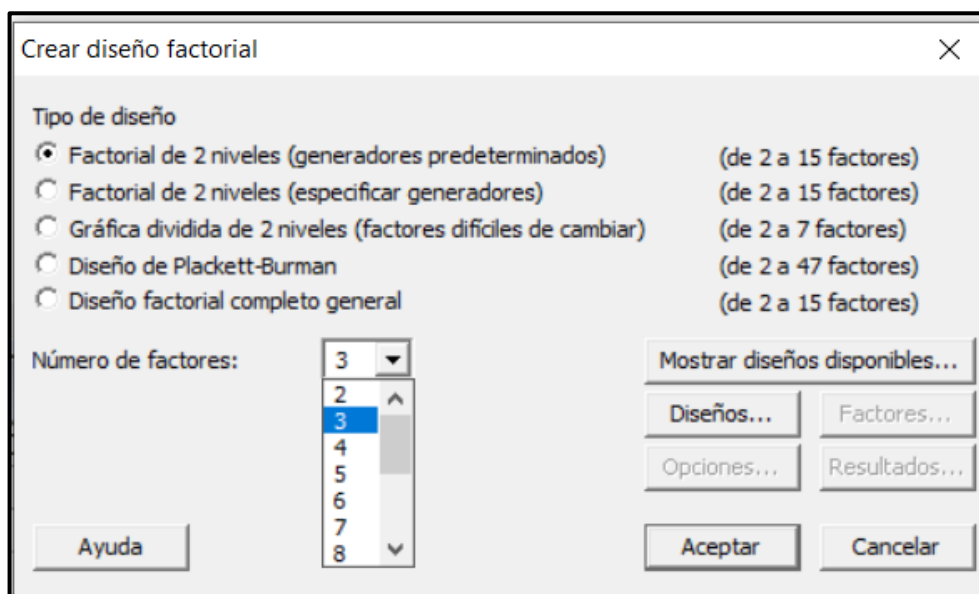


Figura 12 Elección de 3 factores para el diseño factorial.

5. Creación del diseño factorial 2^3

Se ha creado para el diseño factorial 2^3 , con 0 número de puntos de centrales por bloque, con 1 número de replicas para puntos factoriales y 1 número de bloques.

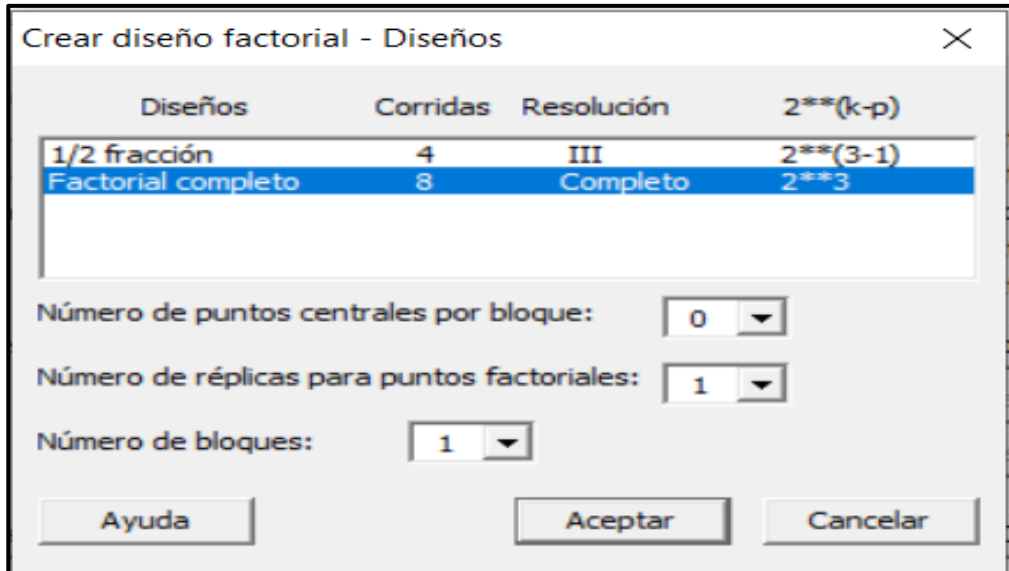


Figura 13 Creación del diseño factorial 2^3

6. Identificación de factores A, B y C

Se identificó el nombre de los factores A, B y C, que fueron conformados por cal, cenizas de madera y suelo arcilloso respectivamente.

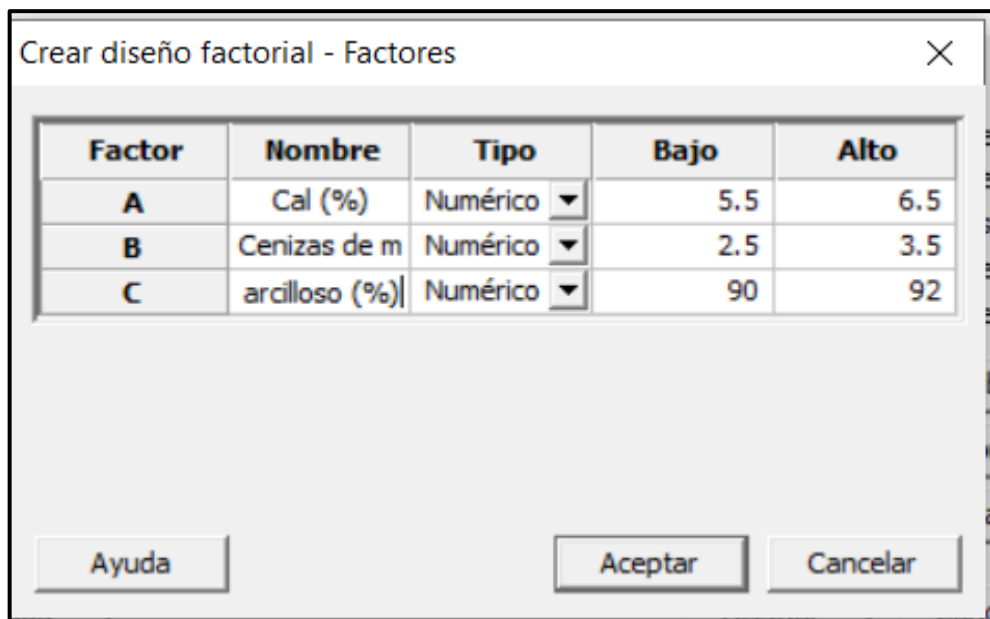


Figura 14 Identificación de factores.

7. Elección de características para diseño factorial

En la ventana de opciones se seleccionó no plegar y almacenar el diseño en hoja de trabajo para que se guarde la información brindada en el software.

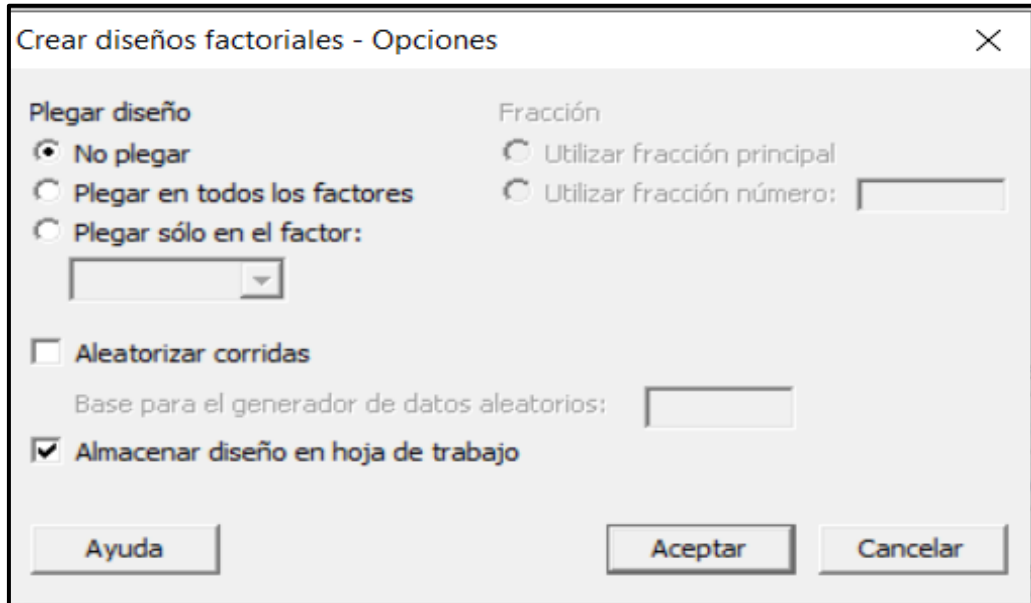


Figura 15 Elección de características para diseño factorial

8. Dosificación de variables

Se evidencia el número de ensayos, serán 8 grupos, también se evidencia las dosificaciones para los 3 factores, cal, cenizas de madera y cal.

↓	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
	OrdenEst	OrdenCorrida	PtCentral	Bloques	Cal (%)	Cenizas de madera (%)	Suelo arcilloso (%)
1	1	1	1	1	5.5	2.5	90
2	2	2	1	1	6.5	2.5	90
3	3	3	1	1	5.5	3.5	90
4	4	4	1	1	6.5	3.5	90
5	5	5	1	1	5.5	2.5	92
6	6	6	1	1	6.5	2.5	92
7	7	7	1	1	5.5	3.5	92
8	8	8	1	1	6.5	3.5	92

Figura 16 Dosificación para las variables.

En la figura 16 se evidencian las dosificaciones para la cal, cenizas de madera y suelo arcilloso para los 8 grupos experimentales o diseños.

Diseño experimental factorial

Según los resultados que ha dado el software Minitab 16, las dosificaciones para cada uno de los grupos desde el G1 hasta el G-8 han variado en sus porcentajes para la cal, cenizas de madera y suelo arcilloso representado en la tabla número 10..

El diseño de investigación utilizado es lo siguiente:

G.E: X-----R

Leyenda:

G.E.: Grupo Experimental.

X: Ensayos.

R: Resultados.

Grupo Experimental N° 1

Este grupo se tuvo como dosificación el 5.5% de cal, más el 2.5% de cenizas de madera, más 90% del suelo arcilloso.

Grupo Experimental N° 2

Este grupo se tuvo como dosificación el 6.5% de cal, más el 2.5% de cenizas de madera y más el 90% de suelo arcilloso.

Grupo Experimental N°3

Este grupo se tuvo como dosificación el 5.5% de cal, más el 3.5% de cenizas de madera y más el 90% de suelo arcilloso.

Grupo Experimental N°4

Este grupo se tuvo como dosificación el 6.5% de cal, más el 3.5% de cenizas de madera y más el 90% de suelo arcilloso.

Grupo Experimental N° 5

Este grupo se tuvo como dosificación el 5.5% de cal, más el 2.5% de cenizas de madera y más el 92% de suelo arcilloso.

Grupo Experimental N° 6

Este grupo se tuvo como dosificación el 6.5% de cal, más el 2.5% de cenizas de madera y más el 92% de suelo arcilloso.

Grupo Experimental N° 7

Este grupo se tuvo como dosificación el 5.5% de cal, más el 3.5% de cenizas de madera y más el 92% de suelo arcilloso.

Grupo Experimental N° 8

Este grupo se tuvo como dosificación el 6.5% de cal, más el 3.5% de cenizas de madera y más el 92% de suelo arcilloso.

Nivel de investigación

Hernández et al. (2014) da a conocer que, para el nivel de investigación, es necesario responder y explicar las causas de estos sucesos que se originen, y conocer el motivo por el que se debe relacionar de dos a más variables, así mismo, el nivel correlacional tiene como objeto la relación entre dos o más variables para que se encuentre la respuesta a las incógnitas que existen dentro de la investigación. Según la descripción anterior, este proyecto tuvo un nivel *explicativo* debido a que se enfocó en las respuestas que dio con la adición de los aglomerantes.

Enfoque de investigación

Según Hernández et al. (2014) da a conocer que es una secuencia de procesos que luego se podrá probar en el laboratorio, este enfoque indica tiene como iniciativa alguna hipótesis que a partir de ahí se determinan los objetivos e incógnitas en la investigación dando campo a la siguiente secuencia; hipótesis, variables y el diseño de investigación para que sean probadas en los ensayos y generando diversas. Según la descripción anterior, este proyecto aplicó el enfoque

cuantitativo, debido a que se va realizar una secuencia en esta investigación empezando desde la hipótesis que al agregarle los aglomerantes se logrará estabilizar los suelos arcillosos, con la incógnita si se pudo lograr dicha estabilización y probándolo con los ensayos en el laboratorio.

3.2. Variables y operacionalización

Variables

El término variable es una palabra que compromete a una variación o alguna alteración, siendo así se podrá medir y observar los cambios que se genera al ser relacionado con otras variables. Las variables son importantes y de mayor aplicación en la investigación. (Rodríguez y Pérez, 2017)

Variable independiente: Cal y cenizas de madera

Definición Conceptual:

Cal: Es un producto que funciona como aglomerante cuando se le agrega el agua, así mismo se encarga de unir sustancias cuando reacciona químicamente.

Cenizas de madera: Son los desperdicios de la combustión de la madera realizado en alguna ladrillera artesanal.

Definición operacional:

Cal y cenizas de madera: Estos productos aglomerantes como cal y cenizas de madera son medidos según el peso de estos, respecto del peso de suelo seco que se va usó como muestra, entonces estas cantidades son representadas en dosificaciones, las cantidades necesarias para que se logre mejorar las propiedades de los suelos arcillosos.

Variable dependiente: Estabilización de suelos arcilloso.

Definición Conceptual: La estabilización de suelos consiste en mejorar las propiedades de estos, como la resistencia mecánica asegurando el tiempo de vida de sus propiedades con el pasar de los años, así mismo, existen técnicas con la

adición de uno o más materiales para que puedan utilizar para la estabilización, siguiendo el proceso de compactación como finalidad.

Definición Operacional:

Para que se logre una estabilización de estos suelos arcillosos se utilizó como aglomerantes que se le añadieron, como cal y cenizas de madera con la finalidad de mejorar las propiedades mecánicas y físicas del suelo, con ello se está evaluando los resultados en los siguientes ensayos que están pasando por el laboratorio como Granulometría, Proctor Modificado y CBR.

3.3. Población, muestra y muestreo

Población

Según Gómez (2016) es el conjunto de actividades finitas, que son necesarias para tomar decisión sobre las muestras que se utilizara en la investigación y esta tendrá que cumplir con los criterios necesarios para que puedan ser medidos que deberá cumplir con una serie de criterios predeterminados. Según la descripción anterior, este proyecto tiene como población al suelo de subrasante en el Anexo 8 de Jicamarca.

Muestra

Según Gómez (2016) Es un sub conjunto seleccionado desde la elección de la población para una investigación, siendo así, estos serán elegidos al azar para que toda la población en una totalidad tenga la misma posibilidad de ser elegidos como una muestra de investigación.

El número de calicatas que se excavaron en la población de estudio, se realizó según las indicaciones del IMDA de la vía, por ende, se excavaron como mínimo 3 calicatas dentro de los 1000 metros de distancia que indica la normativa, con el suelo de las calicatas obtenido se realizaron 9 muestras para el grupo patrón, distribuidas en 3 muestras por cada ensayo como indica en la tabla número 7, así mismo se realizaron 72 muestras para el grupo experimental distribuidas en 24 muestras para cada ensayo como indica en la tabla número 8.

Tabla 7: Cantidad de ensayos para el grupo patrón.

Ensayo	Grupo Patrón	Corridas	Sub Total
Límites de Atterberg	3	1	3
Proctor Modificado	3	1	3
C.B.R.	3	1	3
TOTAL			9

Fuente: Elaboración propia

Tabla 8 Cantidad de ensayos para el grupo experimental.

Ensayo	Grupo Experimental	Corridas	Sub Total
Límites de Atterberg	3	8	24
Proctor Modificado	3	8	24
C.B.R.	3	8	24
TOTAL			72

Fuente: Elaboración propia

Tabla 9 Diseño Factorial para las variables.

Número de grupo	Cal	Cenizas de Madera	Suelo Arcilloso
1	-	-	-
2	+	-	-
3	-	+	-
4	+	+	-
5	-	-	+
6	+	-	+
7	-	+	+
8	+	+	+

Fuente: Elaboración propia

En la tabla número 9 se puede evidenciar el diseño de mezclas que se realizó para esta investigación, a cada una de las variables se le asignó “+” haciendo referencia a un nivel máximo de contenido y al nivel mínimo de contenido representado “-”, siendo así se procede a describir las dosificaciones para cada variable.

- Cal:
 - Nivel Mínimo: 5.5%
 - Nivel Máximo: 6.5%

- Cenizas de Madera:
 - Nivel Mínimo: 2.5%
 - Nivel Máximo: 3.5%

- Suelo arcilloso:
 - Nivel Mínimo: 90%
 - Nivel Máximo: 92%

Tabla 10 Diseño experimental en % para variables.

Número de grupo	Cal	Cenizas de Madera	Suelo Arcilloso
	%	%	%
1°	5.5%	2.5%	92.0%
2°	6.5%	2.5%	91.0%
3°	5.5%	3.5%	91.0%
4°	6.5%	3.5%	90.0%
5°	5.5%	2.5%	92.0%
6°	6.5%	2.5%	91.0%
7°	5.5%	3.5%	91.0%
8°	6.5%	3.5%	90.0%

Fuente: Elaboración propia

En la tabla número 10 se identifican los contenidos representados en porcentajes para cada variable cal, cenizas de madera y suelo arcilloso conformando 8 dosificaciones.

Ensayo de Límites de Atterberg

Se analizaron los límites de Atterberg del suelo arcilloso en sus condiciones iniciales y con sus respectivas combinaciones, tomaron en cuenta la tabla número 11 para la calicata 1, la tabla número 12 para la calicata 2 y la tabla número 13 para la calicata 3 en donde está especificado la cantidad requerida para la cal, cenizas de madera y suelo arcilloso representado en porcentajes, también en peso (gramos) para los 8 grupos experimentales en donde se están evaluando cuál de estos experimentos contiene la dosificación adecuada llegando a un resultado óptimo.

Tabla 11: Diseño de Mezcla para Límites de Atterberg C-1.

Número de grupo	Cal		Cenizas de Madera		Suelo Arcilloso	
	%	Peso (g)	%	Peso (g)	%	Peso (g)
1°	5.5%	11	2.5%	5	92.0%	184
2°	6.5%	13	2.5%	5	91.0%	182
3°	5.5%	11	3.5%	7	91.0%	182
4°	6.5%	13	3.5%	7	90.0%	180
5°	5.5%	11	2.5%	5	92.0%	184
6°	6.5%	13	2.5%	5	91.0%	182
7°	5.5%	11	3.5%	7	91.0%	182
8°	6.5%	13	3.5%	7	90.0%	180

Fuente: Elaboración propia

Tabla 12: Diseño de Mezcla para Límites de Atterberg C-2.

Número de grupo	Cal		Cenizas de Madera		Suelo Arcilloso	
	%	Peso (g)	%	Peso (g)	%	Peso (g)
1°	5.5%	11	2.5%	5	92.0%	184
2°	6.5%	13	2.5%	5	91.0%	182
3°	5.5%	11	3.5%	7	91.0%	182
4°	6.5%	13	3.5%	7	90.0%	180
5°	5.5%	11	2.5%	5	92.0%	184
6°	6.5%	13	2.5%	5	91.0%	182
7°	5.5%	11	3.5%	7	91.0%	182
8°	6.5%	13	3.5%	7	90.0%	180

Fuente: Elaboración propia

Tabla 13: Diseño de Mezcla para Límites de Atterberg C-3.

Número de grupo	Cal		Cenizas de Madera		Suelo Arcilloso	
	%	Peso (g)	%	Peso (g)	%	Peso (g)
1°	5.5%	11	2.5%	5	92.0%	184
2°	6.5%	13	2.5%	5	91.0%	182
3°	5.5%	11	3.5%	7	91.0%	182
4°	6.5%	13	3.5%	7	90.0%	180
5°	5.5%	11	2.5%	5	92.0%	184
6°	6.5%	13	2.5%	5	91.0%	182
7°	5.5%	11	3.5%	7	91.0%	182
8°	6.5%	13	3.5%	7	90.0%	180

Fuente: Elaboración propia

Ensayo de Proctor Modificado

Se analizaron los ensayos de compactación determinando la relación entre la máxima densidad seca y el óptimo contenido de humedad para el suelo arcilloso natural en sus condiciones iniciales como también para el suelo arcilloso con sus respectivas combinaciones, para ello se está tomando en cuenta la tabla número 14 para la calicata 1, tabla número 15 para la calicata 2, tabla número 16 para calicata 3 en donde especifica la cantidad requerida para cal, cenizas de madera y suelo arcilloso para los 8 grupos experimentales representado en porcentajes, también en peso (gramos), se está evaluando cuál de estos 8 grupos tiene la dosificación adecuada que obtiene un resultado óptimo.

Tabla 14. Diseño de Mezcla para Proctor Modificado C-1.

Número de grupo	Cal		Cenizas de Madera		Suelo Arcilloso	
	%	Peso (g)	%	Peso (g)	%	Peso (g)
1°	5.5%	165	2.5%	75	92.0%	2760
2°	6.5%	195	2.5%	75	91.0%	2730
3°	5.5%	165	3.5%	105	91.0%	2730
4°	6.5%	195	3.5%	105	90.0%	2700
5°	5.5%	165	2.5%	75	92.0%	2760
6°	6.5%	195	2.5%	75	91.0%	2730
7°	5.5%	165	3.5%	105	91.0%	2730
8°	6.5%	195	3.5%	105	90.0%	2700

Fuente: Elaboración propia

Tabla 15 Diseño de Mezcla para Proctor Modificado C-2.

Número de grupo	Cal		Cenizas de Madera		Suelo Arcilloso	
	%	Peso (g)	%	Peso (g)	%	Peso (g)
1°	5.5%	165	2.5%	75	92.0%	2760
2°	6.5%	195	2.5%	75	91.0%	2730
3°	5.5%	165	3.5%	105	91.0%	2730
4°	6.5%	195	3.5%	105	90.0%	2700
5°	5.5%	165	2.5%	75	92.0%	2760
6°	6.5%	195	2.5%	75	91.0%	2730
7°	5.5%	165	3.5%	105	91.0%	2730
8°	6.5%	195	3.5%	105	90.0%	2700

Fuente: Elaboración propia

Tabla 16 Diseño de Mezcla para Proctor Modificado C-3.

Número de grupo	Cal		Cenizas de Madera		Suelo Arcilloso	
	%	Peso (g)	%	Peso (g)	%	Peso (g)
1°	5.5%	165	2.5%	75	92.0%	2760
2°	6.5%	195	2.5%	75	91.0%	2730
3°	5.5%	165	3.5%	105	91.0%	2730
4°	6.5%	195	3.5%	105	90.0%	2700
5°	5.5%	165	2.5%	75	92.0%	2760
6°	6.5%	195	2.5%	75	91.0%	2730
7°	5.5%	165	3.5%	105	91.0%	2730
8°	6.5%	195	3.5%	105	90.0%	2700

Fuente: Elaboración propia

Ensayo de C.B.R.

Se está analizando este ensayo para la capacidad resistente del suelo tomando como referencia los datos de la máxima densidad seca y el óptimo contenido de humedad que se obtuvo del ensayo del Proctor, así mismo se analizó al suelo arcilloso natural en sus condiciones iniciales como también para el suelo arcilloso con sus respectivas combinaciones, para ello se está tomando en cuenta la tabla número 17 para la calicata 1, tabla número 18 para la calicata 2 y tabla número 19 para la calicata 3 en donde especifica la cantidad requerida de cal, cenizas de madera y suelo arcilloso para los 8 grupos experimentales representado en

porcentajes, también en peso (gramos), se está evaluando cuál de estos 8 grupos tiene la dosificación adecuada que obtiene a un resultado óptimo.

Tabla 17. Diseño de Mezcla para CBR C-1.

Número de grupo	Cal		Cenizas de Madera		Suelo Arcilloso	
	%	Peso (g)	%	Peso (g)	%	Peso (g)
1°	5.5%	165	2.5%	75	92.0%	2760
2°	6.5%	195	2.5%	75	91.0%	2730
3°	5.5%	165	3.5%	105	91.0%	2730
4°	6.5%	195	3.5%	105	90.0%	2700
5°	5.5%	165	2.5%	75	92.0%	2760
6°	6.5%	195	2.5%	75	91.0%	2730
7°	5.5%	165	3.5%	105	91.0%	2730
8°	6.5%	195	3.5%	105	90.0%	2700

Fuente: Elaboración propia

Tabla 18 Diseño de Mezcla para CBR C-2.

Número de grupo	Cal		Cenizas de Madera		Suelo Arcilloso	
	%	Peso (g)	%	Peso (g)	%	Peso (g)
1°	5.5%	165	2.5%	75	92.0%	2760
2°	6.5%	195	2.5%	75	91.0%	2730
3°	5.5%	165	3.5%	105	91.0%	2730
4°	6.5%	195	3.5%	105	90.0%	2700
5°	5.5%	165	2.5%	75	92.0%	2760
6°	6.5%	195	2.5%	75	91.0%	2730
7°	5.5%	165	3.5%	105	91.0%	2730
8°	6.5%	195	3.5%	105	90.0%	2700

Fuente: Elaboración

Tabla 19 Diseño de Mezcla para CBR C-3.

Número de grupo	Cal		Cenizas de Madera		Suelo Arcilloso	
	%	Peso (g)	%	Peso (g)	%	Peso (g)
1°	5.5%	165	2.5%	75	92.0%	2760
2°	6.5%	195	2.5%	75	91.0%	2730
3°	5.5%	165	3.5%	105	91.0%	2730
4°	6.5%	195	3.5%	105	90.0%	2700
5°	5.5%	165	2.5%	75	92.0%	2760
6°	6.5%	195	2.5%	75	91.0%	2730
7°	5.5%	165	3.5%	105	91.0%	2730
8°	6.5%	195	3.5%	105	90.0%	2700

Fuente: Elaboración

Muestreo

Según Gómez (2016) para esta investigación se permitirá que el autor pueda elegir las características y propiedades de la muestra que se va tomar para esta investigación, según lo considere el autor. Según lo mencionado anteriormente, este proyecto aplicó un muestreo para esta investigación *no probabilístico* que fue a conveniencia del autor, ya que es intencional permitiendo que se elija el número de ensayos obteniendo como resultado 81 muestras que serán extraídas de los tramos más críticos y están siendo evaluados en el laboratorio.

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Técnicas

Según Cisneros (2021) indica que para iniciar la recolección de datos se utilizará al problema de esta investigación como una referencia para poder dar énfasis a la búsqueda que será, según la observación del autor y lo que requiera conocer. Según lo mencionado anteriormente, en este proyecto está aplicando como técnica a la observación juiciosa ya que con un barrido visual se clasificó al tramo más crítico, pudiendo realizar calicatas en el terreno y sean trasladadas como muestra.

Instrumentos

Según Cisneros (2021), indica que los instrumentos serán todo lo que permite obtener datos requeridos y a su vez que permitan el registro en diversos formatos de interés que aporten al proyecto de investigación dándole a la herramienta una gran versatilidad. Según lo mencionado anteriormente, en este proyecto se apoyó

de los ensayos que se le van hacer al suelo para obtener los datos requeridos, estos instrumentos son:

- Observación
- Registro para recolección de datos
- Fichas de registro para resultados de laboratorio (ensayos),

Los ensayos que se están realizando a las muestras, se visualizan en la tabla 20.

Tabla 20 Ensayos que se someterán al Laboratorio

Ensayos	Normativa	Instrumentos
Granulométrico	N.T.P. 339.128	Fichas de registro para resultados.
Límites de Atterberg	N.T.P. 339.129	Fichas de registro para resultados.
Proctor Modificado	ASTM D 1557	Fichas de registro para resultados.
C.B.R.	MTC 132	Fichas de registro para resultados.

Fuente: Elaboración propia

3.5. Validez y confiabilidad

Validez

Según Villacís (2018) indica que la validez de una investigación será la coherencia y congruencia con el que un instrumento mide a sus variables, siendo así es un concepto que se ve reflejado en la correlación de medición de su medición en distintas etapas de la investigación ya que no existe una significativa variación. Según lo antes mencionado anteriormente, los resultados de este proyecto están otorgados por un laboratorio certificado y acreditado por INACAL.

Confiabilidad

Según Villacís et. al (2018) da a conocer que los resultados se podrán considerar confiable cuando tiene un alto grado de validez, ya que estos instrumentos se utilizarán varias veces en un mismo individuo y dando como respuesta el mismo resultado. Según lo mencionado anteriormente, este proyecto está realizando 3 veces el mismo ensayo de cada uno para evaluar la similitud de resultados.

3.6. Procedimientos

Para describir la secuencia de procedimientos que se realizó en esta investigación, se recopilaron los datos in situ, en laboratorio y en gabinete que están describiendo de forma consecutiva en los siguientes procedimientos.

Procedimiento N° 01: Identificación del tramo crítico

En la localidad 8 de Jicamarca se encuentra en el distrito de Lurigancho – Chosica, ubicado en la provincia de Lima, dentro del departamento de Lima. Se ha considerado 1 kilómetro de este tramo crítico para excavar las tres calicatas que se están poniendo en estudio, se extrajeron 1000 kilogramos del suelo natural en sus condiciones iniciales que conforman el grupo patrón y también se utilizó para someterlas a un proceso de combinación con cal viva y cenizas de madera.



Figura 17 Levantamiento de datos.



Figura 18:Tramo crítico.

Procedimiento N° 02: Excavación de Calicatas

Con un previo barrido utilizando el método de observación se ubicó el tramo crítico de donde se procedió a excavar 3 calicatas cada una de profundidad de 1.5m como mínimo llegando hasta los 3.00m de profundidad.



Figura 19: Excavación de Calicata



Figura 20: Excavación de Calicatas



Figura 21 Excavación de Calicata



Figura 22: Excavación de Calicata

Procedimiento de N° 3: Realizar las muestras combinadas

Se obtuvo los materiales de manera independiente, la cal se obtuvo haciendo el requerimiento a la empresa CIA MINERA NUEVA ESPERANZA SAC, las cenizas, se obtuvieron de la combustión de las maderas de eucalipto y el suelo arcilloso se obtuvo con la excavación de las 3 calicatas. Con la adquisición de estos 3 materiales se iniciaron a dosificar según la tabla número 16, son 8 grupos con dosificaciones entre máximos y mínimos de cada material.

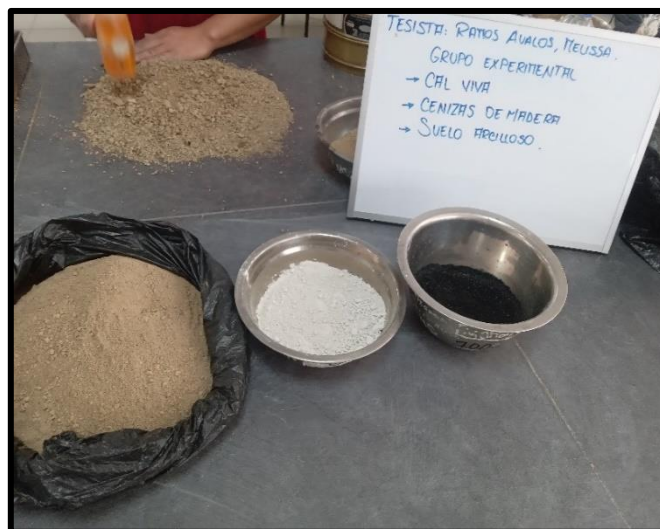


Figura 23: Cal, cenizas de madera y suelo



Figura 25: Combinación de muestras.



Figura 24: Combinación de muestras

Procedimiento N° 4: Someter las muestras al laboratorio

Se realizó el proceso consecutivo según sea para cada ensayo; tamizado, peso de cada muestra, la adición de agua, la mezcla de adiciones y por último el proceso de secado al horno a 110 °C.



Figura 27: Tamices para suelo fino.

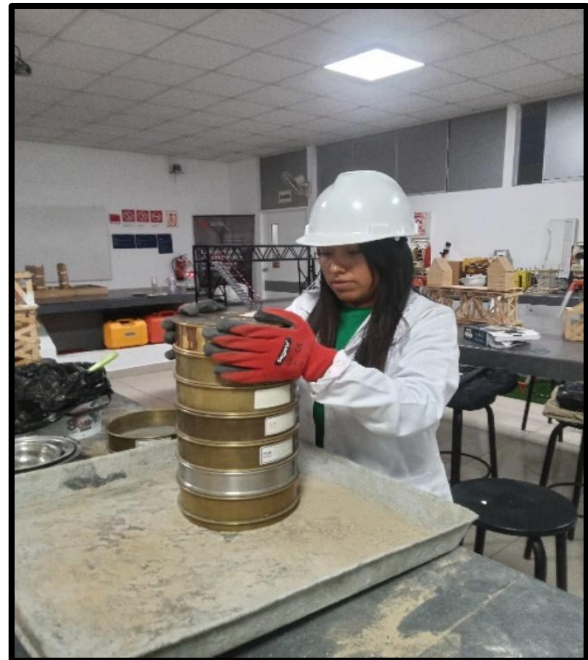


Figura 26: Tamizado para suelo.



Figura 29: Lavado de material.



Figura 28: Tamizado para Límites de Atterberg.



Figura 31: Masa (g) para Límites de Atterberg.



Figura 30: Copa casa grande.



Figura 32 Masa para Límite plástico

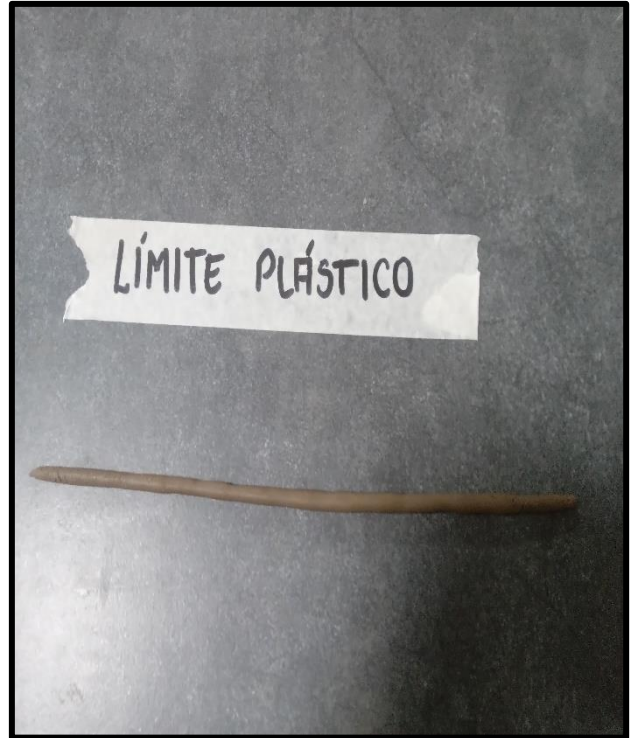


Figura 33 Límite plástico.



Figura 35 Ensayo para Límites Líquido.



Figura 34: Ensayo para Límite Líquido.



Figura 36 Tamizado para Proctor Modificado



Figura 37 Distribuyendo en 5 capas



Figura 38: Colocación de la 1ra capa.



Figura 39 Compactando las 5 capas.

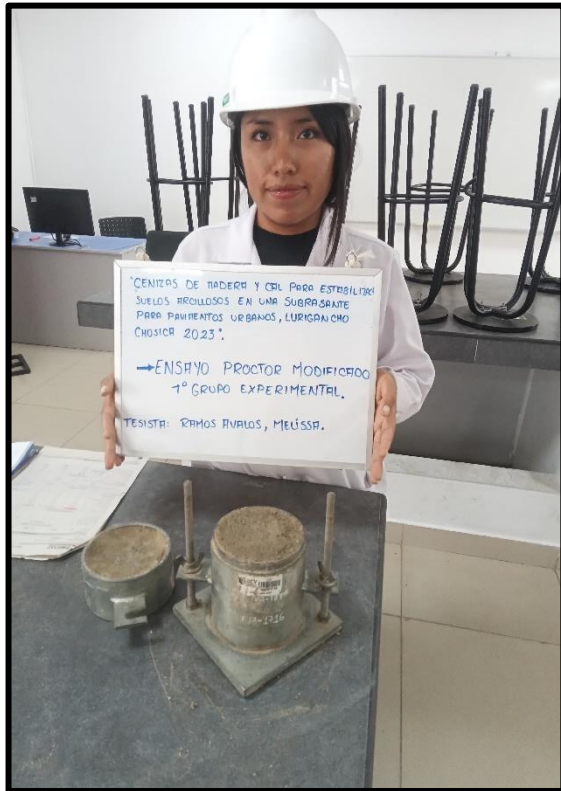


Figura 40: Suelo compactado.



Figura 41: Muestras para secar en el horno.

3.6. Método de análisis de datos

Según Hernández-Sampieri (2018) da a conocer que para poder seleccionar los datos de una investigación se tendrá que utilizar el método de observación, ya que con ello se visualizará cada ensayo, análisis y examen de laboratorio permitiendo tomar los apuntes correspondientes para contrastarlos con la hipótesis. Según lo antes mencionado, en este proyecto se aplicó la inferencia estadística ya que se buscarán conclusiones desde los resultados de cada muestra.

3.7. Aspectos éticos

En esta investigación se tuvo en cuenta los siguientes aspectos éticos, se utilizó la resolución aprobada por el consejo universitario N.º 0126-2017 como guía para el desarrollo de esta investigación. La presente está bajo los lineamientos estipulados como el rigor científico, honestidad, justicia y competencia a nivel personal y científica, así mismo para comprobar lo antes mencionado se utilizó la programación de Turnitin buscando un resultado inferior al 25% de similitud, para cumplir con el Artículo 15 de esta resolución en donde da énfasis a las

estipulaciones de anti se plagio. Los autores de artículos de revista, libros y tesis fueron debidamente citados de acuerdo al ISO-690, ya que este documento es original será otorgado la autoría absoluta como indica en el Artículo 16 por ello una vez concluida la investigación cumpliendo todos los parámetros exigidos por la Universidad César Vallejo se procederá a la publicación como indica en el Artículo 14.

IV. RESULTADOS

Esta parte de la investigación se evidencian los resultados que se obtienen a través de los diferentes ensayos sometidos al laboratorio, las cuales son la granulometría según la NTP 339.128, Límite Líquido y Plástico según la NTP 339.129, el Proctor Modificado según ASTM D1557 y el C.B.R. según ASTM D 1883-16, estos ensayos fueron realizados con un suelo en sus condiciones naturales y con la incorporación de aglomerantes (cal y cenizas de madera). Según el diseño factorial, para esta investigación serán 8 grupos experimentales con un rango de dosificaciones entre mínimos y máximo, es decir para la incorporación de cal viva se tendrá un intervalo desde 5.5% hasta 6.5%, para las cenizas de madera se tendrá un intervalo desde 2.5% hasta 3.5% y por último para el suelo arcilloso se tendrá un intervalo desde 90% hasta 92%.

4.1. Análisis Granulométrico

Para el análisis granulométrico se separó la cantidad de suelo para realizar el método del cuarteo y solo se utilizó 800 gr de suelo para proceder a lavarlo con la malla número 200 hasta que el agua se observe cristalina, siendo así la muestra lavada se quedó en el horno por 24 horas a 110°C, la muestra seca se procedió a ser tamizado por las mallas número 4, 10, 20, 40, 60, 140 y 200 como indica la tabla número 21, el pasante acumulado será de 57.2% siendo clasificado según la tabla número 22 como suelo fino en 57.2% y arena en un 41%.

Tabla 21 Distribución de partículas.

ABERTURA		PESO ORIGINAL	P.C. FONDO	P.C. FINAL	RETENIDO PARCIAL	RETENIDO ACUMULADO	PASANTE ACUMULADO
No. 4	4.75mm	8.0	8.0	8.1	1.7	1.7	98.3
No. 10	2.00mm	20.0	20.0	20.2	4.2	5.9	94.1
No. 20	850um	25.0	25.0	25.2	5.3	11.2	88.8
No. 40	425um	29.0	29.0	29.3	6.1	17.4	82.6
No. 60	250um	30.0	30.0	30.3	6.4	23.7	76.3
No. 140	106um	68.0	68.0	68.6	14.4	38.2	61.8
N° 200	75um	22.0	22.0	22.2	4.7	42.8	57.2
FONDO	--	11.7	269.8	272.2	57.2	100.0	0.0

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 22 Análisis por tamizado.

DISTRIBUCIÓN DE PARTÍCULAS				
Grava%	Arena %			Finos %
	Gruesa %	Media %	Fina %	
0.0	4.2	11.4	25.4	57.2

Fuente: Elaboración Propia

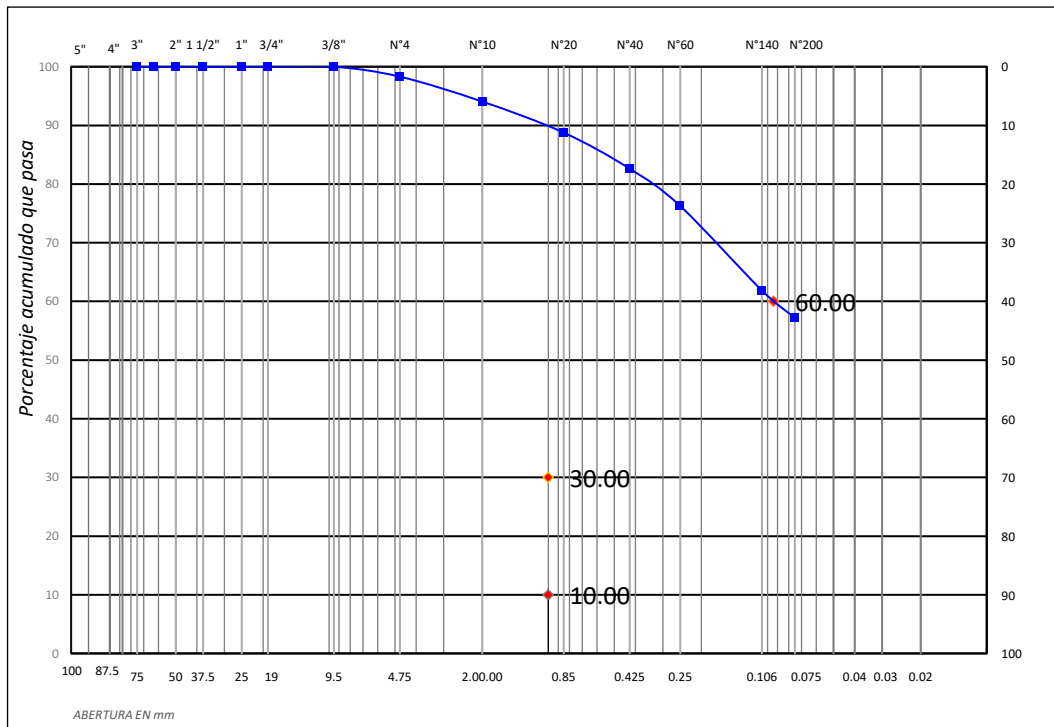


Figura 42 Curva Granulométrica
Fuente: Elaboración propia

En la figura 42 se evidenció que la curva se inclina según el porcentaje acumulado que pasa por la malla número 200 el pasante acumulado es de 57.2 clasificándolo como un material fino.



Figura 43 Tamizaje de suelo arcilloso
Fuente: Propia

4.6. Límites de Atterberg

Los límites de Atterberg permitieron evidenciar el rango de humedad en el que se encuentra el suelo manteniéndolo plástico, por ello se buscaron los valores del límite líquido, límite plástico y la sustracción de estos dos valores dieron como respuesta el índice de plasticidad. En la tabla número 24 el suelo arcilloso en condiciones naturales tiene como índice de plasticidad 30.333%, en el grupo número 1 empieza a bajar el índice de plasticidad a 19%, en el grupo número 3 a 10.333 y en el grupo número 6 el índice de plasticidad baja hasta un 9.667%, siendo este el mínimo porcentaje que llega el I.P. con una dosificación de 6.5% C. + 2.5% C.M.

Tabla 23 Muestras y grupo para el ensayo de Límites de Atterberg.

Muestra	Número de grupo
Suelo Arcilloso	Grupo Patrón
92%S. A + 5.5% C. + 2.5% C.M.	Grupo 1
91%S. A + 6.5% C. + 2.5% C.M.	Grupo 2
91%S. A + 5.5% C. + 3.5% C.M.	Grupo 3
90%S. A + 6.5% C. + 3.5% C.M.	Grupo 4
92%S. A + 5.5% C. + 2.5% C.M.	Grupo 5
91%S. A + 6.5% C. + 2.5% C.M.	Grupo 6
91%S. A + 5.5% C. + 3.5% C.M.	Grupo 7
90%S. A + 6.5% C. + 3.5% C.M.	Grupo 8

Fuente: Elaboración propia

En la tabla número 23 se visualiza las dosificaciones que tendrá cada muestra desde el grupo experimental número 1 hasta el grupo experimental número 8 y con ello poder realizar el ensayo de Límites de Atterberg.

Tabla 24 Índice de Plasticidad – Límites de Atterberg.

Grupo Experimental	Índice de Plasticidad (%)			Promedio IP. (%)
	Calicata 1	Calicata 2	Calicata 3	
Suelo Arcilloso	29	31	31	30.333
Grupo 1	17	22	18	19.000
Grupo 2	13	12	13	12.667
Grupo 3	11	10	10	10.333
Grupo 4	12	9	11	10.667
Grupo 5	14	15	14	14.333
Grupo 6	11	9	9	9.667
Grupo 7	14	14	13	13.667
Grupo 8	12	13	13	12.667

Fuente: Elaboración propia

En esta tabla número 24 se identifica el índice de plasticidad para cada una de las calicatas del grupo patrón y 8 grupos experimentales, promediando estos resultados para que sean evidenciados en la gráfica número 44.

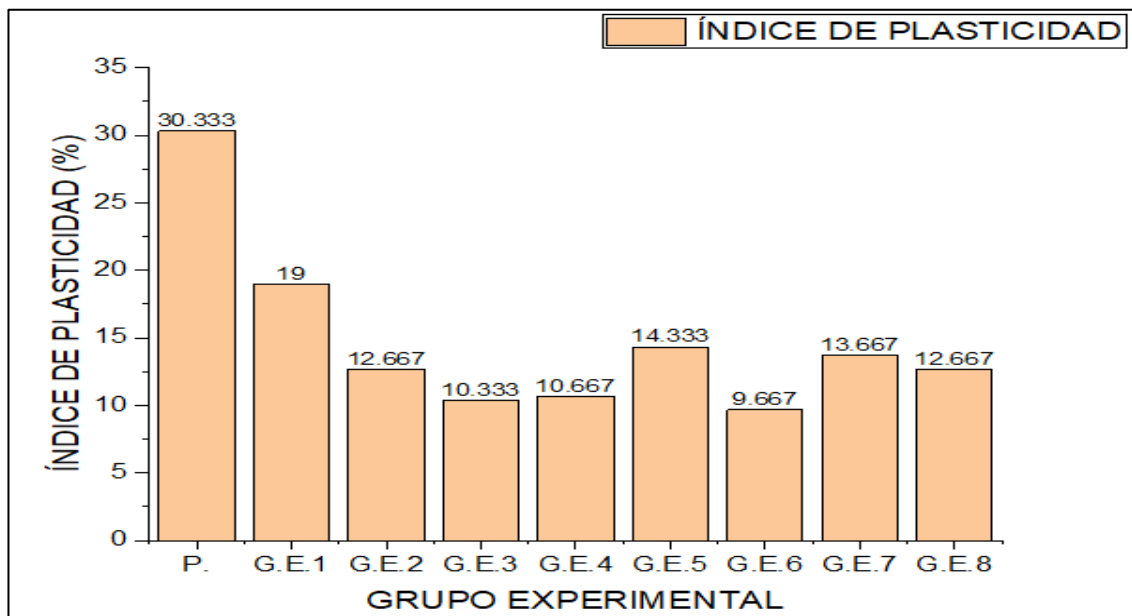


Figura 44 Índice de Plasticidad.

Fuente: Elaboración propia

En la figura 44 se está evidenciando según el gráfico de barras que el índice de plasticidad está disminuyendo, pero grupos experimentales impares tiene resultados mayores a los resultados de los grupos experimentales pares, siendo así el mejor valor de índice de plasticidad será 9.667 que dio el grupo experimental número 6.



Figura 45 Muestras colocadas en el horno.

Fuente: Elaboración propia.

4.7. Proctor Modificado

El Proctor Modificado está evidenciando la máxima densidad seca y el óptimo contenido de humedad del suelo, para ello se está tomando en cuenta la tabla número 25 en donde especifican las dosificaciones desde el grupo experimental 1 hasta el grupo experimental 8, en la tabla número 26 se evidencia el óptimo contenido de humedad que va decreciendo según va aumentando el contenido de cal, en la tabla número 27 en donde indica que la máxima densidad seca va aumentando según se va agregando el contenido de cal.

Tabla 25 *Máxima densidad seca*

Muestra	Número de grupo
Suelo Arcilloso	Grupo Patrón
92% S.A + 5.5% C. + 2.5% C.M.	Grupo 1
91% S. A + 6.5% C. + 2.5% C.M.	Grupo 2
91% S. A + 5.5% C. + 3.5% C.M.	Grupo 3
90% S. A + 6.5% C. + 3.5% C.M.	Grupo 4
92% S. A + 5.5% C. + 2.5% C.M.	Grupo 5
91% S. A + 6.5% C. + 2.5% C.M.	Grupo 6
91% S. A + 5.5% C. + 3.5% C.M.	Grupo 7
90% S. A + 6.5% C. + 3.5% C.M.	Grupo 8

Fuente: Elaboración Propia

En la tabla número 25 se visualiza las dosificaciones que tendrá cada muestra desde el grupo experimental número 1 hasta el grupo experimental número 8 y con ello poder realizar el ensayo de Proctor Modificado para hallar el óptimo contenido de humedad.

Tabla 26 *Óptimo contenido de humedad.*

Grupo Experimental	Óptimo Contenido de Humedad			Promedio O.C.H.
	Calicata 1	Calicata 2	Calicata 3	
Suelo Arcilloso	16.5	17.00	16.5	16.667
Grupo 1	11.2	11.5	11.8	11.500
Grupo 2	11.0	11.2	11.2	11.133
Grupo 3	11.5	11.5	11.6	11.533
Grupo 4	9.7	10.1	10.2	10.000
Grupo 5	9.7	10.0	10.8	10.167
Grupo 6	9.1	9.0	9.4	9.167
Grupo 7	11.1	11.0	11.1	11.067
Grupo 8	9.9	9.9	10.5	10.100

Fuente: Elaboración Propia

En esta tabla número 26 se identifica el óptimo contenido de humedad para cada una de las calicatas del grupo patrón y 8 grupos experimentales, promediando estos resultados para que sean evidenciados en la gráfica número 46

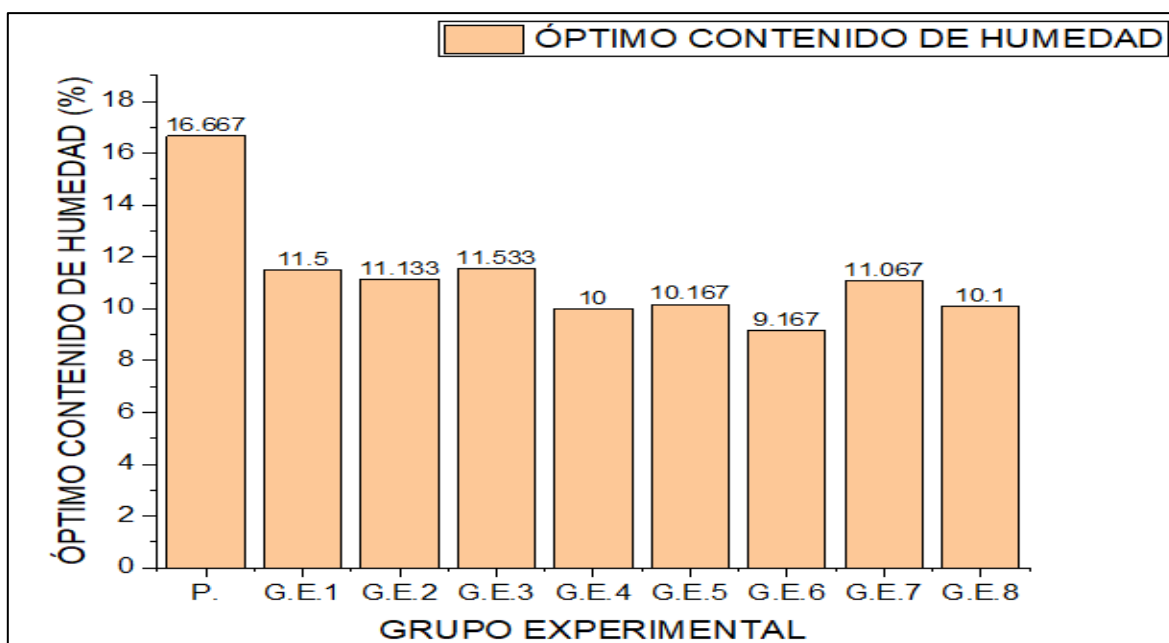


Figura 46 Óptimo Contenido de Humedad

Fuente: Elaboración propia

En la figura 46 se está evidenciando según el gráfico de barras que el óptimo contenido de humedad está disminuyendo, pero grupos experimentales impares tiene resultados mayores a los resultados de los grupos experimentales pares, siendo así el mejor valor de óptimo contenido de humedad será 9.167 que dio el grupo experimental 6.

Tabla 27 Máxima Densidad Seca (gr/cm^3).

Grupo Experimental	Máxima Densidad Seca (gr/cm^3)			Promedio M.D.S.
	Calicata 1	Calicata 2	Calicata 3	
Suelo Arcilloso	1.757	1.756	1.757	1.757
Grupo 1	1.838	1.832	1.830	1.833
Grupo 2	1.845	1.838	1.842	1.841
Grupo 3	1.836	1.834	1.831	1.833
Grupo 4	1.82	1.815	1.812	1.815
Grupo 5	1.849	1.844	1.836	1.843
Grupo 6	1.851	1.849	1.849	1.850
Grupo 7	1.825	1.823	1.818	1.822
Grupo 8	1.816	1.815	1.813	1.814

Fuente: Elaboración propia

En esta tabla número 27 se identifica la Máxima Densidad Seca (gr/cm^3) para cada una de las calicatas del grupo patrón y 8 grupos experimentales, promediando estos resultados para que sean evidenciados en la gráfica número 48.

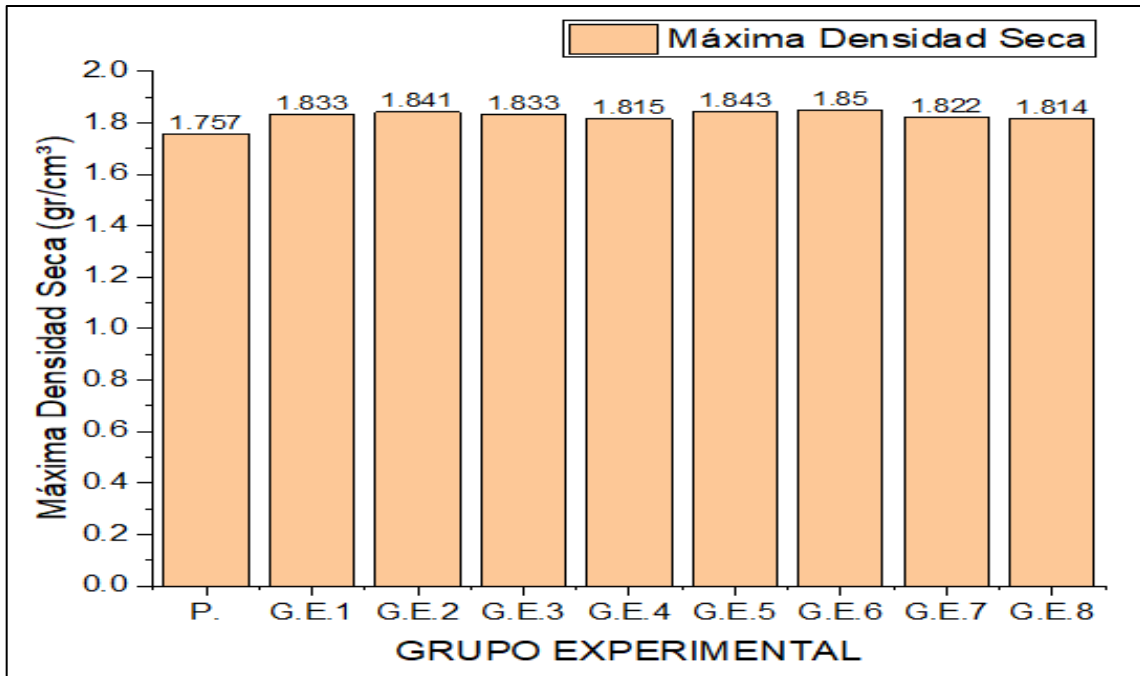


Figura 47 Máxima densidad seca
Fuente: Elaboración propia

En la figura 48 se está evidenciando según el gráfico de barras que la máxima densidad seca está aumentando, pero grupos experimentales impares tiene resultados menores a los resultados de los grupos experimentales pares, siendo así el mejor valor para Máxima Densidad Seca será 1.85 que dio el grupo experimental 6.



Figura 48 Ensayo de Proctor Modificado.
Fuente: Elaboración propia

4.8. CBR

El ensayo de CBR está evidenciando la capacidad de resistencia del suelo que es usado como subbase.

Tabla 28 Grupos Experimentales para CBR.

Muestra	Número de grupo
Suelo Arcilloso	Grupo Patrón
92% S.A + 5.5% C. + 2.5% C.M.	Grupo 1
91% S. A + 6.5% C. + 2.5% C.M.	Grupo 2
91% S. A + 5.5% C. + 3.5% C.M.	Grupo 3
90% S. A + 6.5% C. + 3.5% C.M.	Grupo 4
92% S. A + 5.5% C. + 2.5% C.M.	Grupo 5
91% S. A + 6.5% C. + 2.5% C.M.	Grupo 6
91% S. A + 5.5% C. + 3.5% C.M.	Grupo 7
90% S. A + 6.5% C. + 3.5% C.M.	Grupo 8

Fuente: Elaboración propia

En la tabla número 28 se visualiza las dosificaciones que tendrá cada muestra desde el grupo experimental número 1 hasta el grupo experimental número 8 y con ello poder realizar el ensayo de CBR para hallar el incremento de este ensayo.

Tabla 29 California Bearing Ratio.

Grupo Experimental	C.B.R.			Promedio C.B.R.
	Calicata 1	Calicata 2	Calicata 3	
Suelo Arcilloso	5.8	5.0	4.3	5.033
Grupo 1	17.3	16.8	13.0	15.700
Grupo 2	19.6	16.8	19.0	18.467
Grupo 3	17.4	15.7	14.6	15.900
Grupo 4	15.8	15.6	14.3	15.233
Grupo 5	19.0	17.7	15.0	17.233
Grupo 6	20.3	19.5	17.6	19.133
Grupo 7	16.8	16.4	15.8	16.333
Grupo 8	15.9	15.1	14.4	15.133

Fuente: Elaboración propia.

En esta tabla número 29 se identifica el resultado para cada una de las calicatas del grupo patrón y 8 grupos experimentales del CBR, promediando estos resultados para que sean evidenciados en la gráfica número 48.

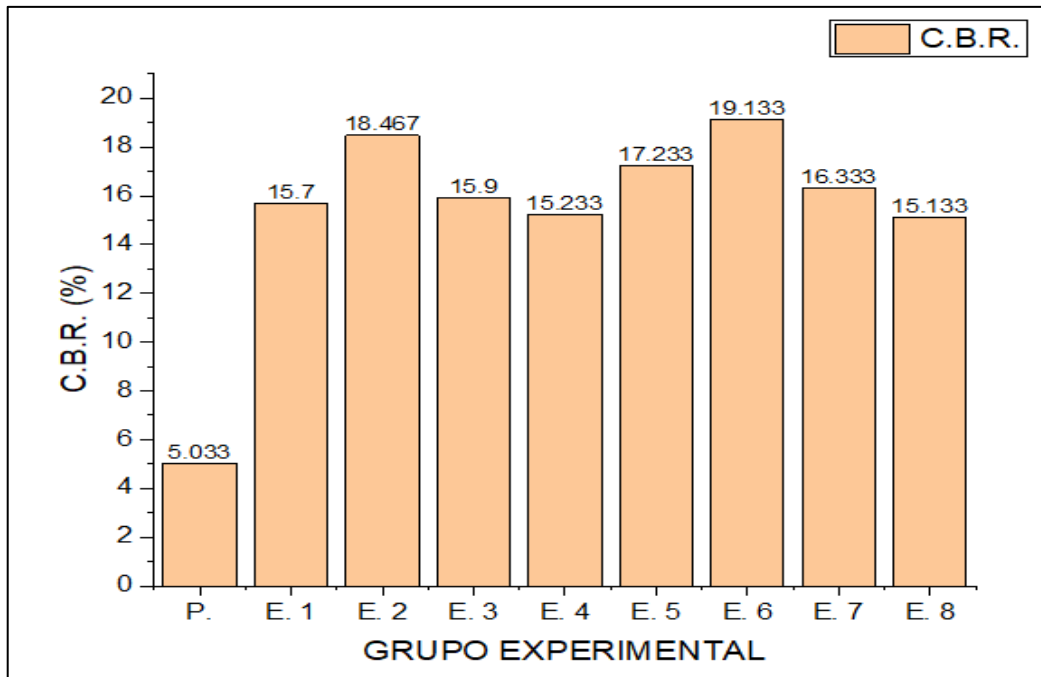


Figura 49 Resultados del CBR.

Fuente: Elaboración propia

En la figura 49 se está evidenciando según el gráfico de barras que el valor del CBR está incrementando, pero grupos experimentales impares tiene resultados menores a los resultados de los grupos experimentales pares, siendo así el mejor valor para el CBR 19.133% que dió el grupo experimental número 6.



Figura 50 Prensa CBR.

Fuente: Elaboración propia

CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS

HIPÓTESIS ESPECÍFICA 01

Formulación de hipótesis

H0: Una proporción definida de cal y cenizas no mejora el CBR en suelos arcillosos.

H1: Una proporción definida de cal y cenizas mejora el CBR en suelos arcillosos.

Prueba de normalidad (Anderson Darling - AD)

Se comprueba la distribución normal con la estadística no paramétrica, utilizando el conjunto de datos muestrales que provienen de una población específica. En la tabla 30 se observa los datos del CBR de un espécimen de suelo natural (Patrón) y con la adición de Cal y Cenizas de madera (Grupo 1 – 8).

Tabla 30 Prueba de normalidad (Anderson Darling – AD)

N° de Grupo	Diseños	Anderson Darling				
		Media	Desviación Estándar	N	AD	Valor P
Patrón	Suelo Arcilloso	5.033	0.756	3	0.191	0.623
1	92% S.A + 5.5% C. + 2.5% C.M.	15.7	2.35	3	0.380	0.139
2	91% S. A + 6.5% C. + 2.5% C.M.	18.47	1.47	3	0.302	0.272
3	91% S. A + 5.5% C. + 3.5% C.M.	15.9	1.41	3	0.206	0.557
4	90% S. A + 6.5% C. + 3.5% C.M.	15.23	0.815	3	0.366	0.158
5	92% S. A + 5.5% C. + 2.5% C.M.	17.23	2.040	3	0.234	0.472
6	91% S. A + 6.5% C. + 2.5% C.M.	19.13	1.387	3	0.249	0.419
7	91% S. A + 5.5% C. + 3.5% C.M.	16.33	0.503	3	0.204	0.565
8	90% S. A + 6.5% C. + 3.5% C.M.	15.13	0.750	3	0.191	0.623

Fuente: Elaboración Propia.

Por consecuencia, en la tabla 30 se evidencian los resultados proporcionados por Anderson Darling que en el valor de "P" del CBR y los grupos experimentales son mayor al 0.01 siendo así, que es de una población una distribución normal.

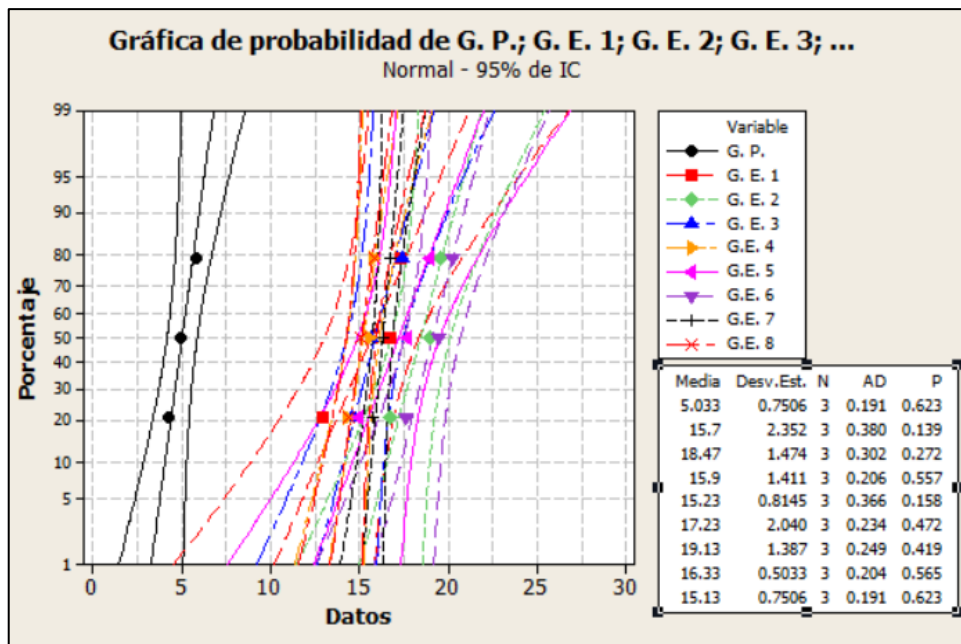


Figura 51 Gráfica de Normalidad Anderson Darling

Fuente: Elaboración Propia

Prueba de normalidad Shapiro Wilk

La muestra analizada es menor a 50, así mismo, también se usó para saber si los datos tienen una distribución normal o no, además, se utilizó una significancia de 0.05, tal como lo indica la tabla número 31.

Tabla 31 Prueba de normalidad Shapiro Wilk

N° de Grupo	Diseños	Anderson Darling				
		Media	Desviación Estándar	N	RJ	Valor P
Patrón	Suelo Arcilloso	5.033	0.751	3	0.999	>0.100
1	92% S.A + 5.5% C. + 2.5% C.M.	15.7	2.352	3	0.914	>0.100
2	91% S. A + 6.5% C. + 2.5% C.M.	18.47	1.474	3	0.950	>0.100
3	91% S. A + 5.5% C. + 3.5% C.M.	15.9	1.411	3	0.992	>0.100
4	90% S. A + 6.5% C. + 3.5% C.M.	15.23	0.8145	3	0.921	>0.100
5	92% S. A + 5.5% C. + 2.5% C.M.	17.23	2.040	3	0.980	>0.100
6	91% S. A + 6.5% C. + 2.5% C.M.	19.13	1.387	3	0.973	>0.100
7	91% S. A + 5.5% C. + 3.5% C.M.	16.33	0.503	3	0.993	>0.100
8	90% S. A + 6.5% C. + 3.5% C.M.	15.13	0.751	3	0.999	>0.100

Fuente: Elaboración Propia.

Por consecuencia, en la tabla 31 se evidencian los resultados proporcionados por la prueba de Shapiro Wilk que en el valor de "P" para el grupo patrón y los grupos experimentales son mayor al 0.05 siendo así, que es de una población una distribución normal, por ello se utilizará la prueba paramétrica ANOVA.

Análisis de varianza (ANOVA)

Por continuidad se confirmó que obtuvo la normalidad de datos, por ello se realizó la prueba paramétrica ANOVA.

H0: Una proporción definida de cal y cenizas no mejora el CBR en suelos arcillosos.

H1: Una proporción definida de cal y cenizas mejora el CBR en suelos arcillosos.

Figura 52 Análisis de varianza de CBR.

ANOVA unidireccional: G. P.; G. E. 1; G. E. 2; G. E. 3; G.E. 4; G.E. 5; ...					
Fuente	GL	SC	CM	F	P
Factor	8	406.38	50.80	25.65	0.000
Error	18	35.65	1.98		
Total	26	442.03			
S = 1.407 R-cuad. = 91.94% R-cuad. (ajustado) = 88.35%					

Fuente: Elaboración Propia.

En principio, los datos de la figura 52, indica que el valor de "P" tiene un valor menor al 0.05, por ello, se procede al rechazo de la hipótesis nula H0 y a la aprobación de la hipótesis alterna H1.

Prueba Post-Hoc Tukey

Luego de rechazar la hipótesis nula H0 a través de la prueba del ANOVA, Tukey busca la discrepancia que existen alrededor de los grupos de investigación.

Tabla 32 Prueba de Tukey del CBR.

N° de Grupo	Diseños	Diferencia de medias	Desv. Est	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite Inferior	Límite Superior
Patrón	Suelo Arcilloso	-	-	-	-	-
1	92% S.A + 5.5% C. + 2.5% C.M.	10.667	2.352	0.000	6.637	14.697
2	91% S. A + 6.5% C. + 2.5% C.M.	13.434	1.474	0.000	9.403	17.463
3	91% S. A + 5.5% C. + 3.5% C.M.	10.867	1.411	0.000	6.837	14.897
4	90% S. A + 6.5% C. + 3.5% C.M.	10.2	0.814	0.000	6.170	14.230
5	92% S. A + 5.5% C. + 2.5% C.M.	12.2	2.040	0.000	8.170	16.230
6	91% S. A + 6.5% C. + 2.5% C.M.	14.1	1.387	0.000	10.070	18.130
7	91% S. A + 5.5% C. + 3.5% C.M.	11.3	0.503	0.000	7.270	15.330
8	90% S. A + 6.5% C. + 3.5% C.M.	10.1	0.751	0.000	6.070	14.130

Fuente: Elaboración Propia.

En la tabla 32 se observa que en todas las muestras existe una gran diferencia significativa entre ellas debido a que todas las muestras $p=0$ son menores a 0.05 y para este caso se acepta la H_1 .

Tabla 33 Medias para los diseños de CBR.

N° de Grupo	Diseños	N	Alfa = 0.05			
			1	2	3	4
Patrón	Suelo Arcilloso	3	5.033			
1	92% S.A + 5.5% C. + 2.5% C.M.	3		15.700		
2	91% S. A + 6.5% C. + 2.5% C.M.	3		18.467		
3	91% S. A + 5.5% C. + 3.5% C.M.	3		15.900		
4	90% S. A + 6.5% C. + 3.5% C.M.	3			15.233	
5	92% S. A + 5.5% C. + 2.5% C.M.	3			17.233	
6	91% S. A + 6.5% C. + 2.5% C.M.	3			19.133	
7	91% S. A + 5.5% C. + 3.5% C.M.	3				16.333
8	90% S. A + 6.5% C. + 3.5% C.M.	3				15.133

Fuente: Elaboración Propia

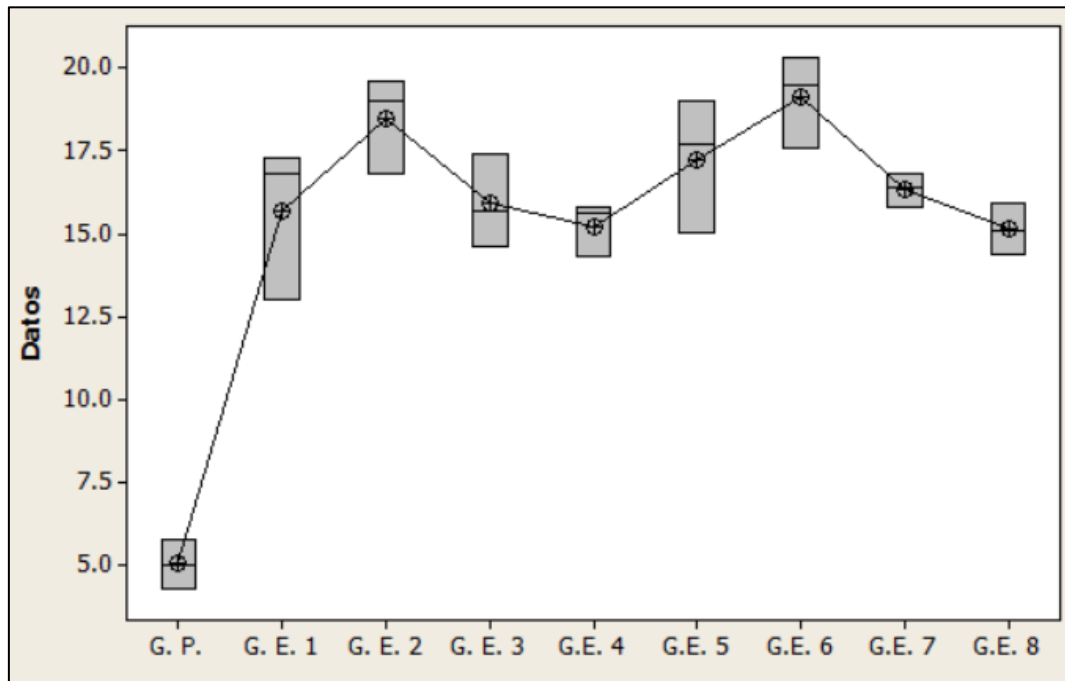


Figura 53 Gráfica de medias del CBR.

Fuente: Elaboración Propia

Concluyendo, en la figura 53 se divisa que existe una incidencia positiva con el grupo experimental número 6, continua con el Grupo experimental número 2 y 5, por ende, el ensayo de CBR se incrementa con el mayor valor 19.13% que da el grupo experimental número 6.

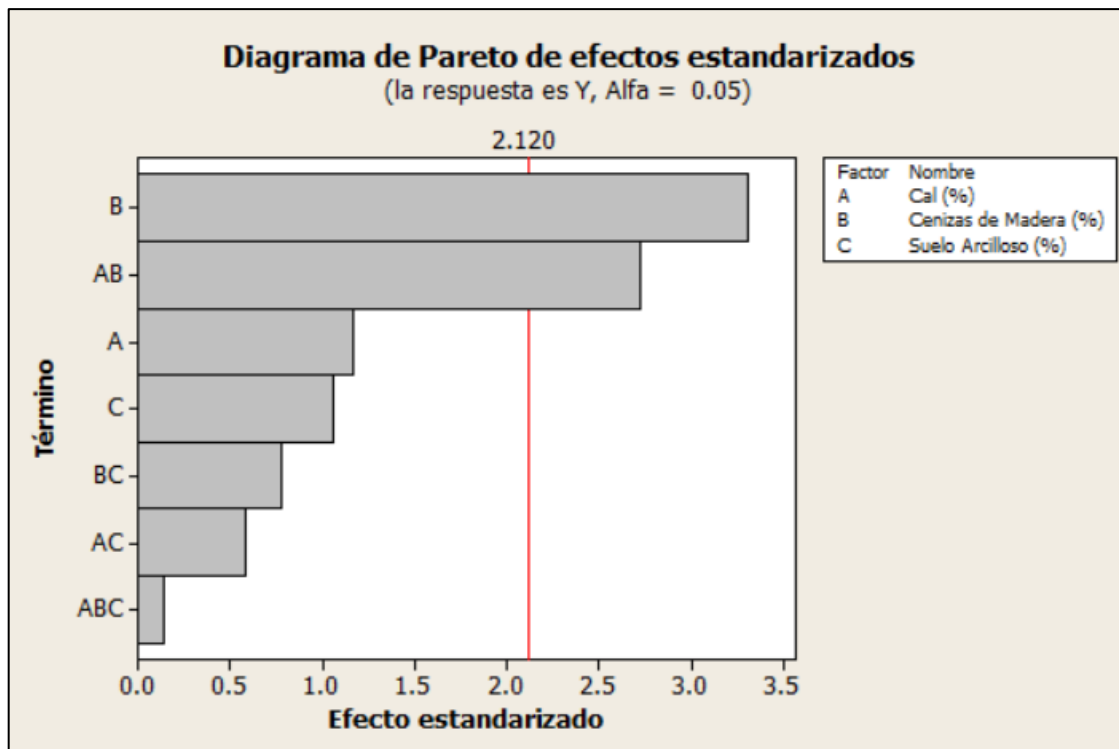


Figura 54 Diagrama de Pareto de CBR.

Fuente: Elaboración Propia

En la figura 54, diagrama de Pareto se evidenció que, se genera una gran incidencia conveniente para la investigación. La combinación de cal con cenizas de madera respecto al suelo arcilloso sobre pasa la franja límite de este diagrama.

HIPÓTESIS ESPECÍFICA 02

H0: Una proporción definida de cal y cenizas de madera no mejora la capacidad de compactación de Proctor Modificado.

H1: Una proporción definida de cal y cenizas de madera mejora la capacidad de compactación Proctor Modificado.

Prueba de normalidad (Anderson Darling - AD)

Se comprueba la distribución normal con la estadística no paramétrica, utilizando el conjunto de datos muestrales que provienen de una población específica. En la tabla 34 se observa los datos del Proctor Modificado de un espécimen de suelo natural (Patrón), también con la adición de Cal y Cenizas de madera (Grupo 1 – 8).

Tabla 34 Prueba de normalidad (Anderson Darling – AD).

N° de Grupo	Diseños	Anderson Darling				
		Media	Desviación Estándar	N	AD	Valor P
Patrón	Suelo Arcilloso	16.67	0.2887	3	0.488	0.057
1	92% S.A + 5.5% C. + 2.5% C.M.	11.5	0.3	3	0.189	0.631
2	91% S. A + 6.5% C. + 2.5% C.M.	11.13	0.1155	3	0.488	0.057
3	91% S. A + 5.5% C. + 3.5% C.M.	11.53	0.05774	3	0.488	0.057
4	90% S. A + 6.5% C. + 3.5% C.M.	10	0.2646	3	0.312	0.249
5	92% S. A + 5.5% C. + 2.5% C.M.	10.17	0.5686	3	0.262	0.375
6	91% S. A + 6.5% C. + 2.5% C.M.	9.167	0.2082	3	0.277	0.334
7	91% S. A + 5.5% C. + 3.5% C.M.	11.07	0.05774	3	0.488	0.057
8	90% S. A + 6.5% C. + 3.5% C.M.	10.1	0.3464	3	0.488	0.057

Fuente: Elaboración Propia

Por consecuencia, en la tabla número 34 se evidencian los resultados proporcionados por Anderson Darling que en el valor de “P” del Proctor Modificado y los grupos experimentales son mayor al 0.01 siendo así, que es de una población una distribución normal.

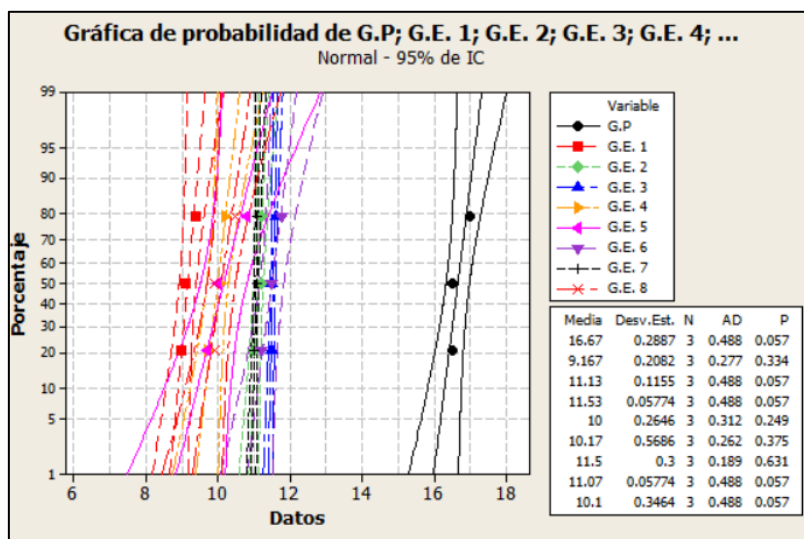


Figura 55 Gráfica de Normalidad Anderson Darling (AD)

Fuente: Elaboración Propia

Prueba de normalidad Shapiro Wilk

La muestra analizada es menor a 50, así mismo, también se usó para saber si los datos tienen una distribución normal o no, además, se utilizó una significancia de 0.05, tal como lo indica la tabla número 35.

Tabla 35 Prueba de normalidad Shapiro Wilk.

N° de Grupo	Diseños	Shapiro Wilk				
		Media	Desviación Estándar	N	RJ	Valor P
Patrón	Suelo Arcilloso	16.67	0.2887	3	1.000	>0.100
1	92% S.A + 5.5% C. + 2.5% C.M.	9.167	0.2082	3	0.961	>0.100
2	91% S. A + 6.5% C. + 2.5% C.M.	11.13	0.1155	3	1.000	>0.100
3	91% S. A + 5.5% C. + 3.5% C.M.	11.53	0.0577	3	1.000	>0.100
4	90% S. A + 6.5% C. + 3.5% C.M.	10	0.2646	3	0.945	>0.100
5	92% S. A + 5.5% C. + 2.5% C.M.	10.17	0.5686	3	0.967	>0.100
6	91% S. A + 6.5% C. + 2.5% C.M.	11.5	0.3	3	1.000	>0.100
7	91% S. A + 5.5% C. + 3.5% C.M.	11.07	0.0577	3	1.000	>0.100
8	90% S. A + 6.5% C. + 3.5% C.M.	10.1	0.3464	3	1.000	>0.100

Fuente: Elaboración Propia

Por consecuencia, en la tabla 35 se evidencian los resultados proporcionados por la prueba de Shapiro Wilk que en el valor de "P" para el grupo patrón y los grupos experimentales son mayor al 0.05 siendo así, que es de una población una distribución normal, por ello se utilizará la prueba paramétrica ANOVA.

ANÁLISIS DE VARIANZA (ANOVA)

Por continuidad se confirmó que obtuvo la normalidad de datos y homogeneidad de varianza, por ello se realizó la prueba paramétrica ANOVA.

H0: Una proporción definida de cal y cenizas de madera no mejora la capacidad de compactación de Proctor Modificado.

H1: Una proporción definida de cal y cenizas de madera mejora la capacidad de compactación Proctor Modificado.

Figura 56 Análisis de varianza de Proctor Modificado.

ANOVA unidireccional: G.P; G.E. 1; G.E. 2; G.E. 3; G.E. 4; G.E. 5; G.E. 6; ...					
Fuente	GL	SC	CM	F	P
Factor	8	113.7852	14.2231	170.68	0.000
Error	18	1.5000	0.0833		
Total	26	115.2852			

S = 0.2887 R-cuad. = 98.70% R-cuad. (ajustado) = 98.12%

Fuente: Elaboración Propia

En principio, los datos de la figura 56, indica que el valor de “P” tiene un valor menor al 0.05, por ello, se procede al rechazo de la hipótesis nula H0 y a la aprobación de la hipótesis alterna H1.

Prueba Post-Hoc Tukey

Tabla 36 Prueba de Tukey del Proctor Modificado.

N° de Grupo	Diseños	Diferencia de medias	Desv. Est	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite Inferior	Límite Superior
Patrón	Suelo Arcilloso	-	0.289	-	-	-
1	92% S.A + 5.5% C. + 2.5% C.M.	7.5	0.208	0.000	8.3267	6.6733
2	91% S. A + 6.5% C. + 2.5% C.M.	5.534	0.115	0.000	6.3600	4.7067
3	91% S. A + 5.5% C. + 3.5% C.M.	5.133	0.058	0.000	5.9600	4.3067
4	90% S. A + 6.5% C. + 3.5% C.M.	6.667	0.265	0.000	7.4933	5.8400
5	92% S. A + 5.5% C. + 2.5% C.M.	6.5	0.569	0.000	7.3267	5.6733
6	91% S. A + 6.5% C. + 2.5% C.M.	5.167	0.300	0.000	5.9933	4.3400
7	91% S. A + 5.5% C. + 3.5% C.M.	5.6	0.058	0.000	6.4267	4.7733
8	90% S. A + 6.5% C. + 3.5% C.M.	6.667	0.346	0.000	7.3933	5.7400

Fuente: Elaboración Propia

En la tabla 36 se observa que en todas las muestras existe una gran diferencia significativa entre ellas debido a que todas las muestras $p=0$ son menores a 0.05 y para este caso se acepta la H1

Tabla 37 Medias para los diseños de Proctor Modificado.

N° de Grupo	Diseños	N	Alfa = 0.05			
			1	2	3	4
Patrón	Suelo Arcilloso	3	16.667			
1	92% S.A + 5.5% C. + 2.5% C.M.	3		9.167		
2	91% S. A + 6.5% C. + 2.5% C.M.	3		11.133		
3	91% S. A + 5.5% C. + 3.5% C.M.	3		11.533		
4	90% S. A + 6.5% C. + 3.5% C.M.	3			10.00	
5	92% S. A + 5.5% C. + 2.5% C.M.	3			10.167	
6	91% S. A + 6.5% C. + 2.5% C.M.	3			11.500	
7	91% S. A + 5.5% C. + 3.5% C.M.	3				11.067
8	90% S. A + 6.5% C. + 3.5% C.M.	3				10.100

Fuente: Elaboración Propia

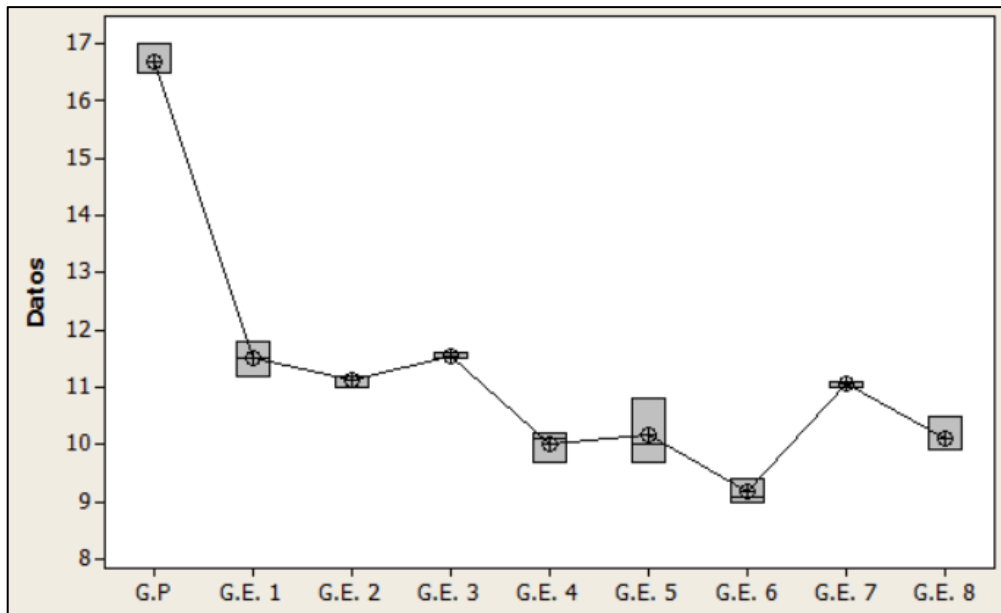


Figura 57 Gráfica de medias del Proctor Modificado

Fuente: Elaboración Propia

Concluyendo, en la figura 57 se divisa que existe una incidencia positiva con el grupo experimental número 6 ya que reduce el contenido de humedad a 9.17 %.

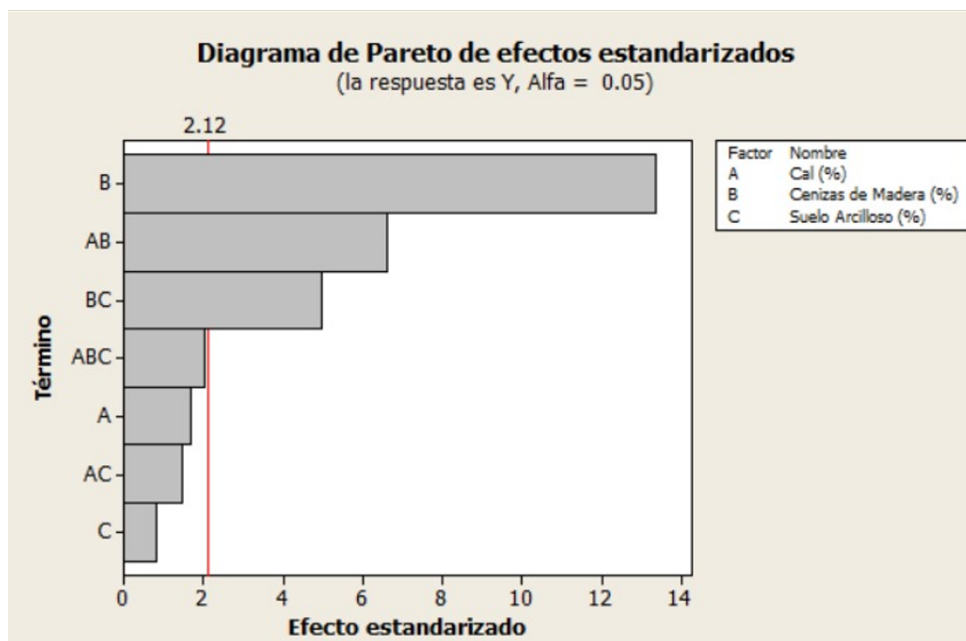


Figura 58 Diagrama de Pareto del Proctor Modificado

Fuente: Elaboración Propia

En la figura 58, diagrama de Pareto se evidenció que, se genera una gran incidencia conveniente para la investigación. La combinación de cal con cenizas de madera respecto al suelo arcilloso sobre pasa la franja límite de este diagrama.

HIPÓTESIS ESPECÍFICA 03

H0: Una proporción definida de cal y cenizas de madera no disminuye el índice de Plasticidad.

H1: Una proporción definida de cal y cenizas de madera disminuye el índice de Plasticidad.

Prueba de normalidad (Anderson Darling - AD)

Se comprueba la distribución normal con la estadística no paramétrica, utilizando el conjunto de datos muestrales que provienen de una población específica. En la tabla 38 se observa los datos del CBR de un espécimen de suelo natural (Patrón) y con la adición de Cal y Cenizas de madera (Grupo 1 – 8).

Tabla 38 Prueba de Normalidad Anderson Darling – AD.

N° de Grupo	Diseños	Anderson Darling				
		Media	Desviación Estándar	N	AD	Valor P
Patrón	Suelo Arcilloso	30.33	1.155	3	0.488	0.057
1	92% S.A + 5.5% C. + 2.5% C.M.	19	2.646	3	0.312	0.249
2	91% S. A + 6.5% C. + 2.5% C.M.	12.67	0.5774	3	0.488	0.057
3	91% S. A + 5.5% C. + 3.5% C.M.	9.667	1.155	3	0.488	0.057
4	90% S. A + 6.5% C. + 3.5% C.M.	10.67	1.528	3	0.230	0.487
5	92% S. A + 5.5% C. + 2.5% C.M.	14.33	0.5774	3	0.488	0.057
6	91% S. A + 6.5% C. + 2.5% C.M.	10.33	0.5774	3	0.488	0.057
7	91% S. A + 5.5% C. + 3.5% C.M.	13.67	0.5774	3	0.488	0.057
8	90% S. A + 6.5% C. + 3.5% C.M.	12.67	0.5774	3	0.488	0.057

Por consecuencia, en la tabla 38 se evidencian los resultados proporcionados por Anderson Darling que en el valor de “P” del CBR y los grupos experimentales son mayor al 0.01 siendo así, que es de una población una distribución normal.

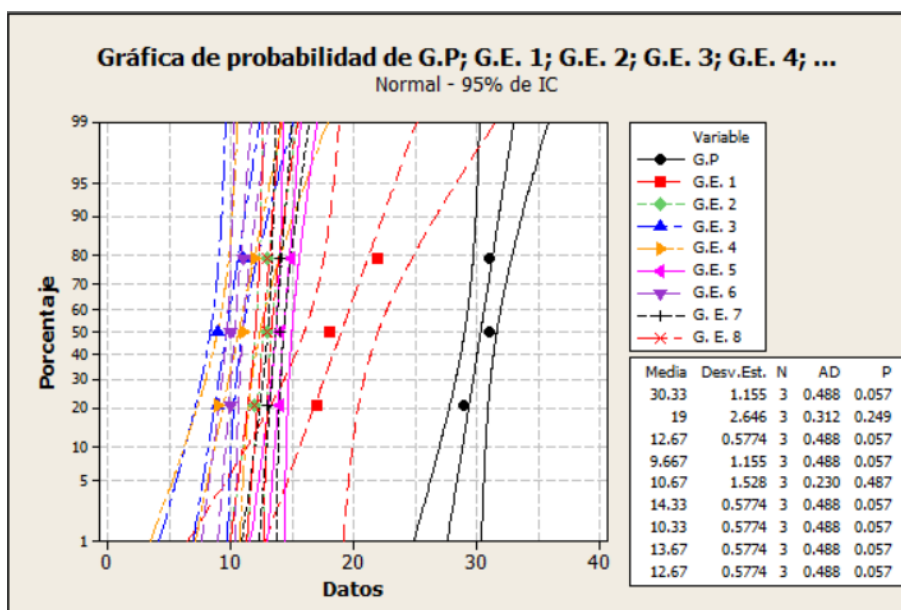


Figura 59 Grafica de Normalidad Anderson Darling (AD).

Fuente: Elaboración Propia

Prueba de normalidad Shapiro Wilk

La muestra analizada es menor a 50, así mismo, también se usó para saber si los datos tienen una distribución normal o no, además, se utilizó una significancia de 0.05, tal como lo indica la tabla número 39.

Tabla 39 Prueba de normalidad Shapiro Wilk.

N° de Grupo	Diseños	Shapiro Wilk				
		Media	Desviación Estándar	N	RJ	Valor P
Patrón	Suelo Arcilloso	30.33	1.155	3	1.000	>0.100
1	92% S.A + 5.5% C. + 2.5% C.M.	19	2.646	3	0.945	>0.100
2	91% S. A + 6.5% C. + 2.5% C.M.	12.67	0.5774	3	1.000	>0.100
3	91% S. A + 5.5% C. + 3.5% C.M.	9.667	1.155	3	1.000	>0.100
4	90% S. A + 6.5% C. + 3.5% C.M.	10.67	1.528	3	0.982	>0.100
5	92% S. A + 5.5% C. + 2.5% C.M.	14.33	0.5774	3	1.000	>0.100
6	91% S. A + 6.5% C. + 2.5% C.M.	10.33	0.5774	3	1.000	>0.100
7	91% S. A + 5.5% C. + 3.5% C.M.	13.67	0.5774	3	1.000	>0.100
8	90% S. A + 6.5% C. + 3.5% C.M.	12.67	0.5774	3	1.000	>0.100

Fuente: Elaboración Propia

Por consecuencia, en la tabla 39 se evidencian los resultados proporcionados por la prueba de Shapiro Wilk que en el valor de “P” para el grupo patrón y los grupos experimentales son mayor al 0.05 siendo así, que es de una población una distribución normal, por ello se utilizará la prueba paramétrica ANOVA.

ANÁLISIS DE VARIANZA (ANOVA)

Por continuidad se confirmó que obtuvo la normalidad de datos y homogeneidad de varianza, por ello se realizó la prueba paramétrica ANOVA.

H0: Una proporción definida de cal y cenizas de madera no disminuye el índice de Plasticidad.

H1: Una proporción definida de cal y cenizas de madera disminuye el índice de Plasticidad.

Figura 60 Análisis de varianza de CBR

ANOVA unidireccional: G.P; G.E. 1; G.E. 2; G.E. 3; G.E. 4; G.E. 5; G.E. 6; ...						
Fuente	GL	SC	CM	F	P	
Factor	8	113.7852	14.2231	170.68	0.000	
Error	18	1.5000	0.0833			
Total	26	115.2852				
S = 0.2887 R-cuad. = 98.70% R-cuad. (ajustado) = 98.12%						

Fuente: Propia

En principio, los datos de la figura 60, indica que el valor de “P” tiene un valor menor al 0.05, por ello, se procede al rechazo de la hipótesis nula H0 y a la aprobación de la hipótesis alterna H1.

Prueba Post-Hoc Tukey

Tabla 40 Prueba de Tukey del CBR.

N° de Grupo	Diseños	Diferencia de medias	Desv. Est	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite Inferior	Límite Superior
Patrón	Suelo Arcilloso	-	1.155	-	-	-
1	92% S.A + 5.5% C. + 2.5% C.M.	11.333	2.646	0.000	14.862	7.805
2	91% S. A + 6.5% C. + 2.5% C.M.	17.666	0.577	0.000	21.195	14.138
3	91% S. A + 5.5% C. + 3.5% C.M.	20.666	1.155	0.000	24.195	17.138
4	90% S. A + 6.5% C. + 3.5% C.M.	19.666	1.528	0.000	23.195	16.138
5	92% S. A + 5.5% C. + 2.5% C.M.	16	0.577	0.000	19.529	12.471
6	91% S. A + 6.5% C. + 2.5% C.M.	20	0.577	0.000	23.529	16.471
7	91% S. A + 5.5% C. + 3.5% C.M.	16.666	0.577	0.000	20.195	13.138
8	90% S. A + 6.5% C. + 3.5% C.M.	17.666	0.577	0.000	21.195	14.138

Fuente: Elaboración Propia

En la tabla 40 se observa que en todas las muestras existe una gran diferencia significativa entre ellas debido a que todas las muestras $p=0$ son menores a 0.05 y para este caso se acepta la H1.

Tabla 41 Medias para los diseños de CBR.

N° de Grupo	Diseños	N	Alfa = 0.05			
			1	2	3	4
Patrón	Suelo Arcilloso	3	30.333			
1	92% S.A + 5.5% C. + 2.5% C.M.	3		19.000		
2	91% S. A + 6.5% C. + 2.5% C.M.	3		12.667		
3	91% S. A + 5.5% C. + 3.5% C.M.	3		9.667		
4	90% S. A + 6.5% C. + 3.5% C.M.	3			10.667	
5	92% S. A + 5.5% C. + 2.5% C.M.	3			14.333	
6	91% S. A + 6.5% C. + 2.5% C.M.	3			10.333	
7	91% S. A + 5.5% C. + 3.5% C.M.	3				13.667
8	90% S. A + 6.5% C. + 3.5% C.M.	3				12.667

Fuente: Elaboración Propia

En la tabla 41 se observa la diferencias de las medias significativas, a través de los grupos experimentales y grupo patrón.

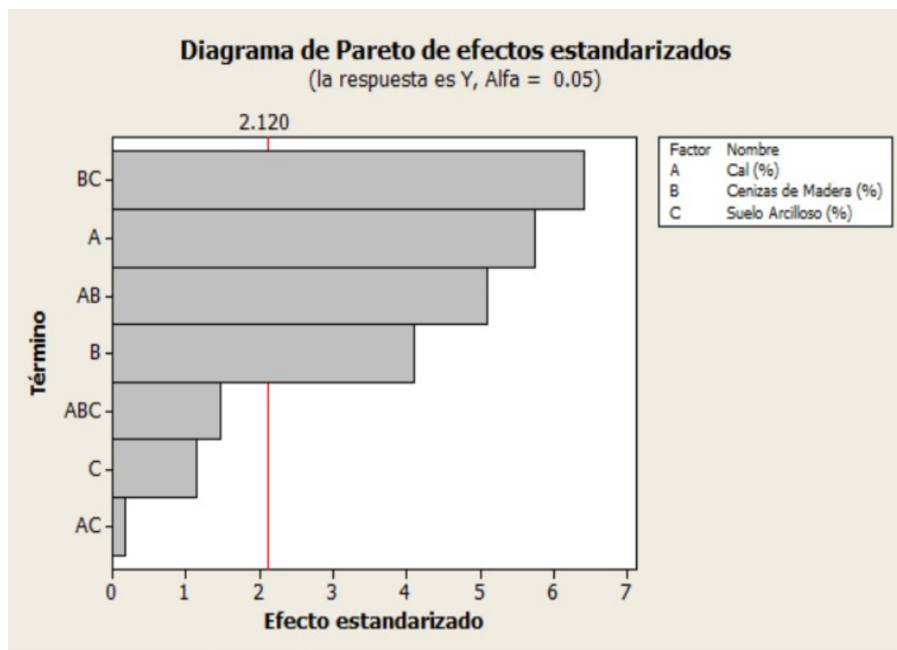


Figura 61 Diagrama de Pareto de Proctor Modificado

En la figura 61, diagrama de Pareto se evidenció que, se genera una gran incidencia conveniente para la investigación. La combinación de cal con cenizas de madera respecto al suelo arcilloso sobre pasa la franja límite de este diagrama.

V. DISCUSIÓN

De acuerdo al objetivo general, el cual fue estabilizar suelos arcillosos en una subrasante para pavimentos urbanos mediante las cenizas de madera y cal, en la investigación se desarrolló un grupo patrón 0.00% C, 0.00% C.M, 100% S.A y 8 grupos experimentales en distintas concentraciones, 5.5% C, 2.5% C.M, 90% S.A; 6.5% C, 2.5% C.M, 90% S.A ; 5.5% C, 3.5% C.M, 90% S.A ; 6.5% C, 3.5% C.M, 90% S.A; 5.5% C, 2.5% C.M, 92% S.A; 6.5% C, 2.5% C.M, 92% S.A; 5.5% C, 3.5% C.M, 92% S.A y 6.5% C, 3.5% C.M, 92% S.A, en donde al finalizar el proceso de ejecución de los respectivos ensayos que se realizaron, tanto como ensayo de CBR, límites de atterberg y proctor modificado, se obtuvo resultados, los cuales, posteriormente se verificó mediante la contrastación de hipótesis, activando y realizando la prueba paramétrica, por esta razón, se observó que la mayor incidencia significativa respecto a sus propiedades físicas y mecánicas en comparación con el grupo patrón, se alcanzó mediante la adición del grupo experimental 6 con la concentración de 6.5% C, 2.5% C.M y 92% S.A, lo cual, difiere con los datos estadísticos logrados por Labajos y Nuñez (2020) que manifiestan que con la adición de 25% de ceniza de carbón proporcionan el mayor mejoramiento respecto a sus características del suelo, y así estabilizar la subrasante respectivamente, además, también difiere con los resultados de Arrieta et al. (2010) que señalan que con la adición de S.A+6% de cal progresivamente se obtuvo los mejores resultados, mejorando significativamente las propiedades del suelo y respectivamente estabilizando el suelo arcilloso, además, también difiere con los resultados de Behak y Peres (2008) que expresan que con la adición de S.A +20% de cascara de arroz +10% cal aumenta y mejora las características del suelo para llegar a la estabilización respectivamente, además, Deepak et al. (2020) manifiestan que mediante la adición S.A + 2% de ceniza volante + 4% de cal tuvo mayor beneficio de gran alcance respecto al mejoramiento de las propiedades del suelo y obtener la estabilización predispuesta mediante los respectivos ensayos evaluados. Asimismo, se examinó las discrepancias en comparación de la investigación con los antecedentes descritos, dando a conocer sus diferencias en los resultados obtenidos, esto es debido a que, se utilizaron distintos componentes o cenizas de origen natural y porcentajes variados, teniendo así, una comparación

de resultados determinados en base a su tipo y cantidad de material de adición para estabilizar el suelo arcilloso.

En relación al objetivo específico 1, mejorar el California Bearing Ratio (CBR) en suelos arcillosos mediante una proporción definida de cal y cenizas de madera. la investigación de desarrolló un grupo patrón 0.00% C, 0.00% C.M, 100% S.A y 8 grupos experimentales en distintas concentraciones, 5.5% C, 2.5% C.M, 90% S.A; 6.5% C, 2.5% C.M, 90% S.A ; 5.5% C, 3.5% C.M, 90% S.A ; 6.5% C, 3.5% C.M, 90% S.A; 5.5% C, 2.5% C.M, 92% S.A; 6.5% C, 2.5% C.M, 92% S.A; 5.5% C, 3.5% C.M, 92% S.A y 6.5% C, 3.5% C.M, 92% S.A, en donde al finalizar el proceso de ejecución del respectivo ensayo California Bearing Ratio (C.B.R), se tuvo un gran alcance de mejoramiento significativo mediante el grupo experimental 6 respecto al grupo patrón, donde utilizó concentración de 6.5% C, 2.5% C.M y 92% S.A, respectivamente se obtuvo que el valor de CBR fue 19.13 %, además, ello se pudo comprobar mediante la contrastación de hipótesis, activando y realizando la prueba paramétrica ANOVA, ante lo manifestado anteriormente, discrepa con los datos estadísticos logrados respectivamente por Abdalla y Salih (2020) donde expresan que mediante la adición de S.A+10% de cal fue el porcentaje de mayor beneficio en la prueba mecánica C.B.R para mejorar el suelos arcilloso, además, también difiere con los resultados alcanzados por Montejo et al. (2020) donde manifiestan que alcanzaron el máximo rendimiento en la prueba C.B.R a través de la adición de S.A + 7% de ceniza de cascara de arroz, obteniendo un resultado del ensayo mecánico C.B.R de 7.8%, asimismo, también discrepa con los resultados obtenidos por Peralta (2020) donde expresan que mediante la adición de S.A + 4% de ceniza de gallinaza se obtuvieron el mayor beneficio respecto al ensayo mecánico de C.B.R, ya que, el valor respectivo que se alcanzo fue de 9.7% mejorando respectivamente sus propiedades mecánicas del suelos, se presentaron discrepancias de la investigación con los antecedentes respecto a las diferentes adiciones y distintos tipos de ceniza que se utilizaron para el mejoramiento de del suelo arcilloso que se determinó a través de la prueba mecánica C.B.R.

En relación al objetivo específico 2, mejorar la capacidad de compactación en suelos arcillosos con proporción definida de cal y cenizas de madera. la investigación de desarrolló un grupo patrón 0.00% C, 0.00% C.M, 100% S.A y 8 grupos experimentales en distintas concentraciones, 5.5% C, 2.5% C.M, 90% S.A;

6.5% C, 2.5% C.M, 90% S.A ; 5.5% C, 3.5% C.M, 90% S.A ; 6.5% C, 3.5% C.M, 90% S.A; 5.5% C, 2.5% C.M, 92% S.A; 6.5% C, 2.5% C.M, 92% S.A; 5.5% C, 3.5% C.M, 92% S.A y 6.5% C, 3.5% C.M, 92% S.A, en donde al finalizar el proceso de ejecución del respectivo ensayo Proctor modificado, se tuvo un gran alcance de mejoramiento significativo de la máxima densidad seca mediante el grupo experimental 6 respecto al grupo patrón, donde utilizó concentración de 6.5% C, 2.5% C.M y 92% S.A, respectivamente se obtuvo que el valor de 1.850 g/cm^3 , además, ello se pudo comprobar mediante la contrastación de hipótesis, activando y realizando la prueba paramétrica ANOVA, ante lo manifestado anteriormente, discrepa con los datos estadísticos logrados respectivamente por Castillo (2022) que manifiesta que a través de la adición de S.A + 3% de ceniza de bagazo de caña de azúcar mejora de gran alcance la máxima densidad seca respecto al grupo patrón, a través del ensayo proctor modificado, obteniendo un resultado significativamente de 2.09 g/cm^3 , asimismo, discrepa con los resultados predispuestos por Ayala et al. (2019) que expresan que mediante la adición de S.A + 20% de ceniza de madera obtuvieron el resultado de mayor beneficio respecto al grupo control respecto a la máxima densidad seca, el cual tuvo con valor de 1.93 g/cm^3 , además, también difiere con los resultados obtenidos por Delgado y Mormontoy (2019) que manifiestan que mediante la adición de SN + 5% cal + 3% ceniza de mazorca de maíz obtuvieron la máxima densidad seca en relación al grupo patrón, mediante el ensayo denominado proctor modificado, obtuvieron un gran beneficio eso se vio reflejado en el valor de resultado de 1.73 g/cm^3 , asimismo, también discrepa con los resultados obtenidos por Karami et al. (2019) que nos dicen que mediante la adición de S.A + 15% de ceniza volante obtuvieron resultados de mayor incremento respecto a la máxima densidad seca respecto al grupo control, mediante la prueba proctor modificado, se obtuvo un valor de 1.77 g/cm^3 .

En relación al objetivo específico 3, alterar el índice de plasticidad en suelos arcillosos con proporción definida de cal y cenizas de madera mejorar la capacidad de compactación en suelos arcillosos con proporción definida de cal y cenizas de madera. la investigación de desarrolló un grupo patrón 0.00% C, 0.00% C.M, 100% SA y 8 grupos experimentales en distintas concentraciones, 5.5% C, 2.5% C.M, 90% S.A; 6.5% C, 2.5% C.M, 90% S.A ; 5.5% C, 3.5% C.M, 90% S.A ; 6.5% C,

3.5% C.M, 90% S.A; 5.5% C, 2.5% C.M, 92% S.A; 6.5% C, 2.5% C.M, 92% S.A; 5.5% C, 3.5% C.M, 92% S.A y 6.5% C, 3.5% C.M, 92% S.A, en donde al finalizar el proceso de ejecución del respectivo ensayo, se tuvo un gran alcance de mejoramiento significativo mediante el grupo experimental 6 respecto al grupo patrón, donde utilizó concentración de 6.5% C, 2.5% C.M y 92% S.A, respectivamente se obtuvo un valor de disminución significativa respecto al grupo patrón, el valor del índice plasticidad es de 10.33 %, además, ello se pudo comprobar mediante la contrastación de hipótesis, activando y realizando la prueba paramétrica ANOVA, ante lo manifestado anteriormente, discrepa con los datos estadísticos logrados respectivamente por a Putra et al. (2022) manifiestan que mediante la adición en proporción de S+15% de ceniza de papel, el índice de plasticidad se logró reducir significativamente respecto al grupo patrón, obteniendo un valor de gran alcance de 25 %, asimismo, difiere con los resultados obtenidos por Bayshakhi et al. (2018) que expresan respectivamente que a través de la adición S.A+10% de ceniza de madera, reducen el índice de plasticidad considerablemente respecto al grupo control, obteniendo un resultado de 22%, asimismo, discrepa con los resultados predispuesto por Delgado y Mormontoy (2021) expresan que reducen de manera excepcional el índice de plasticidad con la adición de S.A+ 5% de cal + 3% de de ceniza de mazorca de maíz, ya que, respecto al grupo patrón, reducen el índice de plasticidad a 0%, además, también discrepa con los resultados de Deepak et al. (2020) donde manifiestan que a través de la adición de S.A + 2% de ceniza volante + 4% de cal, reduce de gran manera el índice de plasticidad respecto al grupo patrón, obtenido un valor significativo de 5%.

Finalmente, se puede observar que la contribución de la respectiva investigación, con un material como la ceniza de madera y la cal son significativamente rentables a nivel de resultados y combinación, ya que, haber encontrado un porcentaje óptimo de adición para mejorar las propiedades del suelo y llegar a estabilizarlo, tiene una importancia significativa, y muy importante predisponer los ensayos adecuados, puesto que alrededor del país existen en muchos lugar la necesidad de poder estabilizar este tipo de suelo y que existe la necesidad de mejorarlo para múltiples desafíos y ejecuciones.

VI. CONCLUSIONES

1. En relación al objetivo general, concluyó que se estabilizó el suelo arcilloso en una subrasante para pavimentos urbanos mediante las cenizas de madera y cal, teniendo el ideal porcentaje de adición de 6.5% C, 2.5% C.M y 92% S, lo cual, tuvo una mejoramiento significativo respecto al índice de plasticidad, máxima densidad seca y C.B.R, asimismo, mejorando las propiedades y características del suelos respecto al grupo patrón el cual es el suelo 100% arcilloso, se pudo determinar el mejoramiento del suelos, a través de la ejecución de los respectivos ensayos que se determinaron correctamente.
2. En cuanto al objetivo específico 1, concluyó que se mejoró el C.B.R del suelos arcilloso mediante una proporción definida de cal y ceniza de madera, esto se obtuvo, a través del grupo experimental 6 (6.5% C, 2.5% C.M y 92% S), respectivamente se obtuvo el valor de mayor alcance respecto al grupo patrón, el cual tuvo un valor de C.B.R de 5.03 % y el grupo experimental 6 obtuvo un valor de C.B.R de 19.13 %, asimismo, se observa un incremento de valor significativo respecto al grupo patrón.
3. En cuanto al objetivo específico 2, concluyó que se mejoró la capacidad de compactación en el suelo arcilloso con proporción definida de cal y ceniza de madera, esto se obtuvo, a través del grupo experimental 6 (6.5% C, 2.5% C.M y 92% S), ya que, se obtuvo un mayor beneficio respecto al grupo patrón, el cual tuvo un valor de máxima densidad seca de 1.76 g/cm³ y el grupo experimental 6 obtuvo un valor de máxima densidad seca de 1.85 g/cm³, asimismo se observo un mayor beneficio al compararlos respectivamente.
4. En cuanto al objetivo específico 3, concluyó que se alteró el índice de plasticidad del suelo arcilloso con proporción definida de cal y ceniza de madera, esto se desarrolló, a través del grupo experimental 6(6.5% C, 2.5% C.M y 92% S), puesto que, se obtuvo un mayor incremento respecto al grupo patrón, el cual tuvo un valor de índice de plasticidad de 30.33% y el grupo experimental 6 obtuvo un valor de índice de plasticidad de 10.33 %, asimismo se visualizó un disminución significativa en comparación del grupo patrón.

VII. RECOMENDACIONES

1. Se recomienda que continúen con la investigación, realizando diferentes estudios con el diseño factorial con adición de cal y cenizas de madera con porcentajes mayores al 6.5 C +2.5 C.M, con el fin de mejorar la subrasante de la carretera empleada.
2. De acuerdo a la investigación, se recomienda utilizar plásticos herméticos, para que se pueda conservar la humedad de suelo correctamente y así realizar los procedimientos de los ensayos adecuados en el laboratorio.
3. Se recomienda utilizar diferentes cenizas de madera como robles, cedro, caoba, etc. Para estabilizar suelos con baja capacidad de soporte, ya que tienen relación con la ceniza de eucalipto, en cual nos da resultados positivos para la mejora de las propiedades físicas y mecánicas del suelo.
4. En base a la respuesta positiva que se obtiene en la investigación, se recomienda continuar con el procedimiento de adición de cal y ceniza de eucalipto, ya que mostro un resultado positivo al estabilizar la subrasante débil de la carretera con un CBR al 95% y 100% de MDS.

REFERENCIAS

ABDALLA, Tavga; SALIH, Nihad. Hydrated lime effects on geotechnical properties of clayey soil. *Journal of Engineering*, 2020, vol. 26, no 11, p. 150-169.

ISSN: 1409-2441.

DOI: <https://doi.org/10.31026/j.eng.2020.11.10>

ALANYA, Cesar. Estabilización de suelos arcillosos incorporando cenizas de madera, originadas por ladrilleras artesanales, en la red vial vecinal Antarumi – Macachacra, Ayacucho. Tesis (Ingeniero civil). Lima: Universidad Cesar Vallejo, 2020.

Disponibile: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/64764>

ARIAS-GÓMEZ, Jesús; VILLASÍS-KEEVER, Miguel Ángel; NOVALES, María Guadalupe Miranda. El protocolo de investigación III: la población de estudio. *Revista Alergia México*, 2016, vol. 63, no 2, p. 201-206.

ISSN: 0002-5151

DOI: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=486755023011>

ARRIETA, Elizondo, NAVAS, Alejandro y SIBAJA, Obando. Efecto de la cal en la estabilización de subrasantes. *Ingeniería*. Revista de la Universidad de Costa Rica [en línea]. 2010, 20(1-2), 93-108[fecha de Consulta 23 de abril de 2023].

ISSN: 1409-2441.

Disponibile en: <https://bit.ly/3BfWpGd>

ARRIETA, Fabián, CARRO, Alejandro, OBANDO, Denia. Efecto de la cal en la estabilización de subrasantes. *Ingeniería*, 2010, vol. 20, no 1-2, p. 93-108.

ISSN: 1409-2441.

Disponibile en: <http://bitly.ws/LcPZ>

AUCALLA, Maria y VALENZUELA, Jessica. Estabilización de la Sub rasante de suelos arcillosos, aplicando la cal con cemento en el tramo de san José-Chichizu, Junin 2019. Tesis (Ingeniero civil). Lima: Universidad Cesar Vallejo, 2019.

Disponibile: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/55879>

AYALA, Guillermo; ROSADIO, A.; DURÁN, Gari. Estudio del efecto de adición de ceniza proveniente de ladrilleras artesanales en la estabilización de suelos arcillosos para pavimentos. G. Ayala, A. Rosadio, & G. Durán, Edits.) Latin American and Caribbean Consortium of Engineering Institutions, 2019, p. 1-2.

ISSN: 2414-6390

DOI: 10.18687/LACCEI2019.1.1.115

BAYSHAKHI, Deb Nath, GRYTAN, Sumi Siddiqua, ROKUNUZZAMAN, Rafiqul Islam. Geotechnical Properties of Wood Ash-Based Composite Fine-Grained Soil, *Avances en ingeniería civil*, vol. 2018, 7 pg, 2018.

ISSN 1687-8086

DOI: <https://doi.org/10.1155/2018/9456019>

BEHAK, Leonardo y PERES, Washington. Caracterización de un material compuesto por suelo arenoso, ceniza de cáscara de arroz y cal potencialmente útil para su uso en pavimentación. *Rev. ing. constr.* [en línea]. 2008, vol.23, n.1 [Fecha de consulta: 18 de abril].

ISSN 0718-5073.

Disponible en: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-50732008000100004>

BRANDAN, Martha y ABAD, Walter. Evaluación del costo y tiempo de ejecución entre los pavimentos: rígidos, flexibles y semirrígidos en el distrito de shapaja, provincia y departamento de San Martín. Tesis (Ingeniero civil). TARAPOTO: Universidad Científica del Perú, 2020.

Disponible:<http://repositorio.ucp.edu.pe/handle/UCP/1039>

CASTILLO, Roberto. Uso de ceniza de bagazo de caña de azúcar para la estabilización de base en la carretera Santiago de Cao–Huanchaco, 2021. Tesis (Título de Ingeniero Civil). Perú: Universidad Ricardo Palma, 2022.

Disponible en: <http://bitly.ws/LjfG>

CHANTO, Allan Hernández. El método hipotético-deductivo como legado del positivismo lógico y el racionalismo crítico: su influencia en la economía. *Revista de Ciencias Económicas*, 2008, vol. 26, no 2.

ISSN: 0252-9521

DOI: <https://doi.org/10.15517/rce.v26i2.7142>

CISNEROS-CAICEDO, Alicia Jacqueline, et al. Técnicas e Instrumentos para la Recolección de Datos que apoyan a la Investigación Científica en tiempo de Pandemia. *Domino de las Ciencias*, 2022, vol. 8, no 1, p. 1165-1185.

ISSN: 2477-8818

DOI: <https://doi.org/10.23857/dc.v8i1.2546>

Comparative analysis of pavement performance characteristics of flexible, semi-flexible and rigid pavement based on accelerated pavement tester por Zhao [et al]. *Construction and Building Materials* [en línea]. 2023, vol. 387, p. 131672, [Fecha de consulta: 2 de Julio de 2023].

ISSN: 0950-0618

Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.131672..>

DELGADO, Christian y MORMONTOY, Victor. Estabilización de suelos arcillosos con adición de ceniza de mazorca de maíz y cal. Tesis (Ingeniero civil). Cusco: Universidad Andina del Cusco, 2021.

Disponible: <https://repositorio.uandina.edu.pe/handle/20.500.12557/4587>

ESPINO, Yhon. Adición de ceniza de madera de fondo en la estabilización de suelos arcillosos y su aplicación a subrasante. Tesis (Ingeniero civil). Huancayo: Universidad Peruana de los Andes, 2021.

Disponible: <https://repositorio.upla.edu.pe/handle/20.500.12848/3571>

FAISAL, Mohammed, KHAN, M, ALI, Kausar y HASSA, Amer. A review on the effect of fly ash on the geotechnical properties and stability of soil. *Journal Cleaner Materials* [en línea]. 2022, vol 6, p. 100151 [Fecha de consulta: 4 de Julio de 2023].

Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.clema.2022.100151>.

ISSN: 2772-3976

FERNÁNDEZ, Sheyla. Diseño de experimentos: diseño factorial. Tesis (Magister en Ingeniería Química). Barcelona : Universidad Politécnica de Catalunya, 2020.

GAMARRA, Brayan. Análisis de las propiedades mecánicas de los suelos arcillosos con adición de escoria de metales, Perú 2021. Tesis (Ingeniero civil). La Libertad: Universidad Privada del Norte, 2022.

Disponible: <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/31134>

Hernández-Sampieri, R. & Mendoza, C. Metodología de la investigación. Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta [en línea]. Mexico D.F: Editorial Mc Graw Hill Education, 2018 [fecha de consulta: 2 de noviembre del 2022].

Disponible en: <https://virtual.cuautitlan.unam.mx/rudics/?p=2612>

ISBN: 978-1-4562-6096-5

Influence of fly-ash on the engineering characteristics of stabilised clay soi por Deepak [et al]. *Materials Today: Proceedings* [en línea]. 2021, vol. 37, p. 2014-2018, [Fecha de consulta: 2 de Julio de 2023].

ISSN: 2214-3912

Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.07.497>.

LABAJOS, Olger; NÚÑEZ, Jhon. Estabilización de suelos con cenizas de carbón para uso como subrasante mejorada. *Revista Científica UNTRM: Ciencias Naturales e Ingeniería*, 2020, vol. 3, no 1, p. 30-35.

ISSN: 2414-8822.

DOI: <https://doi.org/10.25127/ucni.v3i1.589>

LOPEZ, Junior. Estabilización de suelos arcillosos aplicando ceniza de cascara de arroz para el mejoramiento de subrasante, en la localidad de Moyobamba- Departamento de San Martin. Tesis (Título de Ingeniero Civil). Perú: Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, 2021.

Disponible: <http://bitly.ws/LjhB>

MAMANI, Lux y YATACO, Alejandro. Estabilización de suelos arcillosos aplicando ceniza de madera de fondo, producto de ladrilleras artesanales en el departamento de Ayacucho. Tesis (Ingeniero civil). Lima: Universidad San Martin de Porras, 2017.

Disponible: <https://n9.cl/b2m3t>

Ministerio de Transportes y Comunicaciones (Perú). Manual de carreteras, sección suelos y pavimentos, 2014.

Ministerio de Transportes y Comunicaciones (Perú). Manual de ensayo de materiales, mayo 2016.

MONTEJO, Rodolfo, JUÁREZ, José; ANCAJIMA, Jhonatan. Materiales alternativos para estabilizar suelos: el uso de ceniza de cáscara de arroz en vías de bajo tránsito de Piura. *Tzhoecoen: Revista Científica*, 2020, vol. 12, no 1, p. 131-140.

ISSN: 1997-3985

DOI: <https://doi.org/10.26495/tzh.v12i1.1251>

PARRA, Manuel. Estabilización de un suelo con cal y ceniza volante. Tesis (Bachiller de Ingeniería). Colombia: Universidad Católica de Colombia, facultad de ingeniería, 2018.

PERALTA, Ángel. Mejoramiento de la Subrasante de Baja Capacidad de Soporte Mediante la Incorporación de la Ceniza de Gallinaza. 2021

POLO-MENDOZA, Rodrigo, DUQUE, Jose y MASIN, David. Prediction of California bearing ratio and modified proctor parameters using deep neural networks and multiple linear regression: A case study of granular soils. *Case Studies in Construction Materials* [en línea]. 2023, vol 20, p. e02800 [Fecha de consulta: 4 de Julio de 2023].

ISSN: 2214-5095

Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2023.e02800>.

PUTRA, Asfino, HERMAN, Herman, MEDRIOS, Herman y NUGROHO, Fajar. Effectiveness of waste paper ash for stabilization on clay soil. *Rev. ing. constr.* [online]. 2022, vol.37, n.2 [citado 2023-04-28], pp.253-259.

ISSN: 0718-5073.

DOI: <http://dx.doi.org/10.7764/RIC.00030.21>

RIVERA, Jhonathan, AGUIRRE, Ana y MEJÍA, Ruby u OROBIO, Armando. Estabilización química de suelos - Materiales convencionales y activados alcalinamente. *Informador Técnico*, 84(2): 202-226.

ISSN: 2256-5035.

DOI: <https://doi.org/10.23850/22565035.2530>

RODRÍGUEZ, Andres Y PÉREZ, Alipio. Métodos científicos de indagación y de construcción del conocimiento. Revista EAN [en línea]. Julio 2017, n° 82 [Fecha de consulta: 2 de noviembre de 2022].

ISSN: 0120-8160

Disponible en <https://n9.cl/brccw>

ROSERO, Christian. Diseño de experimentos y análisis conjunto [en línea] Econ. César Augusto Pozo Estupiñán - Departamento de Publicaciones Universidad ECOTEC, 2021. 151pp. [fecha de consulta: 4 de Julio del 2023].

ISBN: 978-9942-960-59-7

Disponible en: <https://n9.cl/abvrq>

SAMPIERI, R.; FERNÁNDEZ, C.; BAPTISTA, L. Definiciones de los enfoques cuantitativo y cualitativo, sus similitudes y diferencias. *RH Sampieri, Metodología de la Investigación*, 2014, vol. 22.

Use of secondary additives in fly ash based soil stabilization for soft subgrades por Karami [et al]. *Journal Transportation Geotechnics* [en línea]. 2021, vol. 29, p. 100585 [Fecha de consulta: 2 de agosto de 2023].

Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.trgeo.2021.100585>.

ISSN: 2214-3912

VILLALTA, Julio y CHANG, Erika. Estudio experimental de las propiedades físicas, mecánicas y de resistencia de suelos arcillosos mediante el uso de puzolana natural, polvo de ladrillo y goma guar en San Cristóbal-Huancavelica. Tesis (Ingeniero civil). Lima: Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, 2020.

Disponible: <https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/653987>

VILLASÍS-Keever MÁ, MÁRQUEZ-González H, ZURITA-CRUZ JN, Miranda-Novales G, Escamilla-Núñez A. El protocolo de investigación VII. Validez y confiabilidad de las mediciones. *Rev Alerg Mex.* 2018;65(4):414-421.

ISSN: 2448-9190

DOI: <https://doi.org/10.29262/ram.v65i4.560>

ANEXOS

MATRIZ DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Título: Cenizas de madera y cal para estabilizar suelos arcillosos en una subrasante para pavimentos urbanos, Lurigancho – Chosica 2023.

TIPO DE VARIABLES	VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIÓN
VARIABLE DEPENDIENTE	Estabilización de suelos	La estabilización de suelos consiste en mejorar las propiedades a la resistencia mecánica y permanencia adecuada de sus propiedades con el pasar de los años, existen muchas técnicas y se proporcionan desde la adición de un material estabilizante (M.T.C., 2014).	La estabilización de suelos se va dar con la adición de aglomerantes, cal y cenizas de madera, buscando mejorar sus propiedades mecánicas de los suelos arcillosos, así mismo serán medidos por los siguientes ensayos en laboratorio; Granulometría para ver el tamaño de las partículas, ensayo CBR para conocer la capacidad de soporte, Proctor modificado para conocer la densidad y límite de Atterberg para conocer la plasticidad.	Dosificaciones	Porcentajes (%)	Intervalo
				Propiedades Físicas	Granulometría	Razón
VARIABLE INDEPENDIENTE	Cal y cenizas de madera	<p>Cal: Es un material aglomerante hidráulico y tiene la finalidad de unir diferentes sustancias a través de su reacción química. (López y Ortiz, 2021. p.28).</p> <p>Cenizas de madera: la ceniza de madera de fondo es la parte más gruesa de ceniza, esta ceniza se acumula en el fondo del horno y es producto de la incineración del carbón y la madera. (Espino, 2021, p.28).</p>	La cantidad de cal y cenizas de madera serán medidas a través del peso de cada aglomerante respecto al peso de suelo natural para poder representar en dosificaciones (porcentajes) las cantidades necesarias que servirán de mejora para las propiedades de los suelos arcillosos.	<p>Propiedades mecánicas</p> <p>Propiedades físicas</p>	<p>Ensayo CBR</p> <p>Proctor Modificado</p> <p>Límite de Atterberg</p> <p>Ensayo de Granulometría</p>	Razón

MATRIZ DE CONSISTENCIA

CENIZAS DE MADERA Y CAL PARA ESTABILIZAR SUELOS ARCILLOSOS EN UNA SUBRASANTE PARA PAVIMENTOS URBANOS, LURIGANCHO CHOSICA 2023						
PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	DIMENSIÓN	INDICADORES	METODOLOGÍA
<p>Problema Principal</p> <p>¿Cómo las cenizas de madera y cal podrían estabilizar los suelos arcillosos en una subrasante para pavimentos urbanos?</p>	<p>Objetivo Principal</p> <p>Estabilizar suelos arcillosos en una subrasante para pavimentos urbanos mediante las cenizas de madera y cal.</p>	<p>Hipótesis Principal</p> <p>Las cenizas de madera y cal estabilizan suelos arcillosos en subrasantes para pavimentos urbanos.</p>	<p>VI: Cal, cenizas de madera y suelo arcilloso</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Dosificación 	<p>Cal viva: Desde 5.5% hasta 6.5%.</p> <p>Cenizas de Madera: Desde 2.5% hasta 3.5%.</p> <p>Suelo arcilloso: Desde 92% hasta 90%.</p>	<p>•Tipo de Investigación: Aplicada.</p> <p>•Método de investigación: Hipotético – deductivo.</p> <p>•Diseño de investigación: Cuasi Experimental.</p> <p>•Nivel de investigación: Correlacional.</p>
<p>Problema Secundario N°1</p> <p>¿Con una proporción definida de cal y cenizas se podría mejorar el CBR en suelos arcillosos?</p>	<p>Objetivo Secundario N°1</p> <p>Mejorar el CBR en suelos arcillosos mediante una proporción definida de cal y cenizas de madera.</p>	<p>Hipótesis Secundario N°1</p> <p>Una proporción definida de cal y cenizas mejora el CBR en suelos arcillosos.</p>	<p>VD:Estabilización de suelos arcillosos</p>	<ul style="list-style-type: none"> •Propiedades mecánicas 	<ul style="list-style-type: none"> • Ensayo CBR •Proctor modificado 	<p>•Enfoque de investigación: Cuantitativo.</p> <p>•Población: 8 grupos muestrales.</p> <p>•Muestra: 24 unidades para cada Ensayo.</p> <p>•Muestreo: No probabilístico,intencional</p>
<p>Problema secundario N°2</p> <p>¿Con una proporción definida de cal y cenizas de madera se podrá mejorar la capacidad de compactación?</p>	<p>Objetivo Secundario N°2</p> <p>Mejorar la capacidad de compactación en suelos arcillosos con proporción definida de cal y cenizas de madera.</p>	<p>Hipótesis Secundario N°2</p> <p>Una proporción definida de cal y cenizas de madera mejora la capacidad de compactación Proctor Modificado.</p>				<p>•Técnica de obtención de datos: Fuentes primarias: Observación Fuentes secundarias: Textos, tesis, formatos de control, fichas.</p>
<p>Problema secundario N°3</p> <p>¿Con una proporción definida de cal y cenizas de madera cuánto altera el índice de plasticidad del suelo?</p>	<p>Objetivo Secundario N°3</p> <p>Alterar el índice de plasticidad en suelos arcillosos con proporción definida de cal y cenizas de madera.</p>	<p>Hipótesis Secundario N°3</p> <p>Una proporción definida de cal y cenizas de madera disminuye el índice de Plasticidad.</p>				<p>•Técnica para procesamiento de datos: A través de herramientas tecnológicas (software).</p>

VALIDACIÓN DE JUICIO DE EXPERTOS

CONSTANCIA DE VALIDACIÓN

Yo Clemente Condori Luis Jimmy CIP N° 92196, como profesional en carrera de ingeniería civil, por medio de este presente hago constar que se ha revisado con fines de validación de instrumentos y efectos de su ampliación al personal que elabora la tesis titulada:

“Cenizas de madera y cal para estabilizar suelos arcillosos en una subrasante para pavimentos urbanos, Lurigancho – Chosica 2023 ”

Luego de hacer las observaciones y sugerencias pertinentes, puedo dar las siguientes apreciaciones en el cuadro:

TABLA DE EVALUACIÓN DE EXPERTOS

Investigador: Ramos Avalos Melissa Stefany	D.N.I. N°: 73708890
Título de la investigación: “Cenizas de madera y cal para estabilizar suelos arcillosos en una subrasante para pavimentos urbanos, Lurigancho – Chosica 2023”.	
Universidad: Universidad César Vallejo	
Experto: <u>Clemente Condori Luis Jimmy</u>	D.N.I. N°: <u>09951407</u>
Grado académico: Doctor (<input checked="" type="checkbox"/>) Magister (<input checked="" type="checkbox"/>) Otros () Especifique:	

Criterios	Indicadores	INACEPTABLE						MÍNIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE			
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1	CLARIDAD												X	
2	OBJETIVIDAD													X
3	ACTUALIDAD												X	
4	ORGANIZACIÓN											X		
5	SUFICIENCIA										X			
6	INTENCIONALIDAD												X	
7	CONSISTENCIA												X	

VALIDACIÓN DE JUICIO DE EXPERTOS

Investigador:		Ramos Avalos Melissa				DNI N°	73708890			
Título de la investigación		"Cenizas de madera y cal para estabilizar suelos arcillosos en una subrasante para pavimentos urbanos, Lurigáncho – Chosica 2023"				Programa	Pregrado			
Universidad		Universidad César Vallejo				Sede	Ata			
Experto		Clemente Condori Luis Jimmy				DNI N°	09957407			
Grado Académico		Doctor								
Fecha		Día	07	Mes	12	Año	2023			
Aspecto por Evaluar					Opinión del experto					
Variables	Dimensiones	Indicadores	Ítem/Pregunta	Escala	PUNTUACIÓN					Observaciones/Sugerencias
					1	2	3	4	5	
Cal, cenizas de madera y suelo arcilloso.	Dosificación	Cal viva: Desde 5.5% hasta 6.5%.	¿De acuerdo a su conocimiento y su experiencia cree usted que, tiene efectos favorables al adicionar cal y cenizas de madera al suelo arcilloso?	Proporción				X		
		Cenizas de Madera: Desde 2.5% hasta 3.5%.								
Suelo Arcilloso: Desde 90% hasta 92%.										
Estabilización de suelos arcillosos.	Propiedades mecánicas	-Ensayo de CBR.	¿De acuerdo a su conocimiento y su experiencia cree usted que con el ensayo de CBR nos permitirá evaluar la capacidad de soporte del suelo?	Razón					X	
		Ensayo de Proctor Modificado	¿De acuerdo a su conocimiento y su experiencia cree usted que con el ensayo de Proctor Modificado nos permitirá hallar la máxima densidad seca y óptimo contenido de humedad?	Razón					X	

VALIDACIÓN DE JUICIO DE EXPERTOS

	Propiedades Físicas	Límites de Atterberg	¿De acuerdo a su conocimiento y su experiencia cree usted que con el ensayo de Límites de Atterberg nos permitirá evaluar la consistencia del suelo?	Razón						X
--	---------------------	----------------------	--	-------	--	--	--	--	--	---



 M. Sc. Luis J. Clemente Condon
 INSPECTOR DE CALIDAD
 SUELOS Y CONCRETO 
 C.I.P. N° 92196

VALIDACIÓN DE JUICIO DE EXPERTOS

CONSTANCIA DE VALIDACIÓN

Yo Luis Villar Requena Carbajal..... CIP N° 76748., como profesional en carrera de ingeniería civil, por medio de este presente hago constar que se ha revisado con fines de validación de instrumentos y efectos de su ampliación al personal que elabora la tesis titulada:

“Cenizas de madera y cal para estabilizar suelos arcillosos en una subrasante para pavimentos urbanos, Lurigancho – Chosica 2023 ”

Luego de hacer las observaciones y sugerencias pertinentes, puedo dar las siguientes apreciaciones en el cuadro:

TABLA DE EVALUACIÓN DE EXPERTOS

Investigador: Ramos Avalos Melissa Stefany	D.N.I. N°: 73708890
Título de la investigación: “Cenizas de madera y cal para estabilizar suelos arcillosos en una subrasante para pavimentos urbanos, Lurigancho – Chosica 2023”.	
Universidad: Universidad César Vallejo	
Experto: <u>Luis Villar Requena Carbajal</u>	D.N.I. N°: <u>04067813</u>
Grado académico: Doctor (X) Magister (X) Otros () Especifique:	

Criterios	Indicadores	INACEPTABLE						MÍNIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE			
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1	CLARIDAD													X
2	OBJETIVIDAD												X	
3	ACTUALIDAD												X	
4	ORGANIZACIÓN												X	
5	SUFICIENCIA												X	
6	INTENCIONALIDAD												X	
7	CONSISTENCIA												X	

VALIDACIÓN DE JUICIO DE EXPERTOS

Investigador:		Ramos Avalos Melissa					DNI N°	73708890		
Título de la investigación		"Cenizas de madera y cal para estabilizar suelos arcillosos en una subrasante para pavimentos urbanos, Lurigancho – Chosica 2023"					Programa	Pregrado		
Universidad		Universidad César Vallejo					Sede	Ate		
Experto		Luis Villar Requís Carbajal					DNI N°	04067913		
Grado Académico		Magister								
Fecha		Día	01	Mes	12	Año	2023			
Aspecto por Evaluar					Opinión del experto					
Variables	Dimensiones	Indicadores	Ítem/Pregunta	Escala	PUNTUACIÓN					Observaciones/Sugerencias
					1	2	3	4	5	
Cal, cenizas de madera y suelo arcilloso.	Dosificación	Cal viva: Desde 5.5% hasta 6.5%.	¿De acuerdo a su conocimiento y su experiencia cree usted que, tiene efectos favorables al adicionar cal y cenizas de madera al suelo arcilloso?	Proporción						
		Cenizas de Madera: Desde 2.5% hasta 3.5%.							X	
		Suelo Arcilloso: Desde 90% hasta 92%.								
Estabilización de suelos arcillosos.	Propiedades mecánicas	-Ensayo de CBR.	¿De acuerdo a su conocimiento y su experiencia cree usted que con el ensayo de CBR nos permitirá evaluar la capacidad de soporte del suelo? ¿De acuerdo a su conocimiento y su experiencia cree usted que con el ensayo de Proctor Modificado nos permitirá hallar la máxima densidad seca y optimo contenido de humedad?	Razón				X		
		Ensayo de Proctor Modificado		Razón					X	

VALIDACIÓN DE JUICIO DE EXPERTOS

	Propiedades Físicas	Límites de Atterberg	¿De acuerdo a su conocimiento y su experiencia cree usted que con el ensayo de Límites de Atterberg nos permitirá evaluar la consistencia del suelo?	Razón				X	
--	---------------------	----------------------	--	-------	--	--	--	---	--



 Dr. Luis V. Requís Garbajal
 JEFE DE LABORATORIO
 SUELOS Y CONCRETO
 C.I.P. N° 76748 