



FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

“ANÁLISIS DE CBR, MÁXIMA DENSIDAD Y RESISTENCIA AL CORTE PARA ESTABILIZAR UN SUELO ARCILLOSO SC UTILIZANDO 1%, 3% Y 5% CON CENIZAS DE SAÚCO EN LIMA ESTE DISTRITO ATE – VITARTE”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero Civil

Autores:

Carlos Hector Quispe Cañapataña
Juan Jorge Campos Ibañez

Asesor:

Mag. Ing. Julio Christian Quesada Llanto

Lima – Perú

2022

DEDICATORIA

Dedico este trabajo principalmente a Dios, por haberme dado la vida y permitirme el haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional.

A mi querida madre Basilia que desde el cielo me ilumina, por hacer de mí una mejor persona a través de sus consejos, enseñanzas y amor.

A mi padre Enrique y hermanos(as) por su apoyo en todo momento para seguir adelante en mis propósitos.

A mi esposa Carito e hijo Eidan por su apoyo y ser mayor motivación para nunca rendirme en los estudios y cumplir mis objetivos como persona y estudiante.

Carlos Hector Quispe Cañapataña

Dedico este trabajo principalmente a Dios, por permitirme haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional.

A mi luchadora y maravillosa madre Juanita, quien con tanto sacrificio y esfuerzo supo sacarme adelante.

A mis hermanos por su apoyo incondicional.

A mi esposa Luz Marina por su paciencia, comprensión, amor, sabios consejos, ayuda en los momentos difíciles, que si ella no hubiera sido posible concluir esta tesis.

A mi hijo Joel por estar siempre a mi lado.

Juan Jorge Campos Ibañez

AGRADECIMIENTO

A nuestros compañeros de trabajo y universidad, quienes fueron un gran apoyo y un ejemplo de superación.

A los Docentes que he tenido durante los años de estudios universitarios, los cuales me brindaron sus enseñanzas y el apoyo incondicional.

Al asesor Mag. Ing. Julio Quezada Llanto por estar guiándonos en las asesorías y la elaboración de la tesis de manera correcta.

INDICE

DEDICATORIA	2
AGRADECIMIENTO	3
ÍNDICE DE TABLAS	6
ÍNDICE DE FIGURAS	8
RESUMEN	10
ABSTRACT	11
CAPITULO I. INTRODUCCIÓN	12
1.1. Realidad problemática:	12
1.2. Justificación	44
1.3. Formulación del problema	45
1.3.1. Problema general.....	45
1.3.2. Problemas específicos.....	45
1.4. Objetivo	45
1.4.1. Objetivo general.....	45
1.4.2. Objetivos específicos.....	46
1.5. Hipótesis	46
1.5.1. Hipótesis general.....	46
1.5.2. Hipótesis específicas.....	46
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA	49
2.1. Tipo y diseño de investigación.	49
2.1.1. Tipo de investigación.....	49

2.1.2. Diseño de la investigación	50
2.2. Variable	51
4.1. Población y muestra (Materiales, instrumentos y métodos).....	52
2.2.1. Población.....	52
2.2.2. Muestra	52
4.2. Unidad de Estudio	53
4.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos	53
4.4. Procedimiento	54
<i>CAPITULO III. RESULTADOS.....</i>	<i>66</i>
<i>CAPITULO IV. DISCUSIONES Y CONCLUSIONES</i>	<i>96</i>
4.5. Discusiones	96
4.6. Conclusiones.....	98
<i>REFERENCIAS</i>	<i>100</i>

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Categoría Subrasante	20
Tabla 2 <i>Clasificación del suelo según tamaño de partícula.</i>	21
Tabla 3 Energía de compactación en diferentes pruebas en arcilla limosa.....	28
Tabla 4 Composición química del fruto de sauco.....	43
Tabla 5 Matriz de variables.....	51
Tabla 6 Población de muestras de aplicación en la tesis	52
Tabla 7 Resultados de la densidad Máxima.....	69
Tabla 8 Pruebas de normalidad para la Densidad Máxima.....	70
Tabla 9 Prueba del supuesto de Homogeneidad o igualdad de varianzas para la densidad máxima.....	70
Tabla 10 Prueba de ANOVA de un factor para la densidad máxima	71
Tabla 11 Prueba post hoc de T3 de Dunnett para la densidad máxima	72
Tabla 12 Resultados de la Resistencia al Corte Directo	75
Tabla 13 Prueba del supuesto de Normalidad para la resistencia al corte directo del espécimen 1, 2 y 3.....	76
Tabla 14 Prueba del supuesto de Homogeneidad o igualdad de varianzas para la resistencia al corte del espécimen 1, 2 y 3.....	77
Tabla 15 Prueba de ANOVA de un factor para la resistencia al corte directo de los especímenes 1, 2 y 3.....	78
Tabla 16 Prueba post hoc de Tuckey y gráficos de medias para la resistencia al corte directo de los especímenes 1, 2 y 3.....	79
Tabla 17 Resistencia al Corte del Especimen 2	80
Tabla 18 Resistencia al Corte del Especimen 3	82

Tabla 19 Resultado del ensayo CBR	85
Tabla 20 Prueba del supuesto de Normalidad para el %CBR con el 100% y 95% de MDS a 1” y 2”	86
Tabla 21 Prueba del supuesto de Homogeneidad o igualdad de varianzas para el %CBR con el 100% y 95% de MDS a 1” y 2”	87
Tabla 22 Prueba de ANOVA de un factor para el %CBR con el 100% y 95% de MDS a 1” y 2”	88
Tabla 23 Prueba post hoc de Tuckey y gráficos de medias para el %CBR con el 100% de MDS a 1”	89
Tabla 24 Prueba post hoc de Tuckey y gráficos de medias para el %CBR con el 95% de MDS a 1”	90
Tabla 25 Prueba post hoc de Tuckey y gráficos de medias para el %CBR con el 100% de MDS a 2”	91
Tabla 23 Prueba post hoc de Tuckey y gráficos de medias para el %CBR con el 95% de MDS a 2”	92

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Subrasante.	19
Figura 2: Formación de silicatos de aluminio.....	23
Figura 3: Diagrama de las estructuras de caolinita; illita; montmorillonita.....	24
Figura 4: Contenido de humedad - Peso unitario húmedo.....	26
Figura 5: Tipos de curva de compactación	27
Figura 6: Grafica Contenido de humedad - Peso unitario seco	28
Figura 7: Relación de esfuerzos principales con el círculo de Mohr.....	30
Figura 8: Representación de esfuerzos sucesivos	31
Figura 9: Resultados de corte directo.....	32
Figura 10: Gráficas del círculo de Mohr.....	34
Figura 11: Inclinación del plano de falla del suelo.....	35
Figura 12: Relación de esfuerzo	36
Figura 13: Influencia de la energía de compactación.....	36
Figura 14: Saucos.....	38
Figura 15: Diagrama de investigación	51
Figura 16: Ceniza de saucos.....	62
Figura 17: Ensayo de Contenido de Humedad	62
Figura 18: Ensayo Granulométrico.....	63
Figura 19: Ensayo Proctor	64
Figura 20: Agregado para el CBR	65
Figura 21: Gráfico de medias para la densidad máxima.....	73
Figura 22: Gráfico de medias para la resistencia al corte del espécimen 1	79
Figura 23: Gráfico de medias para la resistencia al corte del espécimen 2	81
Figura 24: Gráfico de medias para la resistencia al corte del espécimen 3	82

Figura 25: Gráfico de %CBR al 100% MDS -A 1”	89
Figura 25: Gráfico de %CBR al 95% MDS -A 1”	91
Figura 27: Gráfico de %CBR al 100% MDS -A 2”	92
Figura 25: Gráfico de %CBR al 95% MDS -A 2”	93

RESUMEN

La presente tesis que hemos realizado lleva como título: “Análisis de CBR, máxima densidad y resistencia al corte para estabilizar un suelo arcilloso SC utilizando 1% ,3% y 5% con cenizas de sauco en Lima Este distrito de Ate- Vitarte “, teniendo como objetivo principal estabilizar el suelo con cenizas de sauco, elemento frutal que crecen en Lima y mayor parte de algunas provincias del Perú, en especial de Cajamarca de donde se ha recabado el material. El diseño de investigación de acuerdo a la técnica de contrastación del proyecto es una investigación experimental la cual se desarrolló en su totalidad en laboratorio. La población y la muestra es el área del terreno a tratar en la zona de la Urbanización pariachi, Lima Este distrito Ate –Vitarte que tiene un área de 25000 m². De la cual la muestra es de 200 m² Los instrumentos que son protocolos estandarizados para recoger los resultados de manera directa y confiable de los siguientes ensayos: ASTM D 6913- 200(granulometría por Tamizado), ASTM D 2216 (Contenido de humedad), ASTM D 4318 (límite de consistencia) ,ASTM D 1557/ ASTM D1883 (Próctor modificado para CBR) ASTM D 1883 (CBR) ,ASTM.D 4254 (Densidad Relativa Mínima), ASTM.D 4254 (Densidad Relativa Máxima), ASTM.D 3080 (Ensayo de corte bajo condiciones consolidadas drenadas) Por ultimo podemos Concluir que, si es posible la estabilización del suelo arcillosos, de la urbanización Pariachi lima Este distrito Ate- Vitarte ,adicionando cenizas de sauco ,recalcando que solo se realizó para este tipo de experimento es decir con 1%,3% y 5 % del elemento frutal orgánico como es el sauco , ya que mediante los ensayos realizados en el laboratorio de Mateslab de suelos con las muestras del suelo natural recabada en Lima Este Ate-Vitarte , se observa las mejoras de las propiedades del suelo conforme se aumenta la cantidad de cenizas de sauco 1% ,3% y 5% de esta.

Palabras Clave: Cenizas de sauco, estabilización de suelos, propiedades del suelo.

ABSTRACT

The present thesis that we have made is entitled: "Analysis of CBR, maximum density and resistance to cutting to stabilize a clay soil SC using 1%, 3% and 5% with elder ash in Lima East district of Ate-Vitarte ", having as main objective to stabilize the soil with elderberry ash, fruit element that grows in Lima and most of some provinces of Peru, especially Cajamarca from where the material has been collected. The research design according to the contrasting technique of the project is an experimental research which was developed entirely in the laboratory. The population and the sample is the area of the land to be treated in the area of the Urbanization pariachi, Lima East district Ate -Vitarte that has an area of 25000 m². Of which the sample is 200 m² Instruments that are standardized protocols to collect the results directly and reliably of the following tests: ASTM D 6913- 200 (particle size by Sieving), ASTM D 2216 (Moisture content), ASTM D 4318 (consistency limit), ASTM D 1557 / ASTM D1883 (Modified proctor for CBR) ASTM D 1883 (CBR) , ASTM. D 4254 (Minimum Relative Density), ASTM. D 4254 (Maximum Relative Density), ASTM. D 3080 (Cutting test under drained consolidated conditions) Finally we can conclude that, if possible the stabilization of the clay soil, of the urbanization Pariachi lime This district Ate-Vitarte, adding elderberry ashes, emphasizing that it was only carried out for this type of experiment that is to say with 1%, 3% and 5% of the organic fruit element such as elderberry, since through the tests carried out in the Mateslab soil laboratory with the samples of the natural soil collected in Lima Este Ate-Vitarte, the improvements of the soil properties are observed as the amount of elderberry ash is increased by 1%, 3% and 5% of it.

Keywords: Elderberry ash, soil stabilization, soil properties.

CAPITULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática:

Para este trabajo se analizaron entornos problemáticos al suelo arcilloso de algunas localidades, tal que, esto amerita que se mencione que existe actualmente una alta demanda de material para agregado en la industria de la construcción, razón por la cual los recursos naturales del mundo están disminuyendo drásticamente, generando un problema en el medio ambiente.

Este problema ha dado pie a estudios e investigaciones para llevar un desarrollo sostenible, proponiendo usar residuos de diferentes productos como material para agregado que reemplace a los convencionales. (Quezada, O. 2017).

El mayor problema por tratar durante la construcción, se refiere a la calidad de los suelos in-situ, pues se debe garantizar su durabilidad, resistencia, manejabilidad y economía. De acuerdo a esto, en la mayoría de ocasiones los suelos no presentan las mejores características para su uso, por lo que se hace necesario contar con ciertos materiales y procesos que mejoren las características de estos y así obtener parámetros adecuados para ser usados. (Parra, M. 2018).

El estudio de las aplicaciones correspondientes a estabilizaciones químicas se empezó a registrar entre los años 1930 y 1940; el primer registro de uso de ceniza en pavimentación se produjo durante el año 1938, en los Estados Unidos, en el distrito de Santiago de Chicago, donde se hizo uso de un 20% a 50% de cenizas volantes como un sustituto del cemento en pavimento en una vía de aproximadamente media milla de una carretera local. Además de ello se ha registrado la construcción de pistas de aterrizaje en el aeropuerto de Newark, también en los Estados Unidos, donde se utilizaron aproximadamente 730,000 toneladas de cenizas, juntamente con el uso de arena de mar dragada que se utiliza en terraplén, donde con

la instrumentación instalada se pudo verificar, después de 5 años de operación, que los costos de mantenimiento fueron mucho más bajos que los de pavimentos comunes (NARDI, J.V., 1975).

En cuanto a nivel nacional, en nuestro país ha aumentado las construcciones de las vías. Lo cual según los estudios realizados en 2018 encontramos 79.1% de carreteras pavimentadas a nivel nacional y cuanto la localidad se encuentra en 13.2% de las vías pavimentadas. Por este suceso presentan hundimientos, fallas perjudicando a los vehículos y la sociedad, lo cual los investigadores de los departamentos de Cajamarca, Huaraz y Libertad (Trujillo) han realizado estudios del suelo para mejorar la capacidad portante, índice de plasticidad y la máxima densidad seca respectivamente, para realizar aquellos estudios han hecho agregando al suelo aditivos sólidos y líquidos donde se generó un aporte fundamental a las propiedades de suelos en cuanto su calidad en la construcción de las infraestructuras viales. Como también una manera de reciclar utilizaron productos naturales y minerales como Ceniza cascarilla de arroz, Ceniza bagazo de caña de azúcar, cal y carbón mineral donde aportó mayor capacidad soporte de suelo. (Hurtado, 2020)

Como **antecedentes internacionales** tenemos que según Cañar Tiviano, (2017) en su tesis *“Análisis Comparativo De La Resistencia Al Corte Y Estabilización De Suelos Arenosos Finos Y Arcillosos Combinadas Con Ceniza De Carbón”* la cual tiene como objetivo general evaluar los Resultados de Resistencia al Corte entre los suelos arenosos finos y arcillosos, y el comportamiento mecánico de las estabilizaciones de los suelos arenosos finos y arcillosos con cenizas de carbón, con el fin de determinar las mejores condiciones para su uso. Los resultados de ensayos CBR en suelos arenosos finos presenta un aumento del 4.6% al combinarlos con el 25% de cenizas de carbón, mejorando el porcentaje de la resistencia que va desde el 15.0% hasta el 19,60%, indicando que se puede utilizar como una sub-rasante, concluyendo que la adición de las cenizas de carbón influye favorablemente en

suelos expansivos como es el caso de la arcilla, formando una masa compacta y aumentando el grado de compactación y por lo tanto mejora su CBR y la resistencia al corte.

Así mismo, Parra Gómez (2018), en la tesis ***“Estabilización De Un Suelo Con Cal Y Ceniza Volante”*** que tiene como objetivo principal realizar la estabilización química de un suelo (caolín), mediante la adición de cal y ceniza en diferentes porcentajes para determinar la dosificación óptima de estabilizante, por medio de la resistencia a la compresión y a la tracción determina que en cuanto al uso de la ceniza volante, escogido como material alternativo, se puede concluir que no mostró a compresión un comportamiento tan satisfactorio como la cal viva y como efecto negativo se observó que fue el material con mayor deformación unitaria (9,8% aproximadamente, comparativamente con la cal cuya deformación máxima fue de 5.7% y la muestra de control, que fue del 1,8%). Esta deformación del 9,8%, es un indicativo de que, al adicionar ceniza, el cuerpo de prueba se vuelve más dúctil lo que limita el aumento de la resistencia a la compresión.

De igual manera, Buitrón & Enríquez, (2018) en la tesis ***“Estudio De La Estabilización De Arcillas Expansivas De Manabí Con Ceniza Del Volcán Tungurahua”*** con el objetivo de estabilizar arcillas expansivas con cenizas del volcán Tungurahua, en diferentes dosificaciones para controlar la excesiva presión de expansión y expansión libre por el incremento de humedad de este suelo, determinan que en corte directo, el ángulo de fricción interno para las muestras 3, 4 y 5 con la dosificación del 20 % de cenizas aumento el 31, 150 y 125 % respectivamente. La cohesión para los mismos suelos con igual dosificación se consiguió porcentajes de aumento del 742, 633 y 279% respectivamente. En la caracterización física las densidades y las muestras naturales presentaron valores entre 2.75 a 2.78, La compactación como propiedad mecánica para las muestras 3, 4 y 5 se alcanzó una densidad seca máxima de 1.53, 1.64 y 1.63 g/cm³ con contenidos de humedad óptimos de 25.36, 19.66 y 17.56% respectivamente.

Además, Barragán & Cuervo (2019), en su tesis ***“Análisis Del Comportamiento Físico Mecánico De La Adición De Ceniza De Caricarilla De Arroz De La Variedad Blando A Un Suelo Areno-Arcilloso”*** con el objetivo de analizar los factores físico-mecánicos asociados a la resistencia de un suelo areno arcilloso al adicionarse ceniza de cascarilla de arroz con respecto a un suelo virgen del mismo tipo determinaron que el contenido de 1% de adición de CCA al suelo areno arcilloso incrementa su resistencia pero no es suficiente teniendo en cuenta el valor mínimo de CBR admitido por el INVIAS, ya que el CBR de la muestra con la adición del 1% de CCA es de 1,9 con respecto al de la muestra natural el cual es 1,6 aumentando solo un 19%. También la adición de la ceniza de cascara de arroz al 1% agregada a la muestra de suelo areno arcillosa disminuyó la densidad máxima seca en un 0,7% pasando de 1,726 gr/cm³ a 1,714 gr/cm³, concluyendo que el aprovechamiento de las cenizas es beneficioso.

De igual forma, Clavería, Triana, Varón (2018), en la tesis titulada ***“Caracterización Del Comportamiento Geotécnico De Los Suelos De Origen Volcánico Estabilizado Con Ceniza De Arroz Y Bagazo De Caña Como Material Para Subrasante”***. la cual tuvo como objetivo establecer los patrones comparativos de los resultados obtenidos con los dos tipos de ceniza de biomasa con relación a los ensayos de CBR, , la muestras fue 4 especímenes alternadas en moldes de CBR en km 4 vía Manizales; los principales resultados fueron agregando el 5% CCA se aumentó el porcentaje de CBR en un 26.56% y 13.41%, también se puede apreciar el mayor aumento de CBR agregando 15% de CBCA en un 22.46% y 20.11%. y con el 5% CBA 15% CCA disminuyó CBR, se concluyó aplicando el porcentaje optimo 15% CBC y 10% CCA incrementa la mejora de las propiedades de una subrasante, valor que genero la mayor aportación en las propiedades del suelo.

Entre los **antecedentes nacionales** para la tesis tenemos que según López (2021), en su tesis ***“Estabilización De Suelos Arcillosos Aplicando Ceniza De Cáscara De Arroz Para El Mejoramiento De Subrasante, En La Localidad De Moyobamba – Departamento De San Martín.”*** que tiene como objetivo determinar la influencia de la incorporación de ceniza de cáscara de arroz como estabilizante del suelo arcilloso a nivel de subrasante, determina que la ceniza de cascarrilla de arroz mejora las características de la arcilla, por lo que el 15% CCA aumenta mucho la resistencia del suelo, pero con un 10% CCA. Se tiene buena rasante. También aumenta el índice de plasticidad: la PI del suelo natural es del 23,84%, la incorporación del 5% es del 26,45%, con 10% se tiene 26,73% y con 15% el 26,75%, a través del ensayo de CBR al 95%, en suelo natural el CBR fue 3.96%, con 5% de CCA fue 6.90%, con 10% CCA tiene un CBR del 9,60% e incorporando la ceniza de cáscara de arroz del 15% tiene un CBR del 10,5%, por lo que la resistencia máxima se puede obtener en una combinación del 15%.

También Ramírez Cruz (2020) en su tesis ***“Incorporación De La Ceniza De Cabuya Para Mejorar Las Propiedades De Suelos Arcillosos, Tramo De Yarumayo – San Pedro De Chaulán, Huánuco – 2020”*** cuyo objetivo es determinar la influencia de la Incorporación de la Ceniza de Cabuya mejora las propiedades de Suelos Arcillosos, determina que el CBR en relación a máxima densidad seca con penetración 1” y 100% de la MDS , la incorporación de ceniza de cabuya contribuye en la capacidad soporte de 8% para suelo natural obteniendo valores en forma creciente desde 13.2% con el 6% hasta un 17.5% con el 12% de ceniza cabuya; entonces la influencia de la ceniza cabuya es notable en los porcentajes pretendidos, poder ser usado como un sub rasante bueno, concluyendo así que la incorporación de ceniza de cabuya en 6%, 8% y 12% aporta en la reducción en la expansión; lo que impide la entrada de agua, reduciendo los cambios volumétricos del suelo expansivo, de esta manera reduciendo posibles grietas, asentamiento.

A su vez Mamani Barriga, (2018) en la tesis que titula ***“Estabilización De Suelos Arcillosos Aplicando Ceniza De Madera De Fondo, Producto De Ladrilleras Artesanales En El Departamento De Ayacucho ”*** cuyo objetivo es determinar la incidencia de la ceniza de madera de fondo, producto de ladrilleras artesanales, en la estabilización del suelo arcilloso determina que la adición de ceniza disminuye el Índice de Plasticidad del ensayo de límites de consistencia e incrementa la gravedad específica de los sólidos, beneficiando las características físicas del suelo, además el ensayo Proctor Modificado, disminuye la humedad óptima del suelo de acuerdo a las combinaciones arcilla-ceniza de fondo. La combinación arcilla-ceniza respecto a los ensayos mecánicos, curado a 7 y 14 días incrementa los parámetros de resistencia al corte, tales como: esfuerzo al corte, ángulo de fricción interna y cohesión, , concluyendo que, la adición de ceniza de madera mejora su comportamiento físico-mecánico.

Así mismo, Chiclon & León (2020), en la tesis ***“Evaluación De Estabilización De Suelos Arcillosos Aplicando Ceniza De Carbón En La Subrasante De La Av. Cuzco, Distrito De San Martín De Porres, 2020”*** cuyo objetivo es determinar la influencia de la ceniza carbón en la estabilización de suelos arcillosos en la subrasante de la Av. Cuzco, determinaron que la influencia está relacionada con los porcentajes propuestos, es por ello que esta se mejora con respecto al Proctor modificado, Se estableció la dependencia del porcentaje de ceniza de carbón en el ensayo de Límites de Atterberg, al emplearse el 24% de Ceniza de carbón para la disminución del Índice de Plasticidad., es por ello que esta se mejora con respecto a los Límites de Atterberg,. Para finalizar el porcentaje de ceniza de carbón en el ensayo de CBR, al 24% de Ceniza de carbón para aumentar. Entonces se puede ver que la influencia está relacionada con los porcentajes propuestos, comprobando la mejora de la capacidad portante.

Igualmente, Ccanto Diaz, (2019) en la tesis *“Estabilización De Suelo Arcilloso Con Cenizas De Bagacillo (Cb) Para El Mejoramiento De La Sub Rasante De La Av. Universitaria, Lima 2019”* con el objetivo de determinar la influencia de la adición de ceniza de Bagacillo CB en porcentajes de 10%, 15 % y 20 %, en el mejoramiento de la estabilidad del suelo arcilloso para su uso como sub rasante determina que según los ensayos de CBR el porcentaje óptimo a adicionar de Cenizas de Bagacillo CB es del 15%, determinando que el CBR aumenta hasta en 6.6 veces su valor, en estado natural es de 2.3% considerada inadecuada y con el del 15% de cenizas el CBR aumento a 15.2% considerada buena, la máxima densidad seca es de 1.801g/cm³, así mismo se logró determinar el óptimo contenido de humedad de la combinación de la muestra CS-02+10% CB que es 13.4%., se concluye que Cenizas de Bagacillo CB influyen positivamente en el mejoramiento de la resistencia del suelo arcillosos para uso como sub rasante.

Suelo

Los suelos constituyen el componente principal de todo tipo de proyectos, en proyectos viales los suelos deben ser capaces de soportar cargas como: vehículos, personas y estructuras de pavimentos en condiciones del medio ambiente en donde la humedad y la presencia de agua son apreciables éstos deben tener características similares a conductores o canales con el fin de trasportar el agua acumulada en su interior al exterior con facilidad. (J. Pérez y R. Ribero, 2008)

Suelos arcillosos.

Muchos de los suelos arcillosos se hallan en zonas de alta precipitación, presentando deficiencias en el drenaje, este suelo se caracteriza por su alto contenido de agua y su baja resistencia in situ. Los suelos arcillosos cuando experimentan cambios de humedad tienden a presentar cambios de volumen. (C. Kraemer y J. Pardillo, 2004)

La constitución del suelo arcilloso es por los siguientes minerales activos como la montmorillonita en grandes proporciones y en pocas proporciones o casi nulas la clorita y la vermiculita. Y los minerales que no se consideran activas son las caolinitas y las illitas, éstos sin embargo pueden contribuir a las propiedades expansivas de los suelos siempre y cuando se encuentren en cantidades apreciables. Existen propiedades físicas que influyen al cambio volumétrico y tienen incidencia tanto en sitio como en el laboratorio. (Fonseca y A.

Montejo)

Subrasante

Según el Manual de Suelos, Geología, Geotecnia y pavimentos del MTC (2014), la subrasante se define como el nivel del terreno sobre el cual se colocará la estructura del pavimento o el afirmado, considerando el movimiento de tierras (corte y relleno). (Quispe, Escobar, Quispe & Arana, 2017)



Figura 1: Subrasante.
Fuente: Tranciedad.com

La subrasante es el material de suelo que sostendrá al pavimento y por ende recibirá las cargas provenientes del tránsito. Por ello, se debe asegurar que el material que lo componga sea capaz de resistir dicha carga durante su vida útil. Este material debe estar conformado por suelos seleccionados de características admisibles y compactadas por capas. Según el Manual

de Ensayo de Materiales E 115 del MTC (Ministerio de Transportes y Comunicaciones [MTC], 2016), la compactación del suelo en los últimos 30 centímetros debajo del nivel superior de la subrasante debe hacerse al 95% de la máxima densidad seca obtenida en el ensayo Proctor modificado. (Quispe, Escobar, Quispe & Arana, 2017).

Para medir la capacidad portante del suelo de la subrasante, se utiliza el CBR, el cual es un valor de resistencia comparado con el de un material estándar establecido y estará referido al 95% de la máxima densidad seca del ensayo Proctor modificado.

A partir del cálculo de CBR de la subrasante, se puede determinar categorías que se muestran en la Tabla 1 según lo indica el MTC (2014).

Tabla 1

Categoría Subrasante

Categorías de subrasantes	CBR
Subrasante inadecuada	CBR < 3%
Subrasante insuficiente	De CBR $\geq 3\%$ a CBR < 6%
Subrasante regular	De CBR $\geq 6\%$ a CBR < 10%
Subrasante buena	De CBR $\geq 10\%$ a CBR < 20%
Subrasante muy buena	De CBR $\geq 20\%$ a CBR < 30%
Subrasante excelente	De CBR $\geq 30\%$

Fuente: Manual de Suelos, Geología, Geotecnia y pavimentos del MTC (2014)

Propiedades de un suelo arcilloso

La arcilla es la descomposición química principalmente de silicatos que provienen de rocas ígneas y metafóricas. (Juárez et al, 2005) (1)

Se clasifica a la arcilla según el tamaño de partícula del suelo, las partículas menores a un diámetro de 0.002mm son consideradas arcillas. Se presenta una tabla de la norma American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), donde se observa esta clasificación de los suelos.

Tabla 2

Clasificación del suelo según tamaño de partícula.

TIPO DE MATERIA	TAMAÑO DE PARTICULAS (AASHTO T88-10)
Arena gruesa	2.00-0.42 mm
Arena fina	0.42-0.074 mm
Limo	0.074-0.002 mm
Arcilla	Menor a 0.002 mm
Coloides	Menor a 0.0001 mm

Fuente: norma AASHTO 2018

Por otro lado, se clasifica a la arcilla según su naturaleza, existen arcillas primarias y secundarias. Las arcillas primarias son las que se no han cambiado de lugar por ningún agente, en este grupo se encuentra el caolín que tiene granos gruesos y un índice de plasticidad bajo. Las arcillas secundarias son las que han cambiado de su lugar de origen por algún factor ambiental como el agua, en este grupo de arcillas se puede encontrar elementos como la mica, cuarzo, hierro y otros elementos. (Hidalgo, 2012) ⁽¹⁾

La arcilla tiene al color como un factor diferenciador según los componentes que se encuentran en ese suelo. El color blanco representa que es un suelo de pura arcilla que proviene de la descomposición de rocas con feldespato, proceso que dura miles de años. (Hidalgo, 2012) ⁽¹⁾

Por otro lado, la arcilla posee propiedades físicas como la plasticidad, cohesión y capacidad de absorber agua. Una propiedad en particular es la resistencia al secarse al aire, que requiere un esfuerzo mayor a los limos para llegar a romperlo. (Peck, Hanson y Thornburn, 1998) ⁽¹⁾

La arcilla al poseer la propiedad de absorción, lo convierte en un suelo incompetente para su uso, además, el tiempo de consolidación es largo (Gonzales de Vallejo, 2002).⁽¹⁾ El proceso puede durar años debido a que sus partículas son pequeñas y se encuentran juntas sin dejar espacios para que pase el agua, por lo tanto, el agua es retenida.

Asimismo, la arcilla tiene como principal propiedad la resistencia cohesiva que es inversamente proporcional al nivel de humedad. Esta es una propiedad presente en los suelos finos, ya que, el tamaño de sus partículas hace posible que exista una cohesión entre sus partículas que se presenta en valores muy pequeños en los suelos granulares.

Estructura de un suelo arcilloso

Las arcillas tienen una composición mineral y una estructura mineral que son de suma importancia, dado que, influyen en su comportamiento mecánico.

Están compuestas principalmente por silicatos de aluminio hidratados, silicato de magnesio, hierro, magnesio, oxígeno e hidrógeno. Los silicatos de aluminio hidratados están constituidos por cadenas tetraédricas y octaédricas con enlaces covalentes débiles, debido a ello, el agua puede entrar y expandir el volumen del suelo. (González de Vallejo, 2002). (1)

Al unir por medio de enlaces, los elementos mencionados, forman un mineral de arcilla que está compuesto por láminas.

Las arcillas tienen tres unidades estructurales básicas. La Gipsita (G) es una lámina de alúmina que es producto de la combinación de octaedros de aluminio. La Brucita (B) es una lámina hidratada producto de la combinación de octaedros de magnesio (Mg). Por último, la lámina de sílice que es el grupo de tetraedros de sílice (SiO_4). (Duque et al, 2002) (1)

Las arcillas 1:1 es un modelo compuesto de octaedro G o B y Tetraedros de Silicio. Por otro lado, las arcillas 2:1 está compuesta por 2 tetraedros de silicio y en medio un octaedro G o B. (Duque et al, 2002) En la Figura 2 se observa la formación de silicatos de aluminio compuesto de uno o dos unidades básicas: tetraedro de sílice y octaedro de alúmina.

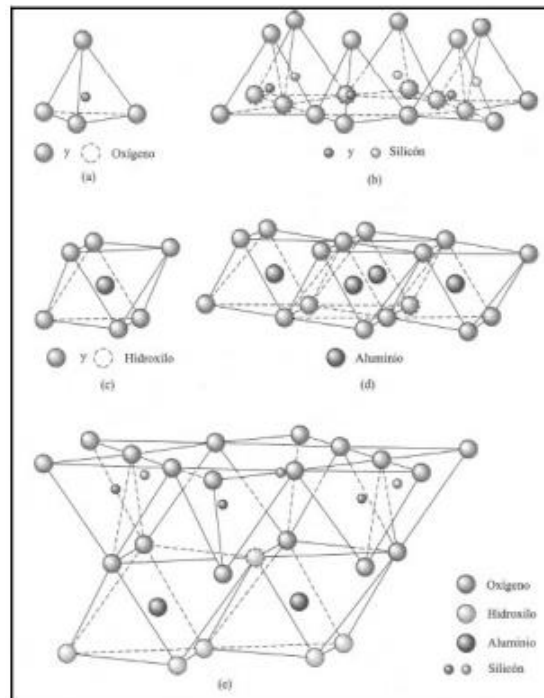


Figura 2: Formación de silicatos de aluminio
Fuente: Fundamentos de ingeniería geotécnica 2014

Los minerales de arcilla se clasifican en función del número de capas fundamentales de su estructura, en el cual se puede distinguir el grado de ordenamiento. Entre ellos tenemos las caolinitas, ilitas y las montmorillonitas.

- **Las caolinitas:** Son el principal grupo de arcillas que tienen baja capacidad de intercambio, 10 a 12 me (miliequivalente) cada 100 gr. Tiene dos capas de cationes y son arcillas 1:1 compuestas por una capa tetraédrica y una capa octaédrica de alúmina hidratada. Su estructura no es expansiva ya que, no admite agua sus retículos. Es un grupo de arcillas moderadamente plásticas de mayor permeabilidad y mayor fricción interna. Las arcillas que pertenecen a este grupo son: Haloisita, Caolinita, Endellita, Dickita, Alofano, Nacrita y Anauxita.
- **Las illitas:** Tienen una capacidad de intercambio de 40 me cada 100gr, por lo tanto, son arcillas expansivas. Son arcillas 2:1, las láminas de alúmina están

entre dos láminas de SiO_4 , las cuales están ligadas por iones de potasio que le proporciona cierta estabilidad al conjunto. La actividad de la illita es 0,9 mientras que de la caolinita es 0,38. Es un grupo de arcillas con un coeficiente de fricción interno y una permeabilidad menor que en las caolinitas y mayores que en las montmorillonitas.

- **Las montmorillonitas:** Tienen una capacidad de intercambio de 120 me cada 100 gr, por lo tanto, son arcillas muy expansivas. Son arcillas 2:1, entre las láminas de sílice se encuentra una brucita o una gibsita. La unión entre sus minerales individuales es débil, por ello, el agua se introduce en forma de moléculas que producen el hinchamiento.(1)

Es un grupo de arcillas muy plásticas y que se contraen al secarse, que les permiten mejorar su resistencia y hacerse impermeables. La actividad de la montmorillonita es de 7,2. Las arcillas que pertenecen a este grupo son: Montmorillonita, Hectorita, Saponita, Beidellita, Sauconita, Talco, Porfilita y Nontronita.

En la Figura 3, se hace un resumen de los diferentes grupos de arcilla, en el cual se observa la diferencia estructural de cada grupo de arcilla y el ancho de sus capas.

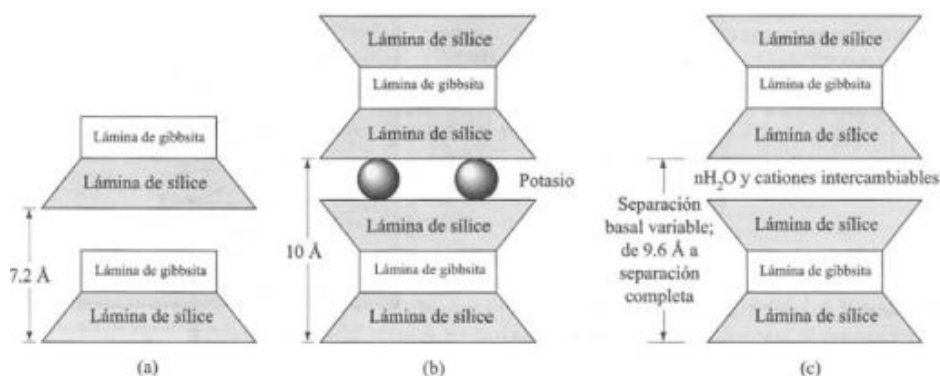


Figura 3: Diagrama de las estructuras de caolinita; illita; montmorillonita.

Fuente: Fundamentos de ingeniería geotécnica 2014.

Compactación de suelos

La compactación de suelos tiene como fin aumentar las características de resistencia de un suelo que será empleado para la construcción de carreteras, presas de tierras u otras estructuras que requieren que se mejore su capacidad de carga. Este mecanismo artificial mediante la aplicación de una energía mecánica permite que las partículas del suelo sean obligadas a unirse entre sí, lo que reduce los vacíos que están conformados por agua o aire. El grado de compactación del suelo se mide según su peso unitario seco. Este proceso de densificación de la masa permite obtener una mejor resistencia y una mayor estabilidad volumétrica. (1)

Por otra parte, existen factores que influyen en el mecanismo de compactación como la humedad, el efecto por el tipo de suelo y los efectos del esfuerzo de compactación (energía por unidad de volumen).

Factor humedad

El agua tiene un papel importante en la compactación de suelos, pues, se logra que las partículas de suelo se distribuyan fácilmente gracias a la presencia del líquido que actúa como un agente suavizante. (1)

El suelo seco a medida que se le aumenta su contenido de humedad y estar sometido a un mismo esfuerzo de compactación genera que el peso unitario seco se incremente, es decir, aumenta el número de partículas en cierto volumen. El peso unitario seco se incrementa hasta un punto máximo que se denomina Peso Unitario Seco Máximo en el cual, el contenido de humedad necesario para alcanzar dicho nivel se denomina Contenido de Humedad Óptimo, una vez que se alcanza ese punto, cualquier aumento del contenido de humedad tenderá a reducir el peso unitario seco debido a que el agua comienza a llenar los espacios que han sido ocupados por las partículas de suelos acomodadas. (Das, 2015) (1)

En la Figura 4 se muestra los cambios que tiene el suelo respecto a su peso unitario cuando se incrementa su contenido de humedad.

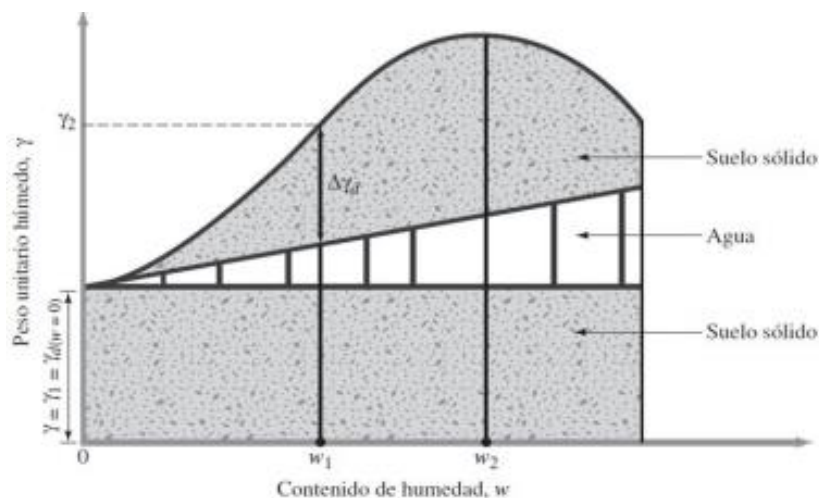


Figura 4: Contenido de humedad - Peso unitario húmedo.

Fuente: Fundamentos de ingeniería geotécnica 2014.

Para la obtención de los valores de Peso Unitario Seco Máximo y Óptimo Contenido de Humedad se realiza generalmente la prueba de laboratorio denominada prueba Proctor de Compactación, la cual se clasifica en dos tipos, Prueba Proctor Estándar y Prueba Proctor Modificada, los cuales se elegirán dependiendo el nivel de compactación que se desea alcanzar.

Por otra parte, existen otros factores que influyen en el mecanismo de compactación como el efecto por el tipo de suelo y los efectos del esfuerzo de compactación (energía por unidad de volumen).

Efecto por tipo de suelo

El efecto por el tipo de suelo se refiere a la distribución del tamaño de partículas, la forma de los granos, la cantidad y tipo de granos de arcillas que conforman el suelo. Todo ello influye en el Peso Seco Máximo y el Óptimo Contenido de Humedad. (1)

Se realizó un estudio de curvas de compactación de 35 muestras de suelo dirigido por Lee y Suedkamp en el año 1972. Dichas curvas se observan en la Figura 5.

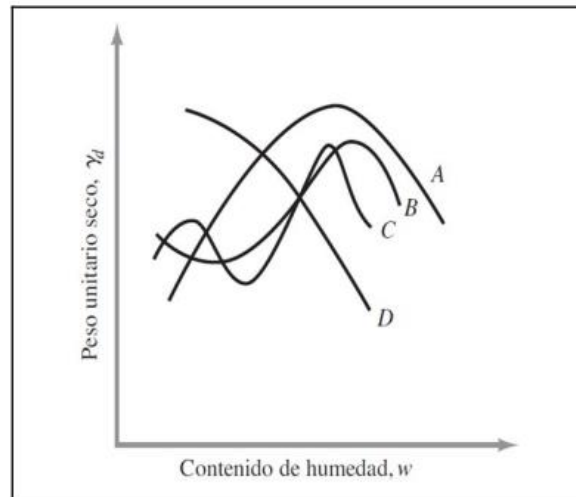


Figura 5: Tipos de curva de compactación
Fuente: Fundamentos de ingeniería geotécnica, 2014.

La curva de compactación A son aquellas muestras con un solo pico y son suelos con un límite líquido (LL) de 30 a 70. La curva B cuenta con un pico y medio, la curva C cuenta con doble pico. Este par de curvas se encuentran en suelos con un LL inferior a 30 aproximadamente. La curva D no cuenta con un pico definido. Entre ellas, las curvas C y D se encuentran en suelos con un LL mayor que 70 aproximadamente, son poco comunes. (1)

Efecto del esfuerzo de compactación

El efecto del esfuerzo de compactación es un factor que influye directamente con la curva de Peso Unitario Húmedo. Este efecto se puede observar mediante las curvas de compactación con energías de compactación diferentes. Empleando la prueba de Proctor Estándar se puede describir la energía de compactación por unidad de volumen como se muestra en la Figura 6.(1)

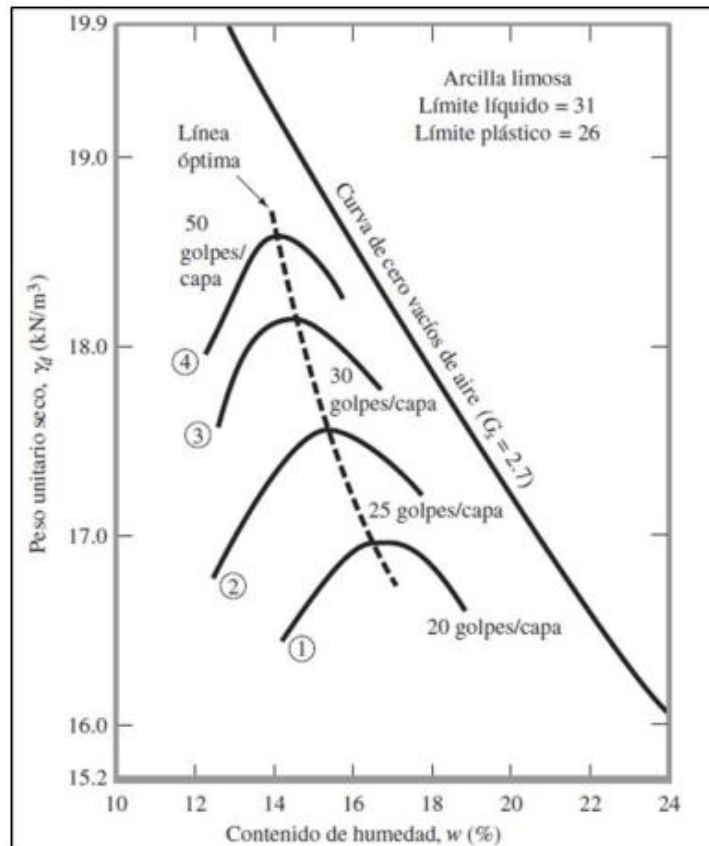


Figura 6: Gráfica Contenido de humedad - Peso unitario seco
Fuente: Fundamentos de ingeniería geotécnica 2014.

Además, se presenta la Tabla 3 con los valores de energía de compactación aplicados para las diferentes pruebas mostradas en la Figura 6.(1)

Tabla 3

Energía de compactación en diferentes pruebas en arcilla limosa

Curvas de las pruebas mostradas en la figura 6	Número de golpes/capa	Energía de compactación (KN-m/m3)
1	20	473,0
2	25	591,3
3	30	709,6
4	50	1182,6

Fuente: Fundamentos de ingeniería geotécnica 2014.

Del caso mostrado se puede concluir que a medida se aumenta el esfuerzo de compactación, se incrementa el peso unitario seco máximo de compactación y se reduce en

cierta medida el contenido óptimo de humedad. Es importante considerar que el contenido óptimo de humedad no es necesariamente directamente proporcional al esfuerzo de compactación.

Resistencia al corte.

Esfuerzos principales

Un punto al ser sometido a cierta presión genera tres planos ortogonales denominados planos normales donde los esfuerzos tangenciales son igual a cero. Existe 3 esfuerzos principales que son esfuerzos que actúan sobre los planos normales de cada uno.

El esfuerzo principal es denominado esfuerzo principal mayor σ_1 , el de valor medio es el esfuerzo principal intermedio σ_2 y el último se llama esfuerzo principal menor σ_3 . (1)

Círculo de Mohr

Los esfuerzos existentes se muestran en estado bidimensional y no en su estado natural tridimensional, para que sea práctico, siendo el estado de esfuerzos en el plano correspondientes a los esfuerzos verticales mayor y menor, además, cuando son esfuerzos a presión se consideran positivos. La diferencia entre el esfuerzo mayor y menor ($\sigma_1 - \sigma_3$) se denomina esfuerzo desviador. (1)

A partir de las componentes vectoriales de los esfuerzos σ_1 y σ_3 se podrán hallar los esfuerzos normales y tangenciales en cualquier otra dirección mediante ecuaciones, las cuales se deducen de la Figura 7.

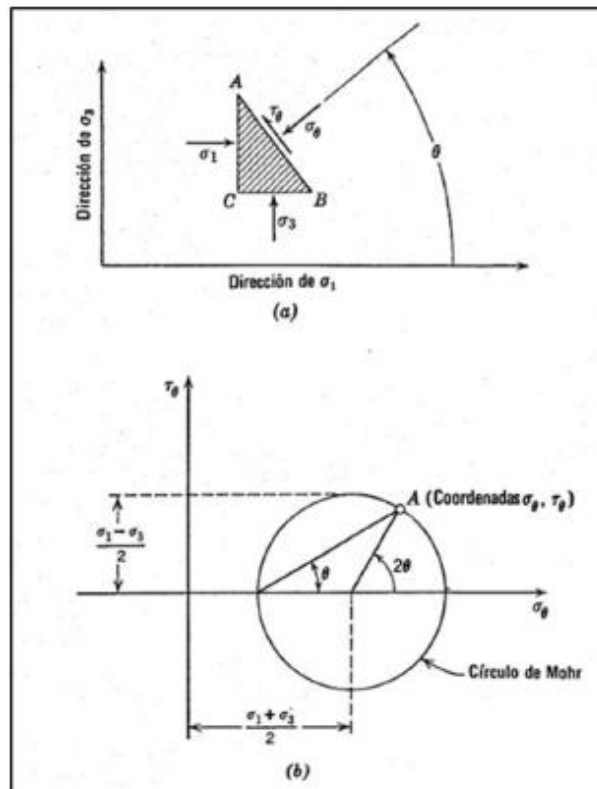


Figura 7: Relación de esfuerzos principales con el círculo de Mohr.
Fuente: Representación de los esfuerzos mediante el círculo de Mohr

Cualquier punto de la circunferencia se refiere a los esfuerzos sobre un plano cuya normal forma un ángulo σ con la dirección del esfuerzo principal mayor, la cual representa gráficamente el estado de esfuerzos que se denomina círculo de Mohr.

El esfuerzo tangencial máximo es el punto ($\sigma_{\text{máx.}}$) y tiene por valor $(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$, quiere decir que este valor es el radio del círculo de Mohr como se muestra en la Figura 8.

Asimismo, este esfuerzo tangencial se produce en planos que forman $\pm 45^\circ$ con la dirección del esfuerzo principal mayor. (Das, 2012).(1)

Diagrama p-q

El diagrama de p-q o diagrama de Mohr es utilizado para representar los diferentes estados de esfuerzos para determinadas muestras, no obstante, cuando se presenta muchas muestras de suelo no resulta eficiente ya que se representa muchos círculos, en estas

situaciones una mejor opción es utilizar el diagrama p-q, el cual consiste en una representación puntual de los esfuerzos.⁽¹⁾

Al utilizar el diagrama p-q los esfuerzos principales se encuentran sobre los planos verticales y horizontales por lo que las ecuaciones de sus coordenadas se reducen.

El valor de q es equivalente en valor a la mitad del esfuerzo desviador. En el círculo de Mohr el q al ser positivo representa el punto más alto y si fuese negativo al punto más bajo del círculo.

De igual manera, estos puntos de coordenadas (p, q) se unen mediante una línea llamada trayectoria de esfuerzos. De esta manera se representa una continuidad de estados de esfuerzos. En la Figura 8 se muestra una representación de estados de esfuerzos sucesivos utilizando un diagrama de Mohr y un diagrama p-q.⁽¹⁾

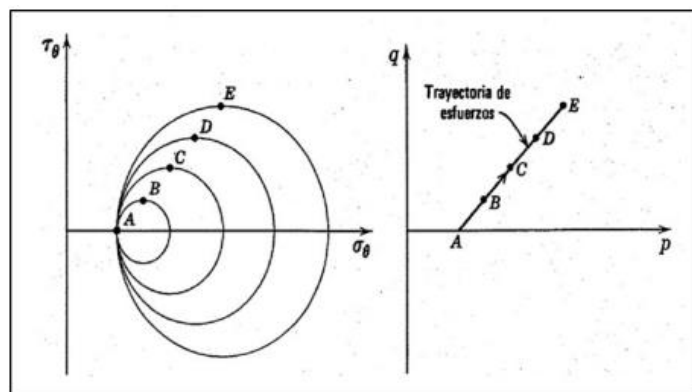


Figura 8: Representación de esfuerzos sucesivos
Fuente: Lambe, 2012.

Se debe señalar que el uso del diagrama p-q no reemplaza el empleo del diagrama de Mohr, como se expresa:

Conociendo los valores de p y q para un cierto estado de esfuerzos, se posee toda la información necesaria para dibujar el círculo de Mohr correspondiente. Sin embargo, el empleo de un diagrama p-q no exime de utilizar el círculo de Mohr para determinar la

magnitud de los esfuerzos principales a partir de un determinado estado de esfuerzos.

(Lambe, 2012) (1)

La resistencia al corte de un suelo depende de ciertos parámetros, tales como: Presión de poros, estructura del suelo, estado tensional, deformaciones, naturaleza, etc. Existen diversos criterios de rotura de los suelos; sin embargo, el más usado es el criterio de Mohr-Coulomb, el cual relaciona las tensiones efectivas normales y tangenciales del suelo como la combinación que genera la falla, sin ser necesario alcanzar el esfuerzo máximo de cada una de ellas. Este criterio propone una expresión para la resistencia al corte de un suelo saturado.

La línea de envolvente de rotura (línea de resistencia intrínseca) se representa por la recta (σ' , σ). La línea de envolvente proporciona la máxima tensión tangencial movilizable para cada tensión efectiva normal en el plano (González de Vallejo, et al., 2002). En el siguiente gráfico se presenta algunos aspectos importantes del criterio de rotura de los suelos.(1)

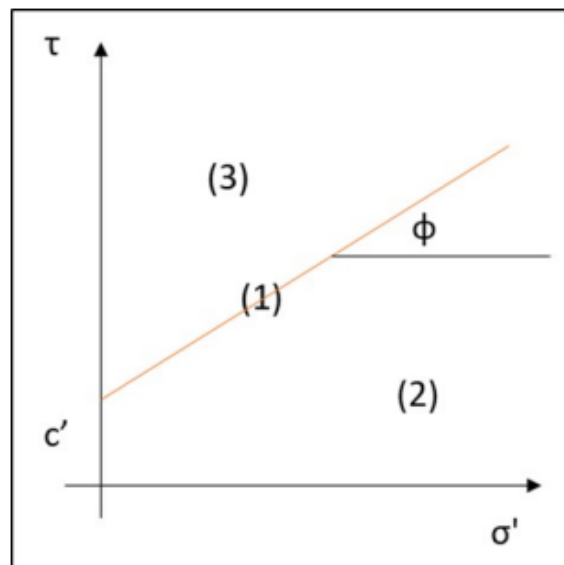


Figura 9: Resultados de corte directo.
Fuente: Elaboración propia, 2018.

Donde:

- τ : resistencia al corte del terreno a favor de un determinado plano

- σ_n : tensión total normal actuando sobre el mismo plano
- c' : cohesión efectiva
- ϕ : ángulo de rozamiento interno efectivo.

En este gráfico la cohesión efectiva, localizada en el eje de las ordenadas, representa la máxima resistencia tangencial que puede mobilizarse en cualquier plano cuando la tensión efectiva normal es nula.

La máxima tensión tangencial aumenta de manera proporcional al aumento de la tensión efectiva normal en un mismo plano. Esta característica nos denota que mientras mayor sea el nivel de tensiones efectivas, el suelo será más resistente.

La línea de resistencia resaltada en el gráfico muestra la separación de los estados, además actúa como una envolvente.

- Punto (1): Estado de rotura
- Punto (2): Combinación de esfuerzos σ , σ' con un factor de seguridad. La tensión tangencial es menor a la máxima movilizable, para una tensión efectiva normal determinada.
- Punto (3): Estado imposible, no es compatible con la resistencia al suelo, ya que se sobrepasa la combinación máxima σ , σ' del criterio de rotura.

Las condiciones de rotura de un plano, se puede relacionar de manera sencilla con el círculo de Mohr y el tensor de tensiones se pueden relacionar. A continuación, se detallan 3 gráficos en la Figura 10, representando el círculo de Mohr en el espacio, los cuales detallan diferentes estados tensionales en el suelo. (González de Vallejo, et al., 2002)

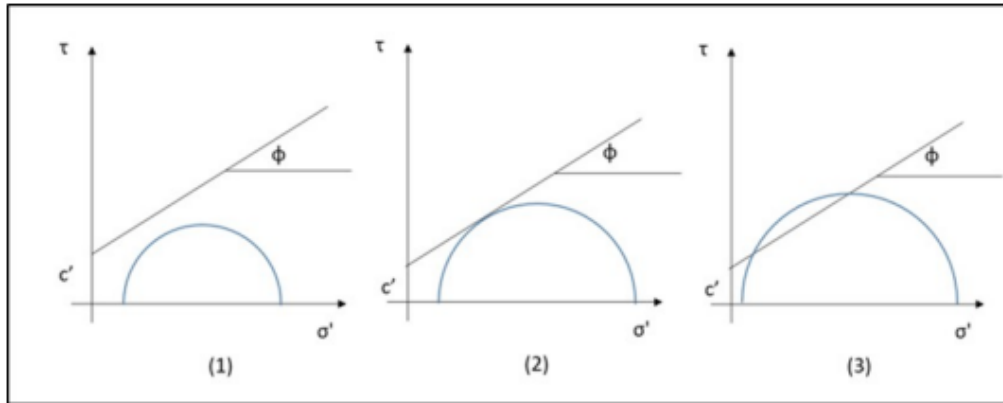


Figura 10: Gráficas del círculo de Mohr.
Fuente: Elaboración propia, 2018.

Los parámetros de cohesión y de ángulo de fricción forman la línea de envolvente en cada caso. Además, el círculo de Mohr representa el estado tensional del suelo.

- Círculo de Mohr (1): Se puede observar que el círculo no llega a interceptarse con la línea de envolvente, por lo tanto, es un estado posible y no se ha roto, ya que cuenta con un factor de seguridad.
- Círculo de Mohr (2): El círculo y la línea de envolvente se interceptan en el punto “O”, esta condición indica que hay una rotura.
- Círculo de Mohr (3): La línea de envolvente intercepta dentro del círculo, esta condición es imposible, ya que las orientaciones de los demás planos atravesarán el elemento del suelo y de esta manera excederán las condiciones normales (σ' , σ), cualquier intento de imponer este estado resultaría en deformaciones ilimitadas.

De las gráficas mostradas se puede concluir que cuando el círculo de Mohr es tangente a la línea de envolvente o de resistencia intrínseca, se producen las condiciones de rotura del suelo. Y el punto de tangencia representará el plano en el cual se alcanzan las condiciones ya mencionadas. (González de Vallejo, et al., 2002)

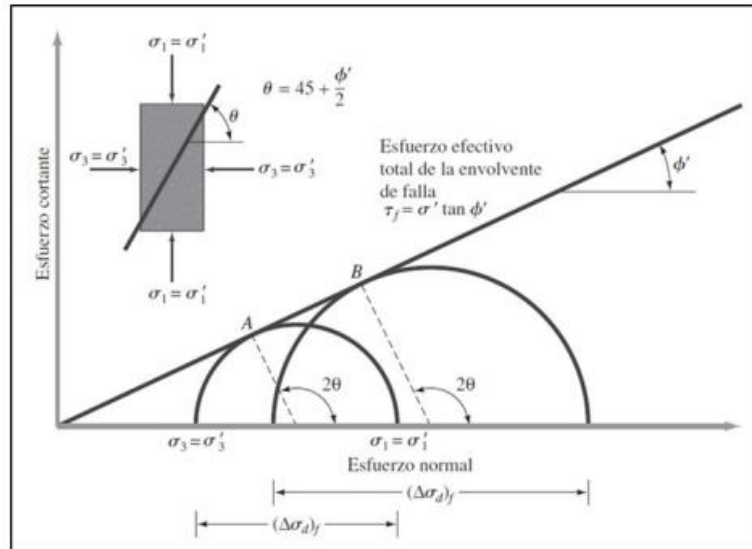


Figura 11: Inclinación del plano de falla del suelo.
Fuente: Fundamentos de ingeniería geotécnica 2014.

Donde:

- σ_1 : Esfuerzo normal sobre el plano de falla
- σ_3 : Esfuerzo cortante sobre el plano de falla

Resistencia al corte con drenaje

Relación entre la resistencia al corte y el esfuerzo efectivo. La relación esfuerzo efectivo-resistencia al corte de una arcilla normalmente consolidada es una línea recta que parte desde el origen. (Lambe, 2012)

En la siguiente gráfica se representan las relaciones de esfuerzo para 3 casos. Esta es otra forma de representar los círculos de Mohr de una manera más sencilla.

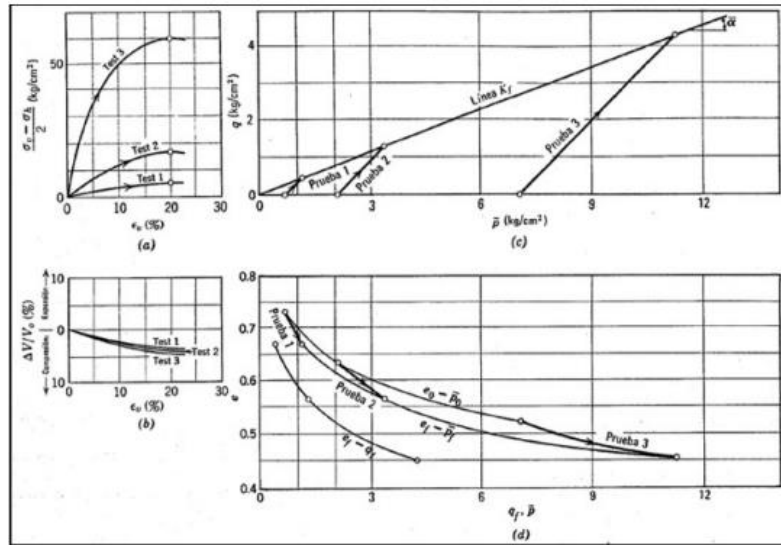


Figura 12: Relación de esfuerzo
Fuente: Lambe, 2012.

Arcilla sobre consolidada

El esfuerzo para una presión de preconsolidación es mayor que cualquier efecto efectivo sometido. En cuanto a los valores típicos de cohesión y ángulo de fricción para este tipo de arcillas, dependen del tiempo en el que la arcilla ha estado sometida a la presión de sobre consolidación.

El esfuerzo de sobre consolidación es equivalente al esfuerzo de compactación, esta relación se muestra en la siguiente gráfica.

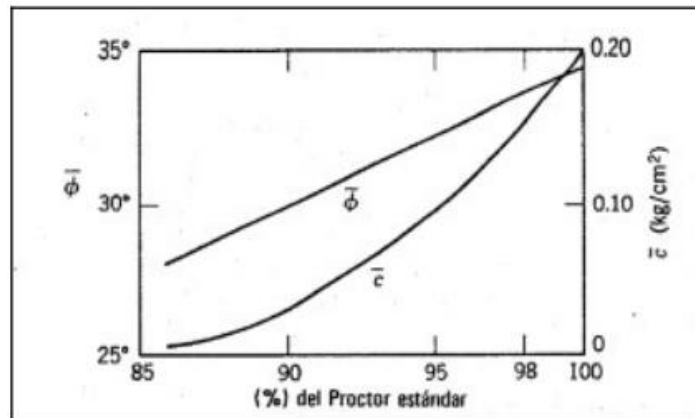


Figura 13: Influencia de la energía de compactación.
Fuente: Lambe, 2012.

Los valores de la cohesión y ángulo de fricción también dependen de los esfuerzos ajustados en la recta envolvente de falla en el círculo de Mohr.

Ensayo CBR (California Bearing Ratio)

El CBR consiste en un ensayo ideado en la Dirección de Carreteras de California y aceptado alrededor del mundo, con la finalidad de determinar la capacidad de soporte de un suelo, compactados a una humedad óptima y niveles de compactación variables, este se utiliza generalmente para evaluar la calidad relativa de suelos para subrasante, subbase y bases. El ensayo consiste en determinar la presión necesaria para que un émbolo de 4,96 cm de diámetro o de 3 pulg² de área penetre un determinado número de milímetros a una velocidad constante de 1,27 mm por minuto en una probeta de 15 cm (6 plg) de diámetro y 12,5 cm (5 plg) de altura; una vez determinada la presión se la relaciona con la presión necesaria para obtener la misma penetración en una muestra patrón, según norma ASTM D-1883. Las muestras se sumergen en agua durante 96 horas previas a realizarse el ensayo con el fin de simular condiciones de saturación y de esta forma tener los valores de CBR en las condiciones más críticas. El peso que se agrega en la superficie de la probeta de ensayo tiene la finalidad de simular las sobrecargas debidas al peso de la estructura vial. (Castillo, Parra, B. 2017.)

Saucu, origen y distribución geográfica

El saucu es una planta originaria del Perú y regiones adyacentes. En el Perú, el saucu tiene un amplio rango altitudinal, desde los 2,800 hasta los 3,900 msnm., según la zona del país, pero el óptimo esta entre 3,200 y los 3,800 msnm., encontrándose en los departamentos de Ancash, Lima, Huánuco, Junín, Cusco, Apurímac y Ayacucho.

(<http://groups.msn.com/mundomamacoca>)



Figura 14: Sauco.
Fuente: Vividosanos.com

Clasificación taxonómica

Honda (1986), propone la clasificación taxonómica del sauco de la siguiente manera:

Reino: Vegetal

División: Fanerógamas:

Angiospermas: Dicotiledóneas

Subdivisión: Angiospermas

Clase: Dicotiledóneas

Sub clase: Simpétalas

Orden: Dipsacales/Rubiales

Familia: Caprifoliácea

Género: Sambucus

Especie: Sambucus peruviana H.B.K.

Nombre Común: Sauco, rayan, arrayan, uvilla del diablo, uva de la sierra (2)

Características morfológicas

Huicho (2008), refiere que las plantas de sauco presentan un vigor entre intermedio y vigoroso, la copa es irregular y de color verde claro característico, el ancho (diámetro de la copa) de la planta de sauco varía entre 2 a 8 metros.

La altura de las plantaciones antiguas de sauco es variable, de porte medio, cuyas dimensiones oscila entre 3 a 6 metros y en condiciones agro ecológicas distintas y adecuadas llega a medir de 12 a 15 metros de altura. (Prettell, 1985). (2)

Asimismo, Huicho (2008), menciona que en el distrito de Tambo se ha encontrado plantaciones antiguas de sauco cuya altura oscila entre los 5 metros hasta los 14 metros, además refiere que son de forma variable, encontrándose plantas de forma semicircular, abobada y circular. (2)

Sistema radicular

Cortes (1986), señala que el sistema radicular está compuesto por una raíz primaria y una serie de raíces laterales que salen de la misma y presentan una secuencia acrópeta.(2)

Huicho (2008), afirma que las plantas de sauco poseen un sistema radicular pivotante o axonomorfa y que poseen un sistema radicular con las siguientes partes: raíz principal, secundaria, terciaria y pelos absorbentes. (2)

Fuste o tallo principal

Las plantas de sauco presentan un fuste (tronco central), cuya parte externa presenta una rugosidad y muestra un color pardo claro, con diámetro que miden entre 25 a 120 cm; el tronco no siempre es vertical u ortogonal al nivel del suelo, la misma fisiografía del suelo hace que existen varias presentaciones, entre torcidos, regularmente torcidos, inclinados entre 70 a 80 grados con una superficie externa rugosa; esta particularidad es resultado de que la corteza del tallo se encuentra cuarteada de manera pronunciada en sentido vertical. El tronco posee una medula vacía, por lo que el sauco tiene tallos tiernos poco resistentes debido a su medula esponjosa. (Huicho, 2008). (2)

Los fustes longevos se endurecen tanto que constituyen una de las maderas más fuertes y apreciables para la construcción rural; presenta un tronco cilíndrico a veces torcido; la copa es irregular y de color verde claro característico (AGROINFORMACION, 2006).

Rama frutera

Huicho (2008) refiere que las ramas del sauco están distribuidas de manera irregular en toda la planta y la inserción de las ramas presentan un Angulo agudo menor a 90° , siendo una característica fenotípica de la especie; así mismo, señala que los tallos tiernos son los que soportan a las ramas fruteras, presentando un color verde limón, cuyo diámetro varía entre 20 a 40 mm y la longitud de entrenudos varia de 3 a 40 cm. La superficie de la rama joven es pubescente, cuya longitud desde la inserción hasta el ápice del último foliolo es variable de 25 a 60 cm. (2)

Hojas

Honda (1986), menciona que el sauco presenta hojas compuestas de 7 a 9 foliolos impanpinnadas, foliolos oblongos y puntiagudos en el ápice, bordes aserrados, de 4 a 16 cm de largo y 3 a 7cm de ancho, color verde claro en ambas caras, peciolo algo pubescente de 4 a 8 mm de largo, así mismo menciona que se observa melosidades de las hojas tiernas.(2)

Huicho (2008), en el trabajo de investigación desarrollado encontró plantas que presentan hojas compuestas de 7 a 17 foliolos impanpinnadas, además menciona que existe en una rama tierna entre 4 a 16 hojas compuestas, paripinnadas dispuestas en sentido crucial de dos direcciones contrarias vista de arriba - abajo.(2)

Las hojas simples o también denominados foliolos, tienen una longitud que oscila entre 5 a 24 cm, generalmente es oblonga y puntiaguda en el ápice, borde aserrado, con una base de la hoja aguda; presenta una pubescencia densa en el envés de la hoja y un peciolo acanalado; la inserción del peciolo foliar es aguda; las hojas maduras presentan un color amarillo, presentando venas secundarias entre 9 a 16, con relieve de venación en la superficie de haz

intermedio y en la superficie del envés alzada y notoria, no hay divergencia en las venas principales; el ápice de la hoja simple es aguda en todas las plantas la textura de la hoja es blanda y presenta un olor característico. Por su condición semicaduco, ocurre una caída progresiva de las hojas, el desprendimiento se hace en el mes de junio, culminando el mes de setiembre, este caso es muy particular, puesto que, a mayor altitud, la caída de hojas es más retardada, así como la producción del fruto. (Huicho, 2008). (2)

Inflorescencia

Huicho (2008), afirma que el sauco florece a los dos años si la reproducción es asexual, además refiere que el sauco presenta una floración de tipo "A" donde la envoltura floral está abierta en la noche y durante el día. Así mismo menciona que en una rama frutera, generalmente la posición de la inflorescencia es terminal, excepcionalmente, se presenta en posición sub terminal y axilar; los pétalos tienen una coloración blanca y la forma de la inflorescencia es simple y tipo corimbo, además las flores simples están unidas a través de pedúnculos y pedicelos. (2)

Flor simple

Taulomonde y Hubert (1983), señala que las flores están dispuestas en corimbos vistosos, generalmente de color blanco y presentan un olor fuerte agradable semejante al aroma de las flores de la vid. La flor simple está unida entre sí a otras mediante una red de pedúnculos a las ramas de tercer y segundo orden; estos a su vez a la rama de primer orden que existen en una inflorescencia; la envoltura floral está formada por pétalos soldados como gamopétalos y lobulados, en tanto el número de lóbulos oscila entre 5 a 7, directamente proporcional a la cantidad de estambres fijadas en cada inserción del lóbulo; cada inflorescencia presenta entre 181 a 867 flores simples gamosépala lobulada y la cantidad está determinada por el número de lóbulos del pétalo. (2)

Así mismo, Huicho (2008) reporta que el sauco es una planta melífera, por la presencia de polen en las flores, además menciona que la forma del talamo y la posición del ovario es ínfera; la envoltura floral es heteroclamídea, gamosépala y gamopétala, con un tipo de gineceo chata, con una antera que mide entre 3 a 5 mm, el número de carpelos es apocárpica o monocarpelar, con una posición de placenta central. (2)

La inflorescencia tiene un eje principal que mide entre 3 a 8 cm., compuesto por ramas de primer, segundo y tercer orden; existen inflorescencias donde la concentración de ramas está centradas o unidas en algunas plantas y distantes en otras. La disposición de la flor simple en la inflorescencia varía desde densa, menos densa y esparcida. (Huicho, 2008).(2)

Sanidad

No se han detectado plagas ni enfermedades importantes, probablemente porque ese frutal crece mayormente asociado con otros cultivos y no existen plantaciones. (Tapia y Fries, 2007) (2)

Cosecha

Una prevención muy importante es la protección de los frutos en la época de maduración ante el ataque de pájaros. La cosecha se efectúa entre los meses de marzo a mayo para el consumo directo o para ser transformados en diversos productos (mermeladas, bebidas), de gran aceptación en el mercado. (Tapia y Frías, 2007) (2)

Uso y propiedades

El sauco del Perú produce un fruto muy comestible de agradable sabor que se pueden consumir frescos y en forma de mermelada, siendo bastante ricos en vitamina C; las flores se utilizan para preparar refresco, remojándolas en un poco de vinagre blanco, con la adición de agua y azúcar.(2)

El sauco cultivado en el Perú es más importante por sus frutos que sirven para la pequeña industria campesina de la producción de mermeladas. Las hojas, se emplean para

tener de azul metálico, por ejemplo, los vinos. En artesanía se emplean sus tallos jóvenes para hacer quenás y sopladores para atizar el fuego. - La infusión de los frutos (bayas) sirven como laxante suave, tomándose una taza antes de acostarse y otra en ayunas al día siguiente. La infusión de las flores frescas (20 gramos en un litro de agua por 10 minutos) son efectivas para desinflamar la piel, aplicándose en forma de compresas para el control de los forúnculos. La infusión de hojas sirve para las afecciones de la boca y de la garganta. La infusión de las raíces sirve contra la hidropesía. - Las flores de *Sambucus peruviana* contienen esencia butirosa constituida de un terpeno y una resina. La corteza contiene un alcaloide, denominado gambusina, acompañada de una resina. (<http://groups.msn.com/mundomamacoca>) (2)

Microsoft Encarta (2007) citado por Huicho (2008) señala que con las bayas de saucos se elaboran vinos y mermeladas, pero el resto de la planta, y en especial las raíces, contienen principios activos muy purgantes por ingestión. Se han dado casos de intoxicaciones infantiles por utilizar los tallos para beber refrescos o como cerbatana.

Composición química y valor nutricional

Las flores de sauco contienen esencia aceitosa constituida por un terpeno y una resina. La corteza contiene un alcaloide denominado sambucina, acompañada de una resina. Las hojas también tienen un alcaloide (AGROINFORMACIÓN, 2006).

Tabla 4

Composición química del fruto de sauco

Contenido	Unidad	Cantidad
Humedad	%	91.49
Materia Seca	%	8.5
Proteína	%	1.51
Fibra	%	1.72
Grasa	%	0.26
Azúcares	%	7.81
totales		

Cenizas	%	0.84
Calcio	mg	30.6
Fosforo	mg	23
Hierro	mg	1.9
Nifex	%	4.14
Vitamina C	mg	17.83
PH		4
Acidez total (fruto)	% en	
Madurez completa	(H ₂ SO ₄)	1.15

Fuente: Arana, 1984

1.2. Justificación

Justificación teórica:

La información que se maneja acerca de la utilización de la ceniza de sauco para el análisis en el CBR, máxima densidad y resistencia al corte de un suelo arcilloso es poca, ya que, se necesita saber hasta qué punto se puede utilizar este producto con relación a los suelos arcillosos, el propósito de esta investigación es el aporte de nueva información a la ya existente.

Justificación práctica:

En el Perú tenemos distintos tipos de suelos y en particular es el suelo arcilloso el que más predomina el cual no cumple con los estándares normativo y constructivos para ser utilizado en la construcción, es por esto que se busca mejorar el rendimiento de los mismos donde se realicen obras donde escasean los valores de CBR, máxima densidad y resistencia al corte, es por ello que la presente investigación busca determinar la cantidad de ceniza de sauco adecuada para los suelos antes mencionados.

Justificación metodológica:

Lo que resulte de las investigaciones de la estabilización de suelos arcillosos nos garantizan el buen comportamiento de los mismos, además del aporte para próximas investigaciones, es así como se incentivará su aplicación para otras obras similares con el propósito de mejorar los procesos constructivos, que se consideran como apreciaciones válidas para proyectos semejantes en diferentes ambientes

1.3. Formulación del problema

1.3.1. Problema general

¿De qué manera se podrá realizar un análisis comparativo del CBR, máxima densidad y resistencia al corte entre los suelos arcillosos naturales y utilizando 1%, 3% y 5% con ceniza de sauco para estabilizar el suelo arcilloso?

1.3.2. Problemas específicos

- ¿Cuáles son las propiedades físicas del suelo arcilloso utilizando 1%, 3% y 5% con cenizas de sauco para estabilizar el suelo arcilloso?
- ¿Cómo determinar el análisis comparativo de la densidad y resistencia al corte directo para estabilizar el suelo arcilloso?
- ¿Cómo determinar el análisis comparativo del CBR entre el suelo arcilloso natural y suelo arcilloso utilizando 1%, 3% y 5% con cenizas de sauco para estabilizar el suelo arcilloso?
- ¿Cómo determinar el costo beneficio entre el suelo natural y suelo arcilloso utilizando 1%, 3% y 5% con cenizas de sauco para estabilizar el suelo arcilloso?

1.4. Objetivo

1.4.1. Objetivo general

Realizar un análisis comparativo del CBR, máxima densidad y resistencia al corte entre los suelos arcillosos naturales y utilizando 1%, 3% y 5% con ceniza de sauco para estabilizar el suelo arcilloso.

1.4.2. Objetivos específicos

- Determinar las propiedades físicas del suelo arcilloso con adición de 1%, 3% y 5% con cenizas de sauco para estabilizar el suelo arcilloso.
- Determinar el análisis comparativo de la máxima densidad y resistencia al corte directo para estabilizar el suelo arcilloso.
- Determinar el análisis comparativo del CBR entre el suelo arcilloso natural y suelo arcilloso con adición de 1%, 3% y 5% con cenizas de sauco para estabilizar el suelo arcilloso.
- Determinar el costo beneficio entre el suelo natural y suelo arcilloso utilizando 1%, 3% y 5% con cenizas de sauco para estabilizar el suelo arcilloso.

1.5. Hipótesis

1.5.1. Hipótesis general

- **Hipótesis Nula (ho):** El CBR, máxima densidad y resistencia al corte de un suelo arcilloso con adición del 1%, 3% y 5% de cenizas de sauco, no son más óptimos que un suelo arcilloso natural.
- **Hipótesis Alterna (ha):** El CBR, máxima densidad y resistencia al corte de un suelo arcilloso con adición del 1%, 3% y 5% de cenizas de sauco, son más óptimos que un suelo arcilloso natural.

1.5.2. Hipótesis específicas

Hipótesis específica 1

- **Hipótesis Nula (ho):** Las propiedades físicas del suelo arcilloso con adición de 1%, 3% y 5% con cenizas de sauco, no estabiliza el suelo arcilloso.
- **Hipótesis Alterna (ha):** Las propiedades físicas del suelo arcilloso con adición de 1%, 3% y 5% con cenizas de sauco, si estabiliza el suelo arcilloso.

Hipótesis específica 2

- **Hipótesis Nula (ho):** La máxima densidad y resistencia al corte directo obtenido del suelo arcilloso con adición de cenizas de sauco, no logran estabilizar el suelo arcilloso.
- **Hipótesis Alterna (ha):** La máxima densidad y resistencia al corte directo obtenido del suelo arcilloso con adición de cenizas de sauco, logran estabilizar el suelo arcilloso.

Hipótesis específica 3

- **Hipótesis Nula (ho):** El CBR del suelo arcilloso con adición de 1%, 3% y 5% con cenizas de sauco, no es mejor que el suelo arcilloso natural para estabilizar el suelo arcilloso.
- **Hipótesis Alterna (ha):** El CBR del suelo arcilloso con adición de 1%, 3% y 5% con cenizas de sauco, es mejor que el suelo arcilloso natural para estabilizar el suelo arcilloso.

Hipótesis específica 4

- **Hipótesis Nula (ho):** El costo beneficio del suelo natural no es mejor que el suelo arcilloso utilizando 1%, 3% y 5% con cenizas de sauco para estabilizar el suelo arcilloso.

- **Hipótesis Alternativa (ha):** El costo beneficio del suelo natural es mejor que el suelo arcilloso utilizando 1%, 3% y 5% con cenizas de sauco para estabilizar el suelo arcilloso.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

2.1. Tipo y diseño de investigación.

2.1.1. Tipo de investigación

Chávez (2007, p. 134) El tipo de investigación aplicada tiene como fin principal resolver un problema en un periodo de tiempo corto. Dirigida a la aplicación inmediata mediante acciones concretas para enfrentar el problema. Por lo tanto, se dirige a la acción inminente y no al desarrollo de la teoría y sus resultados, mediante actividades precisas para enfrentar el problema. Por lo que el tipo de investigación es **Aplicada**, ya que contribuirá como un nuevo sistema para la estabilización de los suelos arcillosos utilizando cenizas de sauco al 1%, 3% y 5%, aportando a la minimización de productos contaminantes y además ayuda a solucionar problemas constructivos bien sea por sus insuficiencias económicas que se tiene o por vulnerabilidad de este tipo de construcciones.

2.1.2. Nivel de investigación

Según Seltiz, Wrightsman y Cook (1980), La investigación exploratoria es aquella que se efectúa sobre un tema u objeto desconocido o poco estudiado, por lo que sus resultados constituyen una visión aproximada de dicho objeto, es decir, un nivel superficial de conocimientos.

Por lo que el nivel de la investigación es **explorativa**, ya que se realizarán estudios sobre suelo arcilloso con adición de cenizas de sauco, con lo que se pretende sustituir al suelo arcilloso natural con el fin de obtener una estabilización mejor del suelo arcilloso.

2.1.3. Enfoque de investigación

Tamayo (2007), consiste en el contraste de teorías ya existentes a partir de una serie de hipótesis surgidas de la misma, siendo necesario obtener una muestra, ya sea en forma aleatoria o discriminada, pero representativa de una población o fenómeno objeto de estudio.

Además, se define como una investigación de **enfoque** Cuantitativo, ya que los resultados obtenidos en el laboratorio serán valores numéricos que podrán medirse, los cuales luego podrán ser evaluados a detalle, demostrando así el eficiente uso de ceniza de sauco como un aditivo estabilizador.

2.1.4. Diseño de la investigación

Arnau (1995). El diseño cuasi-experimental es un plan de trabajo con el que se pretende estudiar el impacto de los tratamientos y/o los procesos de cambio en situaciones donde los sujetos o unidades de observación no han sido asignados de acuerdo con un criterio aleatorio. Arnau, 1995).

Para el desarrollo de la tesis se utilizará un diseño de investigación **cuasi experimental** ya que se realizaron varias combinaciones de mezcla del suelo arcilloso -ceniza en los ensayos especificados del proyecto para obtener diversos resultados y dar a conocer un diagnóstico detallado de cómo repercute la ceniza de sauco en el suelo arcilloso.

En la investigación realizada se concederá el cargo de las pre pruebas a los grupos que componen el experimento: las probetas de suelos sin y con la adición de cenizas de sauco. Las muestras serán asignadas al azar al grupo control o experimental para poder garantizar el sesgo estadístico, seguidamente se les administra de manera simultánea la pre prueba (Ensayos de laboratorio), un grupo recibe el tratamiento experimental y otro no (adición de ceniza de sauco); y para finalizar se les administra una post prueba (Ensayos de laboratorio).



Figura 15: Diagrama de investigación

2.2. Variable

Variable Independiente: Ceniza de sauco

Variable Dependiente: Estabilización de los suelos arcillosos

Tabla 5

Matriz de variables

Variable	Definición conceptual	Dimensiones	Indicadores
VI: Ceniza de sauco	<ul style="list-style-type: none"> Residuos de la combustión del sauco 	<ul style="list-style-type: none"> Módulo de elasticidad Módulo de rotura Resistencia a la compresión saturada Relación de poisson 	<ul style="list-style-type: none"> Deformación $\mu\text{m/m}$ carga kgf/m^2 Esfuerzo kg/cm^2 Módulo de rotura kg/cm^2 Granulometría gr Peso kg Volumen m^3
VD: Estabilización de suelos arcillosos	<ul style="list-style-type: none"> Mejora integral de las propiedades geo mecánicas del suelo natural 	<ul style="list-style-type: none"> Propiedades de los suelos 	<ul style="list-style-type: none"> Densidad seca gr/cm^3 Óptimo contenido de humedad $\%$ Esfuerzo cortante kg/cm^2

4.1. Población y muestra (Materiales, instrumentos y métodos)

2.2.1. Población.

La población será la cantidad de muestras de suelos arcillosos recaudados de la ciudad de Lima, al ser esta una cantidad pequeña, la cantidad de muestra son 12 las cuales se justifican en el siguiente cuadro.

Tabla 6

Población de muestras de aplicación en la tesis

Población de muestras de aplicación en la tesis					
	Muestra Patrón	Muestra + 1% ceniza de sauco	Muestra + 1% ceniza de sauco	Muestra + 1% ceniza de sauco	Sub total
CBR	1	1	1	1	4
MAXIMA DENSIDAD	1	1	1	1	4
RESISTENCIA AL CORTE	1	1	1	1	4

Fuente: Elaboración Propia, 2022

2.2.2. Muestra

Para el desarrollo de la investigación y obtener el porcentaje de ceniza de sauco que se requiere para el mejoramiento de la estabilización de los suelos arcillosos a usar como subrasante, fueron realizadas por el método de cuarteo manual, como se indica a continuación.

- Se lleva la muestra de campo sobre una superficie plana, dura y limpia, donde no hay pérdida de material, se mezcló el material hasta formar una pila cónica.
- Se cuarteo el material de tal manera q se obtenga un espesor y diámetro uniforme para cada parte.
- Se eliminó dos de las partes diagonales opuestas (Seleccionadas de color rojo) y se mezcló el material restante (fue tomado para el uso de los ensayos en laboratorio).

4.2. Unidad de Estudio

La unidad a estudiar es el suelo arcilloso a nivel de subrasante.

Luego de efectuar el muestreo de campo lo que prosigue es reducir la muestra a tamaño de ensayo siguiendo los lineamientos de la norma. Se reduce a un tamaño conveniente para realizar la cantidad necesaria de ensayos que describan el material y midan la calidad al mismo, de manera que la porción más pequeña de la muestra tenga una alta probabilidad en representar a la muestra más grande y así al total aportado.

4.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos

Técnicas

- Observación directa
- Formulas
- Ensayos
- Diseño de mezclas
- Análisis de materiales

Instrumento de recolección de datos:

Para la recolección de datos se elaboró una Guía de Observación directa como instrumento, siendo esta considerada como la mejor forma de llevar un registro y sistematización de observación más flexible y útil en este tipo de investigaciones, ya que permite tener un proceso uniforme y ordenado de examinación, registro y archivación de datos. La guía de información es un instrumento que permite un registro no estructurado del lugar elegido para el estudio. Con respecto al instrumento de recolección, se hizo mediante hojas de registros de datos; formatos elaborados para la medición de resultados de los ensayos de características físicas y mecánicas.

Método de análisis de datos

Retrospectivo. Para la recolección de datos se realizó por medio de la comparación a dos grupos de investigación: el grupo 1 que fueron realizados con una causa y efecto, contra otro grupo, en muy similar condición, pero que no podrán ser realizados, pero si comparados (análisis documental); permitiendo anotar de sus resultados del primero en forma de datos interpolados, y asemejarlos a una posible solución, pues tienen un similar antecedente e igual condición experimental.

Aspectos éticos

Como alumno de la carrera profesional de Ingeniería Civil y autor de esta investigación, este trabajo se realizó con la completa honestidad, honradez, respeto y confianza de acuerdo de la norma ISO 690-2010 con sus respectivas resoluciones. Por ende, se respetó la veracidad de los resultados obtenidos, también se garantiza no haber copiado investigaciones de otros autores, por último, es un compromiso el que este trabajo de investigación se desarrolle y se cumpla con el procedimiento establecido.

4.4. Procedimiento

A continuación, se explica el orden de actividades que se realizaron para realizar la investigación.

❖ Procedimientos para la obtención del material:

Cortando se procedió a la obtención de la muestra del suelo arcilloso en estado natural de la ciudad de Lima, para luego poder determinar sus características (CBR, compresión no confinada y resistencia al corte) en estado natural y con la adición de la ceniza de sauco en el laboratorio de Suelos de la Universidad Privada del Norte (UPN)



Figura 16: Calicatas
Fuente: Elaboración Propia

Seguidamente se procedió al calcinamiento del sauco para obtener de la ceniza para ser combinada con el suelo arcilloso en estado natural en porcentaje de 1%, 3% y 5%.

Lugar de procedencia de las plantas de sauco:

Departamento: Cajamarca
Provincia: Hualgayoc
Distrito: Bambamarca
Caserío: Alán Alto
Chachacoma
Altitud: 2532 msnm



Figura 17: Leña de Sauco
Fuente: Elaboración Propia

❖ **Procedimientos para la recolección de datos:**

Luego de llevar el material del suelo al laboratorio comienzan los ensayos respectivos:

- Se determinó el análisis granulométrico del suelo según la norma NTP 339.128 – 1999.
- Se determinó el contenido de humedad del suelo según la norma NTP 339.160 – 2001.



Figura 18: Cuarteo del material

- Se realizaron las 3 muestras de Proctor del material en estado natural y 3 muestras de Proctor combinado con cenizas de rastrojo al 1%, 3% y 5%.
- Luego se obtuvo la curva de compactación mediante el contenido de humedad y la densidad seca de cada muestra de Proctor.
- Se determinó el contenido óptimo de humedad mediante la curva de compactación y se procedió a realizar las muestras de CBR.
- Se realizaron las muestras de CBR del material arcilloso en estado natural con el porcentaje óptimo obtenido en el ensayo de Proctor modificado con 3 muestras de 5 capas cada una de 10, 25 y 56 golpes por cada muestra.
- Se tomaron las muestras de CBR del material combinado con CCA al 1%, 3% y 5% del peso total de la muestra con el porcentaje óptimo obtenido en el ensayo de

Proctor modificado con 3 muestras de 5 capas cada una de 10, 25 y 56 golpes por cada muestra.

- Una vez realizado cada muestra de CBR se procede a sumergirlos en agua por un periodo de 96 horas (04 días) tomando lectura de la deformación de hinchamiento que esta sufre cada 24 horas (1 día). Al cuarto día retiramos la muestra y la ensayamos para hallar la carga de penetración de la muestra y tomamos lectura de las deformaciones. Este proceso se repite para cada muestra de CBR que se tenga que realizar.

❖ **Procedimiento para el análisis de información**

Se llevó a cabo el análisis de datos que se obtuvo a través de los ensayos de laboratorio tanto para el suelo en su estado natural como para las muestras suelo incorporándole la ceniza de sauco. Las normas NTP se tuvieron en cuenta para el resultado de los análisis de suelos y de los agregados.

➤ **Ensayos**

- ✓ **Contenido de Humedad (NTP 339.160 – 2001)**

Materiales y equipos

- Suelo.
- Taras.
- Balanza.
- Horno a 110°C±5°C.

Procedimiento

- Se pesaron los recipientes para realizar el contenido de humedad.
- Se pesó muestra húmeda + recipiente.
- Luego se colocaron las muestras al horno por un tiempo de 24 horas.
- Se pesaron las muestras secas al horno.

○ Consecutivamente se procedió a anotar dichos pesos, para luego calcular el contenido de humedad de los agregados.

✓ **Análisis Granulométrico (NTP 339.128 - 1999)**

Materiales y equipos

- Suelo
- Balanzas con aproximación de 0,1 gr.
- Horno de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$.
- Juego de tamices de: 2" 1 1/2", 1", 3/4", 1/2", 3/8", N.º 4, N.º 10, N.º 20, N.º 40, N.º 60, N.º 100 Y N.º 200, normalizados según NTP 339.128 –1999.

Procedimiento

- Se utilizó un aproximado de 1000 g. – 1500 g. de suelo seco
- Pasar la muestra seca por el juego de tamices, agitando de forma manual.
- La muestra seca del agregado, de masa conocida, se debe separar a través de una serie de tamices que van consecutivamente de una abertura mayor a una menor, para determinar la distribución del tamaño de las partículas.
- Se procedió a pesar la muestra retenida en cada tamiz utilizado durante el ensayo.
- Por último, después de obtenidos los datos se procedió a dibujar la curva granulométrica en escala semi logarítmica.

✓ **Proctor Modificado (NTP 339.141 – 1991)**

Materiales

- Muestra alterada seca aproximadamente 2 kg por molde.

Equipo

- Equipo Proctor modificado (molde cilíndrico, placa de base y anillo de extensión)
- Pisón Proctor modificado.
- Balanza con precisión de 1gr

- Estufa con control de temperatura.
- Probeta de 1000 ml
- Recipiente de 6kg. de capacidad
- Espátula
- Taras identificadas

Procedimiento

- Obtener aproximadamente 30 kg de muestra seca para el ensayo, de acuerdo al método a utilizar (método A, B o C).
- Preparar 5 muestras (cada una de ellas aproximadamente de 6 kg.) con una determinada cantidad de agua, de tal manera que el contenido de humedad de cada una de ellas varíe aproximadamente en 1 ½” entre ellas.
- Ensamblar el molde cilíndrico con la placa de base y determinar el peso.
- Colocar el collar de extensión para colocar la muestra que se va a compactar.
- Compactar cada muestra en 5 capas y cada capa con 25 o 56 golpes (depende del método A, B o C), al terminar de compactar la última capa se retira el collar de extensión, enrasa con la espátula y se determina la densidad húmeda.
- Determinar el contenido de humedad de cada muestra compactada, utilizando muestras representativas de la parte superior e inferior.
- Determinar la densidad seca de cada muestra.
- Dibujar la curva de compactación en escala natural, los datos de contenido de humedad se registran en el eje de abscisas y los datos de densidad seca en el eje de ordenadas.
- Determinar la máxima densidad seca y el óptimo contenido de humedad.

✓ **CBR (NTP 339.145 – 1999)**

Material

- Muestra alterada seca
- Papel filtro

Equipo

• Equipo CBR (3 moldes cilíndricos con placa de base y collar de extensión, 3 discos espaciadores, 3 placas de expansión, 3 sobrecargas cada una de 4.5 kg. de peso y 3 trípodes).

- Pisón Proctor modificado.
- Balanza con precisión de 1 gr.
- Diales de expansión.
- Estufa con control de temperatura.
- Probeta de 1000 ml.
- Recipiente de 6kg. de capacidad.
- Espátula.
- Taras identificadas.

Procedimiento

- Preparar la muestra con el contenido óptimo de humedad determinado en el ensayo de compactación Proctor modificado.
- Compactar la muestra en 5 capas en cada uno de los 3 moldes CBR, el primero con 10 golpes, el segundo con 25 golpes y el tercero con 56 golpes por capa.
- Determinar la densidad húmeda y el contenido de humedad de las muestras de cada molde.
- Invertir las muestras de tal manera que la superficie libre quede en la parte superior cuando se ensambla nuevamente los moldes en sus placas de base.

- Colocar sobre cada muestra el papel filtro, la placa de expansión, la sobrecarga, el trípode y el dial de expansión.
- Colocar los tres moldes debidamente equipados en un tanque de agua durante 4 días (96 horas), registrar las lecturas de expansión cada 24 horas.
- Después de los 4 días sacar los moldes del tanque de agua y de cada uno de ellos retirar el dial, el trípode, la sobrecarga y la placa de expansión, dejarlos drenar durante 15 minutos.
- Colocar la sobrecarga en cada molde, llevar a la prensa hidráulica, proceder al ensayo de penetración aplicando un pisón a una velocidad de 0.05 pulg/min., registrar las lecturas de carga de cada muestra en las siguientes lecturas de penetración.

✓ **Resistencia al Corte**

Procedimiento

- Para obtener la Resistencia al Corte de cada tipo de suelo se lo realizó mediante el Ensayo de Compresión No Confinada.
- Para dicho ensayo se extrajo la muestra realizando la excavación de pozos a cielo abierto a una profundidad de 1 m.
- Luego se talló la muestra dándole una forma cilíndrica de diámetro de 12 cm y una altura de 24 cm.
- Se procedió a colocar en la Máquina de Compresión Simple y obtener directamente los resultados de Resistencia al Corte en Kg/cm².

✓ **Desarrollo**

La ceniza de sauco se obtuvo quemando el rastrojo, la cual fue molida tal como se muestra en la figura xxx



Figura 19: Ceniza de sauco

✓ **Realización de ensayos**

▪ **Contenido de Humedad (NTP 339.160 – 2001)**

Se determinó el porcentaje total de humedad del agregado fino, para lo cual se pesaron tres muestras las cuales se colocaron al horno por un tiempo de 24 horas, se pesaron las muestras secas al horno y se procedió a anotar dichos pesos, para luego calcular el contenido de humedad del suelo.



Figura 20: Ensayo de Contenido de Humedad

▪ **Análisis granulométrico (NTP 339.128-1999)**

Para el análisis granulométrico, luego de secar la muestra al aire, se pesó la muestra seca para pasarla por el juego de tamices, agitando de forma manual, determinando los porcentajes de los pesos retenido en cada tamiz. Una vez obtenidas las muestras en el

laboratorio, se iniciará con la clasificación de suelos de acuerdo a su granulometría y límites de consistencia mediante el sistema de clasificación SUCS y AASHTO



Figura 21: Ensayo Granulométrico

▪ **Ensayo Proctor (NTP 339.141-1999)**

En el caso de la evaluación del peso volumétrico seco máximo alcanzado en los diferentes porcentajes a las que fue mezclado el material, se realizó bajo el procedimiento descrito en la norma se utilizó el método A, el cual es usado para materiales que pasan la malla N.º 40. El procedimiento que se siguió fue el siguiente:

Se separó la muestra obtenida que pasa por la malla N°40 y el material retenido se desechó, se homogenizó el material obtenido de la malla N.º 40 y se realizó la prueba de contenido de humedad.

Se pesaron los porcentajes de ceniza de sauco al 1%, 3% y 5%, se extiende el material sobre una charola para realizar su mezclado.

Se empezó agregándole a la mezcla una cantidad de agua estimada en 14% de su peso, terminando en 23%.

Se homogeneiza el material para que se distribuya la humedad, y se procede a vaciarlo en tres porciones en el molde con 25 golpes del pisón entre cada porción distribuidos en toda la sección del molde.

Cuando se ha llenado el molde con el material en las 3 capas, se procede a quitar el collarín del molde, se enrasa con una regla, y se extrae el molde de su base, se registra el peso del espécimen junto con el molde en la hoja de datos.

Se repite el procedimiento hasta ensayar 4 especímenes que permitan hacer posible la curva de compactación y así determinar el contenido de humedad óptima.



Figura 22: Ensayo Proctor

- **Ensayo de CBR (NTP 339.145-1999)**

Para este ensayo se preparó la muestra con el contenido óptimo de humedad determinado en el ensayo de compactación Proctor modificado.

Se compacto la muestra en 5 capas en cada uno de los 3 moldes CBR, el primero con 10 golpes, el segundo con 25 golpes y el tercero con 56 golpes por capa. Terminada la muestra de colocó debidamente en un tanque de agua durante 4 días (96 horas), registras las lecturas de expansión cada 24 horas. Después de los 4 días se sacó los moldes del tanque de agua para realizar el ensayo carga – penetración (determinación de la resistencia a la penetración), de cada uno de los moldes se retiró retirar el dial, el trípode, la sobrecarga y la placa de expansión, se dejó drenar durante 15 minutos para luego realizar el ensayo de carga.



Figura 23: Agregado para el CBR

CAPITULO III. RESULTADOS

Para la obtención del **primer objetivo** que pide determinar las propiedades físicas del suelo arcilloso con adición de 1%, 3% y 5% con cenizas de sauco para estabilizar el suelo arcilloso.

Se elaboro una serie de ensayos para clasificar el tipo de material y clasificar según normativa.

CONTENIDO DE HUMEDAD ASTM D2216

CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	8.7
MÉTODO DE SECADO	Horno a 110 +/-5°C
MÉTODO DE REPORTE	"B"
MATERIALES EXCLUÍDOS	Ninguno
PROCEDIMIENTO DE OBTENCIÓN DE MUESTRA	"Secada al horno a 110 +/- 5°C"
PROCEDIMIENTO DE TAMIZADO	B: Tamizado integral <N°4
TAMIZ SEPARADOR	Ninguno
MÉTODO DE REPORTE DE RESULTADOS	"B"

LÍMITES DE CONSISTENCIA ASTM D4318

LÍMITE LÍQUIDO	20.76
LÍMITE PLÁSTICO	8.09
ÍNDICE DE PLASTICIDAD	12.67
INDICE DE CONSISTENCIA (Ic)	0.95
INDICE DE LIQUIDEZ (IL)	0.0
MÉTODO DE ENSAYO DE LÍMITE LÍQUIDO	---

COMPOSICIÓN FÍSICA DEL SUELO EN FUNCIÓN AL TAMAÑO DE PARTÍCULAS

CONTENIDO DE GRAVA PRESENTE EN EL SUELO %	3.53
CONTENIDO DE ARENA PRESENTE EN EL SUELO %	75.42
CONTENIDO DE FINOS PRESENTES EN EL SUELO %	21.04

CLASIFICACIÓN VISUAL - MANUAL SC - Arena arcillosa en estado de baja plasticidad de color marrón oscuro en estado parcialmente húmedo.

NOTAS SOBRE LA MUESTRA No hay presencia de material superficial (gramíneas raíces y restos de ella)

CLASIFICACIÓN DEL SUELO

CLASIFICACIÓN SUCS (ASTM D2487)	SC
CLASIFICACIÓN AASHTO (ASTM D3282)	A-2-6 (0)
NOMBRE DEL GRUPO	Arena arcillosa

Para la obtención del **segundo objetivo** que pide determinar el análisis comparativo de la máxima densidad y resistencia al corte directo para estabilizar el suelo arcilloso, se desarrolló la hipótesis específica 2 planteada a través del análisis inferencial estadístico.

Hipótesis específica 1 o del investigador

La máxima densidad y resistencia al corte directo obtenido del suelo arcilloso con adición de cenizas de sauco si logran estabilizar el suelo arcilloso.

Planteamiento estadístico de la prueba de hipótesis:

Para contrastar esta hipótesis compararemos los valores de la máxima densidad y resistencia al corte directo del diseño Patrón frente a los diseños experimentales con adiciones de cenizas de sauco al 1%, 3% y 5% como se muestra en las tablas 7 y 8.

Análisis inferencial para la máxima densidad

Hipótesis Nula (H₀): No existe diferencias significativas entre las medias de las densidades máximas de un afirmado para base con adición de cenizas de sauco al 1%, 3% y 5% con respecto a la media de la densidad máxima del diseño patrón para estabilizar el suelo arcilloso, Lima Ate - Vitarte.

$$\mu_{DM1} = \mu_{DM2} = \mu_{DM3} = \mu_{DM_patrón}$$

Hipótesis Alternativa (H_a): Si existe diferencias significativas entre las medias de las densidades máximas de un afirmado para base con adición de cenizas de sauco al 1%, 3% y 5% con respecto a la media de la densidad máxima del diseño patrón para estabilizar el suelo arcilloso, Lima Ate - Vitarte.

Existe al menos un $i / \mu_{DMi} \neq \mu_{DM_patrón}$

i = diseño experimental 1, 2, 3

Donde μ_{DM} , es la media o promedio de la densidad máxima.

Estadístico de Prueba

Dado que la variable respuesta **densidad máxima** es cuantitativa y existe una variable independiente llamado factor con tres niveles de tipo categórica ordinal que representa el tipo de diseño y lo que se quiere probar es si existe un efecto significativo del factor sobre la variable respuesta y a través de ello realizar un comparativo entre los diseños, entonces estamos hablando de un diseño de análisis de varianza de un factor ANOVA, por consiguiente para probar las hipótesis se utilizará el análisis de varianza ANOVA de un factor y la prueba de rango post hoc de Tukey para comparar cuál de los diseños es la que mejor efecto significativo tiene en comparación con el diseño patrón.

Requisitos para el ANOVA

Probar los supuestos de Normalidad mediante la Prueba de Chapiro Wilk y de Homocedasticidad (igualdad de varianzas) mediante la Prueba de Levene.

Los resultados de los supuestos y de las pruebas de hipótesis se realizaron en el programa estadístico SPSS v.25.

En caso no se cumpla el supuesto de normalidad, se aplicará la prueba no paramétrica de Kruskal Wallis en vez del ANOVA.

En caso no se pruebe la igualdad de varianzas se aplica la prueba T3 de Dunnett en vez de la prueba de rango post hoc de Tukey.

Consideraciones de las pruebas:

✓ Para todas las pruebas se asumirá un valor de significancia de 0.05 y se aceptará la hipótesis nula si el valor de significancia de la prueba es mayor al valor de significancia asumido.

Datos

Los datos de la densidad máxima para todos los diseños se muestran en la tabla 7 donde el tamaño de la muestra para cada diseño es igual a 3.

Tabla 7
Resultados de la densidad Máxima

DENSIDAD MAXIMA	(gr, cm³)
Muestra Patrón 1	1.904
Muestra Patrón 2	1.900
Muestra Patrón 3	1.905
Muestra Patrón + 1% de cenizas de sauco 1	1.902
Muestra Patrón + 1% de cenizas de sauco 2	1.913
Muestra Patrón + 1% de cenizas de sauco 3	1.903
Muestra Patrón + 3% de cenizas de sauco 1	1.929
Muestra Patrón + 3% de cenizas de sauco 2	1.931
Muestra Patrón + 3% de cenizas de sauco 3	1.932
Muestra Patrón + 5% de cenizas de sauco 1	1.932
Muestra Patrón + 5% de cenizas de sauco 2	1.932
Muestra Patrón + 5% de cenizas de sauco 3	1.934

Fuente: Ensayos de Laboratorio

Prueba del supuesto de Normalidad para la densidad máxima:

Planteamiento de la hipótesis:

Ho: los datos provienen de una distribución normal

Ha: los datos no provienen de una distribución normal

Tabla 8

Pruebas de normalidad para la Densidad Máxima

		Pruebas de normalidad					
		Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
DISEÑO		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
DENSIDAD MÁXIMA	Diseño Patrón	,314	3	.	,893	3	,363
	Diseño al 1% de CS	,356	3	.	,818	3	,157
	Diseño al 3% de CS	,253	3	.	,964	3	,637
	Diseño al 5% de CS	,253	3	.	,964	3	,637

a. Corrección de significación de Lilliefors

Según los resultados de la prueba de Normalidad de Shapiro Wilk, los valores de significancia (sig) de 0.363, 0.157, 0.637 y 0.637 para los diseños patrón y experimentales respectivamente son mayores a 0.05, por lo tanto, no rechazamos la hipótesis nula y concluimos que todos los datos para cada diseño siguen una distribución normal con un nivel de significancia del 5%.

Prueba del supuesto de Homogeneidad o igualdad de varianzas para la densidad máxima:

Planteamiento de la hipótesis:

Ho: Si existen igualdad de varianzas entre los grupos

Ha: No existen igualdad de varianzas entre los grupos

Tabla 9

Prueba del supuesto de Homogeneidad o igualdad de varianzas para la densidad máxima

		Prueba de homogeneidad de varianzas			
		Estadístico de			
		Levene	gl1	gl2	Sig.
DENSIDAD MÁXIMA	Se basa en la media	5,396	3	8	,025

Se basa en la mediana	,521	3	8	,680
Se basa en la mediana y con gl ajustado	,521	3	2,858	,698
Se basa en la media recortada	4,545	3	8	,039

Según los resultados de la prueba de Homogeneidad de varianzas de Levene, que se basa en la media indica que el valor de significancia (sig) de 0.025 es menor a 0.05, por lo tanto, rechazamos la hipótesis nula y concluimos con un nivel de significancia del 5% que no existe igualdad de varianzas entre los diseños.

Una vez probado la normalidad de los datos, procederemos a la prueba ANOVA de un factor

Tabla 10
Prueba de ANOVA de un factor para la densidad máxima

ANOVA					
DENSIDAD MÁXIMA					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	,002	3	,001	61,194	,000
Dentro de grupos	,000	8	,000		
Total	,002	11			

Los resultados de la prueba indican que, con un nivel de significancia del 5%, existe evidencia suficiente para aceptar la hipótesis del investigador, debido a que el valor sig de la prueba entre grupos o diseños es igual a 0.000 y es menor a 0.05, esto es, si existe diferencias significativas entre la media de la densidad máxima del diseño patrón y al menos con algunos de los diseños experimentales, ahora debido a que no existe igualdad de varianzas, se aplicará la prueba post hoc de T3 de Dunnett para determinar cuál de los tratamientos o diseños experimentales es el que mejor efecto positivo tiene sobre la densidad máxima.

Tabla 11
Prueba post hoc de T3 de Dunnett para la densidad máxima

Comparaciones múltiples						
Variable dependiente: DENSIDAD MÁXIMA						
T3 Dunnett						
		Diferencia de			Intervalo de confianza al 95%	
(I) DISEÑO	(J) DISEÑO	medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Límite inferior	Límite superior
Diseño Patrón	Diseño al 1% de CS	-,003000	,003830	,941	-,02456	,01856
	Diseño al 3% de CS	-,027667*	,001764	,002	-,03648	-,01885
	Diseño al 5% de CS	-,029667*	,001764	,001	-,03848	-,02085
Diseño al 1% de CS	Diseño Patrón	,003000	,003830	,941	-,01856	,02456
	Diseño al 3% de CS	-,024667*	,003621	,049	-,04899	-,00034
	Diseño al 5% de CS	-,026667*	,003621	,041	-,05099	-,00234
Diseño al 3% de CS	Diseño Patrón	,027667*	,001764	,002	,01885	,03648
	Diseño al 1% de CS	,024667*	,003621	,049	,00034	,04899
	Diseño al 5% de CS	-,002000	,001247	,574	-,00745	,00345
Diseño al 5% de CS	Diseño Patrón	,029667*	,001764	,001	,02085	,03848
	Diseño al 1% de CS	,026667*	,003621	,041	,00234	,05099
	Diseño al 3% de CS	,002000	,001247	,574	-,00345	,00745

*. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05.

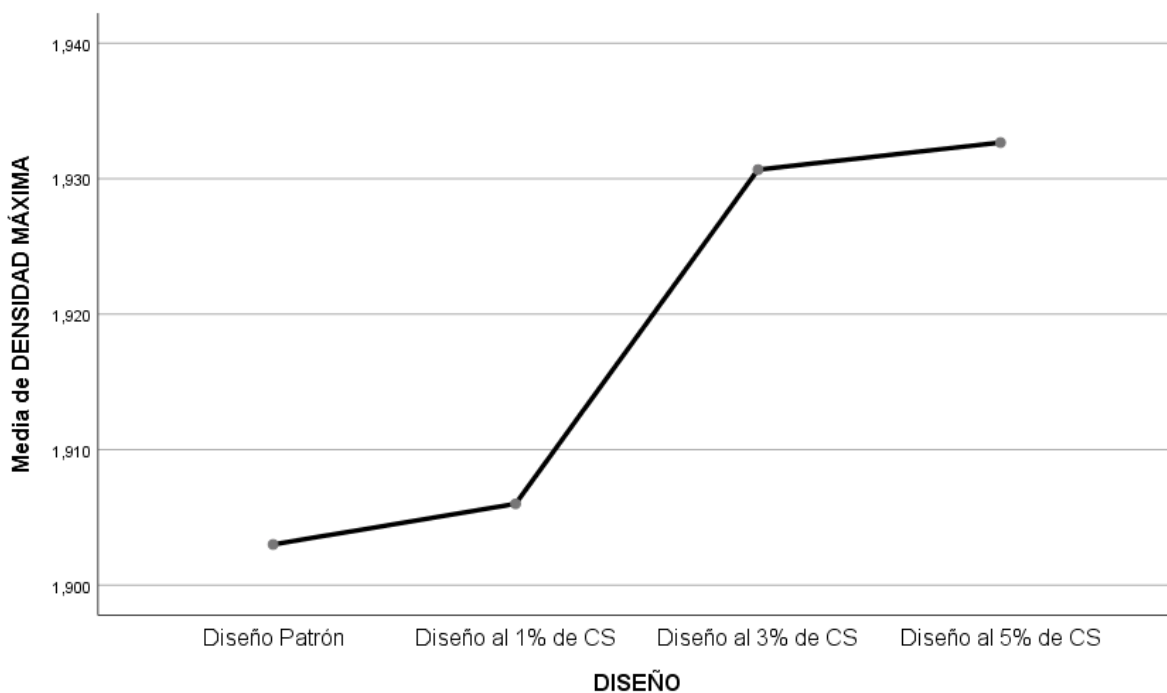


Figura 24: Gráfico de medias para la densidad máxima

Del gráfico de medias podemos observar que la media de la densidad máxima del diseño patrón es menor que los tres diseños experimentales, siendo el diseño del 5% de CS el mayor de todos, ahora bien la prueba de T3 de Dunnett indica que, al comparar el diseño patrón frente al diseño del 1% de CS, notamos que el valor sig de la prueba es de 0.941 y mayor a 0.05, por lo que la diferencia que se nota en el gráfico de medias resulta ser no significativa, mientras que los valores sig de los otros dos diseños al 3% y 5% de CS son de 0.002 y 0.001 respectivamente y son menores a 0.05, lo que significa que las diferencias que se notan en el gráfico resultan ser significativas, por tanto podemos concluir con un nivel de significancia del 5% que, la máxima densidad obtenida del suelo arcilloso con adición al 3% y 5% de cenizas de sauco logran significativamente estabilizar el suelo arcilloso frente al diseño patrón, mientras que al adicionar el 1% de cenizas de sauco ésta logra ser igual que el diseño patrón en la estabilización del suelo arcilloso.

Análisis inferencial para la resistencia al corte directo

Hipótesis Nula (H₀): No existe diferencias significativas entre las medias de las resistencias al corte directo con adición de cenizas de sauco al 1%, 3% y 5% con respecto a la media de la resistencia al corte directo del diseño patrón para estabilizar el suelo arcilloso, Lima Ate - Vitarte.

$$\mu_{RCD1} = \mu_{RCD2} = \mu_{RCD3} = \mu_{RCD_patrón}$$

Hipótesis Alternativa (H_a): Si existe diferencias significativas entre las medias de las resistencias al corte directo con adición de cenizas de sauco al 1%, 3% y 5% con respecto a la media de la resistencia al corte directo del diseño patrón para estabilizar el suelo arcilloso, Lima Ate - Vitarte.

Existe al menos un $i / \mu RCD_i \neq \mu RCD_{\text{patrón}}$

i = diseño experimental 1, 2, 3

Donde μRCD , es la media o promedio de la resistencia al corte directo.

Estadístico de Prueba

Dado que la variable respuesta **resistencia al corte directo** es cuantitativa y existe una variable independiente llamado factor con tres niveles de tipo categórica ordinal que representa el tipo de diseño y lo que se quiere probar es si existe un efecto significativo del factor sobre la variable respuesta y a través de ello realizar un comparativo entre los diseños, entonces estamos hablando de un diseño de análisis de varianza de un factor ANOVA, por consiguiente para probar las hipótesis se utilizará el análisis de varianza ANOVA de un factor y la prueba de rango post hoc de Tukey para comparar cuál de los diseños es la que mejor efecto significativo tiene en comparación con el diseño patrón.

Requisitos para el ANOVA

Probar los supuestos de Normalidad mediante la Prueba de Shapiro Wilk y de Homocedasticidad (igualdad de varianzas) mediante la Prueba de Levene.

Los resultados de los supuestos y de las pruebas de hipótesis se realizaron en el programa estadístico SPSS v.25.

En caso no se cumpla el supuesto de normalidad, se aplicará la prueba no paramétrica de Kruskal Wallis en vez del ANOVA.

En caso no se pruebe la igualdad de varianzas se aplica la prueba T3 de Dunnett en vez de la prueba de rango post hoc de Tukey.

Consideraciones de las pruebas:

✓ Para todas las pruebas se asumirá un valor de significancia de 0.05 y se aceptará la hipótesis nula si el valor de significancia de la prueba es mayor al valor de significancia asumido.

Datos

Los datos de la resistencia al corte directo para todos los diseños se muestran en la tabla 8 donde el tamaño de la muestra para cada diseño es igual a 9.

Tabla 12
Resultados de la Resistencia al Corte Directo

Resistencia al corte directo	(kg, cm²)
	0.28
Muestra Patrón 1	0.57
	0.72
	0.28
Muestra Patrón 2	0.57
	0.72
	0.28
Muestra Patrón 3	0.56
	0.71
	0.30
Muestra Patrón + 1% de cenizas de sauco 1	0.58
	0.75
	0.30
Muestra Patrón + 1% de cenizas de sauco 2	0.58
	0.76
	0.30
Muestra Patrón + 1% de cenizas de sauco 3	0.59
	0.76
	0.34
Muestra Patrón + 3% de cenizas de sauco 1	0.61
	0.82
	0.34
Muestra Patrón + 3% de cenizas de sauco 2	0.61
	0.83
	0.34
Muestra Patrón + 3% de cenizas de sauco 3	0.61
	0.83
	0.36
Muestra Patrón + 5% de cenizas de sauco 1	0.63
	0.86

	0.37
Muestra Patrón + 5% de cenizas de sauco 2	0.63
	0.87
	0.38
Muestra Patrón + 5% de cenizas de sauco 3	0.63
	0.87

Prueba del supuesto de Normalidad para la resistencia al corte directo del espécimen 1, 2 y 3:

Planteamiento de la hipótesis:

Ho: los datos provienen de una distribución normal

Ha: los datos no provienen de una distribución normal

Tabla 13
Prueba del supuesto de Normalidad para la resistencia al corte directo del espécimen 1, 2 y 3

Pruebas de normalidad							
	DISEÑO	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
RESISTENCIA AL	Diseño Patrón	,175	3	.	1,000	3	1,000
CORTE DEL	Diseño al 1% de CS	,175	3	.	1,000	3	1,000
ESPÉCIMEN 1	Diseño al 3% de CS	,175	3	.	1,000	3	1,000
	Diseño al 5% de CS	,175	3	.	1,000	3	1,000
RESISTENCIA AL	Diseño Patrón	,204	3	.	,993	3	,843
CORTE DEL	Diseño al 1% de CS	,204	3	.	,993	3	,843
ESPÉCIMEN 2	Diseño al 3% de CS	,175	3	.	1,000	3	1,000
	Diseño al 5% de CS	,175	3	.	1,000	3	1,000
RESISTENCIA AL	Diseño Patrón	,204	3	.	,993	3	,843
CORTE DEL	Diseño al 1% de CS	,187	3	.	,998	3	,915
ESPÉCIMEN 3	Diseño al 3% de CS	,253	3	.	,964	3	,637
	Diseño al 5% de CS	,204	3	.	,993	3	,843

a. Corrección de significación de Lilliefors

Según los resultados de la prueba de Normalidad de Shapiro Wilk, los valores de significancia (sig) de Shapiro Wilk para el espécimen 1, 2 y 3 y en todos los diseños

son mayores a 0.05, por lo tanto, no rechazamos la hipótesis nula y concluimos que todos los datos para cada diseño y espécimen siguen una distribución normal con un nivel de significancia del 5%.

Prueba del supuesto de Homogeneidad o igualdad de varianzas para la resistencia al corte del espécimen 1, 2 y 3:

Planteamiento de la hipótesis:

Ho: Si existen igualdad de varianzas entre los grupos

Ha: No existen igualdad de varianzas entre los grupos

Tabla 14

Prueba del supuesto de Homogeneidad o igualdad de varianzas para la resistencia al corte del espécimen 1, 2 y 3

		Prueba de homogeneidad de varianzas			
		Estadístico de			
		Levene	gl1	gl2	Sig.
RESISTENCIA AL	Se basa en la media	,000	3	8	1,000
CORTE DEL	Se basa en la mediana	,000	3	8	1,000
ESPÉCIMEN 1	Se basa en la mediana y con gl ajustado	,000	3	8,000	1,000
	Se basa en la media recortada	,000	3	8	1,000
RESISTENCIA AL	Se basa en la media	,135	3	8	,936
CORTE DEL	Se basa en la mediana	,158	3	8	,922
ESPÉCIMEN 2	Se basa en la mediana y con gl ajustado	,158	3	7,275	,921
	Se basa en la media recortada	,136	3	8	,936
RESISTENCIA AL	Se basa en la media	,017	3	8	,997
CORTE DEL	Se basa en la mediana	,019	3	8	,996
ESPÉCIMEN 3	Se basa en la mediana y con gl ajustado	,019	3	7,954	,996
	Se basa en la media recortada	,017	3	8	,997

Según los resultados de la prueba de Homogeneidad de varianzas de Levene, que se basa en la media indica que los valores de significancia (sig) de 1.000, 0.936 y 0.997 del espécimen 1, 2 y 3 respectivamente son mayores a 0.05, por lo tanto, no rechazamos

la hipótesis nula y concluimos con un nivel de significancia del 5% que si existe igualdad de varianzas entre los diseños para cada espécimen.

Una vez probado la normalidad de los datos, procederemos a la prueba ANOVA de un factor

Tabla 15
Prueba de ANOVA de un factor para la resistencia al corte directo de los especímenes 1, 2 y 3.

ANOVA						
		Suma de		Media		
		cuadrados	gl	cuadrática	F	Sig.
RESISTENCIA AL	Entre grupos	,015	3	,005	48,750	,000
CORTE DEL	Dentro de grupos	,001	8	,000		
ESPÉCIMEN 1	Total	,015	11			
RESISTENCIA AL	Entre grupos	,007	3	,002	31,659	,000
CORTE DEL	Dentro de grupos	,001	8	,000		
ESPÉCIMEN 2	Total	,008	11			
RESISTENCIA AL	Entre grupos	,041	3	,014	307,290	,000
CORTE DEL	Dentro de grupos	,000	8	,000		
ESPÉCIMEN 3	Total	,041	11			

Los resultados de la prueba indican que, con un nivel de significancia del 5%, existe evidencia suficiente para aceptar la hipótesis del investigador, debido a que los valores sig de la prueba entre grupos o diseños para cada espécimen son iguales a 0.000 y es menor a 0.05, esto es, si existe diferencias significativas entre la media de la resistencia al corte directo del diseño patrón y al menos con algunos de los diseños experimentales para cada espécimen, ahora debido a que si existe igualdad de varianzas, se aplicará la prueba post hoc de Tuckey para determinar cuál de los tratamientos o diseños experimentales para cada espécimen es el que mejor efecto positivo tiene sobre la resistencia al corte directo.

Tabla 16
Prueba post hoc de Tuckey y gráficos de medias para la resistencia al corte directo de los especímenes 1, 2 y 3

RESISTENCIA AL CORTE DEL ESPÉCIMEN 1				
HSD Tukey ^a				
		Subconjunto para alfa = 0.05		
DISEÑO	N	1	2	3
Diseño Patrón	3	,28000		
Diseño al 1% de CS	3	,30000		
Diseño al 3% de CS	3		,34000	
Diseño al 5% de CS	3			,37000
Sig.		,144	1,000	1,000
Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.				
a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 3,000.				

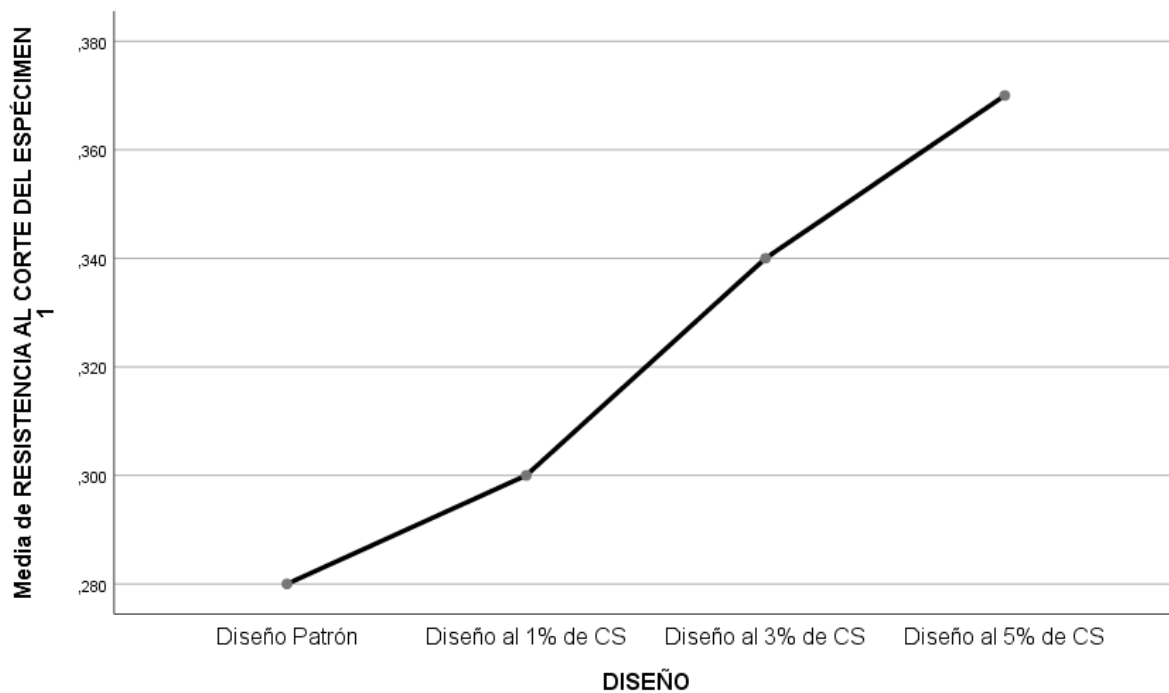


Figura 25: Gráfico de medias para la resistencia al corte del espécimen 1

Del gráfico de medias podemos observar que la media de la resistencia al corte del diseño patrón es menor que los tres diseños experimentales, siendo el del diseño al 5% de CS el mayor de todos, ahora bien la prueba de Tuckey indica que, al comparar el diseño patrón frente al diseño del 1% de CS, notamos que se encuentran en el mismo sub grupo 1 con el valor sig de la prueba de 0.114 y mayor a 0.05, lo cual resulta que

no existe diferencias significativas entre ellos, mientras que los otros dos diseños al 3% y 5% de CS se encuentran en diferentes sub grupos, lo que significa que, si existen diferencias significativas entre ellos, sin embargo la del diseño al 5% de CS es la que mayor diferencia significativa tiene, por tanto podemos concluir con un nivel de significancia del 5% que, la resistencia al corte directo del espécimen 1 obtenida del suelo arcilloso con adición al 3% y 5% de cenizas de sauco logran significativamente estabilizar el suelo arcilloso frente al diseño patrón, siendo la del 5% de cenizas de sauco la que mejor resultado tiene, mientras que al adicionar el 1% de cenizas de sauco ésta logra ser igual que el diseño patrón en la estabilización del suelo arcilloso.

Tabla 17
Resistencia al Corte del Especimen 2

RESISTENCIA AL CORTE DEL ESPÉCIMEN 2			
HSD Tukey ^a			
DISEÑO	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
Diseño Patrón	3	,56667	
Diseño al 1% de CS	3	,58333	
Diseño al 3% de CS	3		,61000
Diseño al 5% de CS	3		,63000
Sig.		,163	,084

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 3,000.

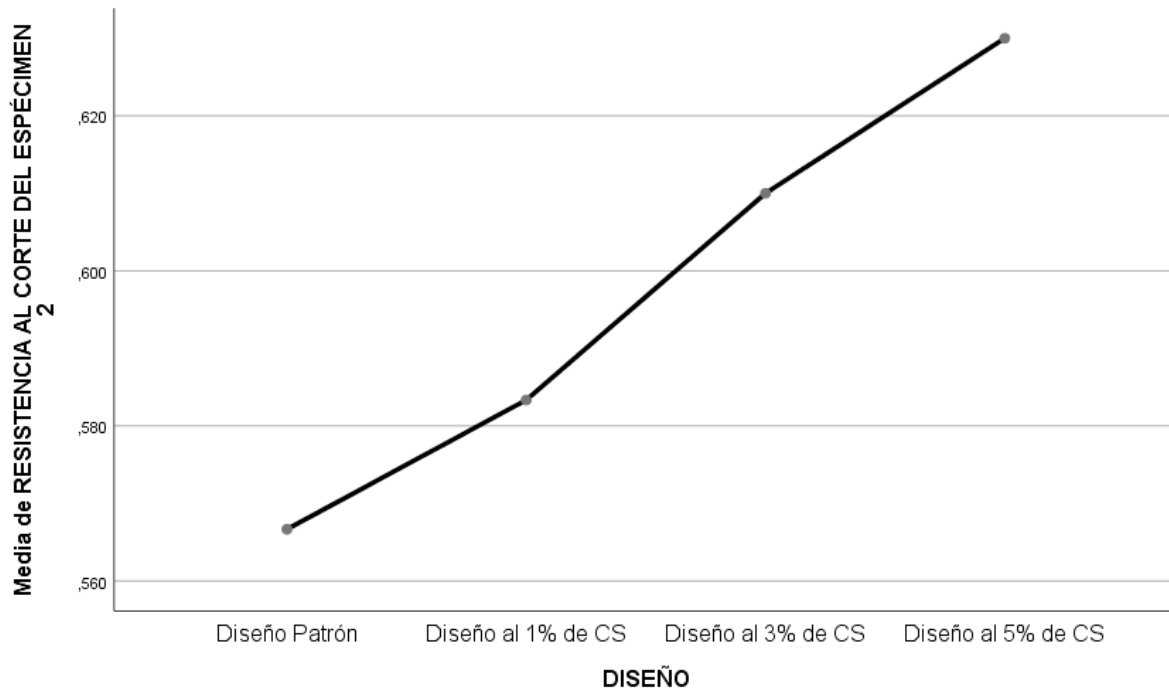


Figura 26: Gráfico de medias para la resistencia al corte del espécimen 2

Del gráfico de medias podemos observar que la media de la resistencia al corte del diseño patrón es menor que los tres diseños experimentales, siendo el del diseño al 5% de CS el mayor de todos, ahora bien la prueba de Tuckey indica que, al comparar el diseño patrón frente al diseño del 1% de CS, notamos que se encuentran en el mismo sub grupo 1 con el valor sig de la prueba de 0.163 y mayor a 0.05, lo cual resulta que no existe diferencias significativas entre ellos, mientras que los otros dos diseños al 3% y 5% de CS se encuentran en diferentes sub grupos, lo que significa que, si existen diferencias significativas entre ellos, por tanto podemos concluir con un nivel de significancia del 5% que, la resistencia al corte directo del espécimen 2 obtenida del suelo arcilloso con adición al 3% y 5% de cenizas de sauco logran significativamente estabilizar el suelo arcilloso frente al diseño patrón, mientras que al adicionar el 1% de cenizas de sauco ésta logra ser igual que el diseño patrón en la estabilización del suelo arcilloso

Tabla 18
Resistencia al Corte del Espécimen 3

RESISTENCIA AL CORTE DEL ESPÉCIMEN 3					
HSD Tukey ^a					
Subconjunto para alfa = 0.05					
DISEÑO	N	1	2	3	4
Diseño Patrón	3	,71667			
Diseño al 1% de CS	3		,75667		
Diseño al 3% de CS	3			,82667	
Diseño al 5% de CS	3				,86667
Sig.		1,000	1,000	1,000	1,000

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 3,000.

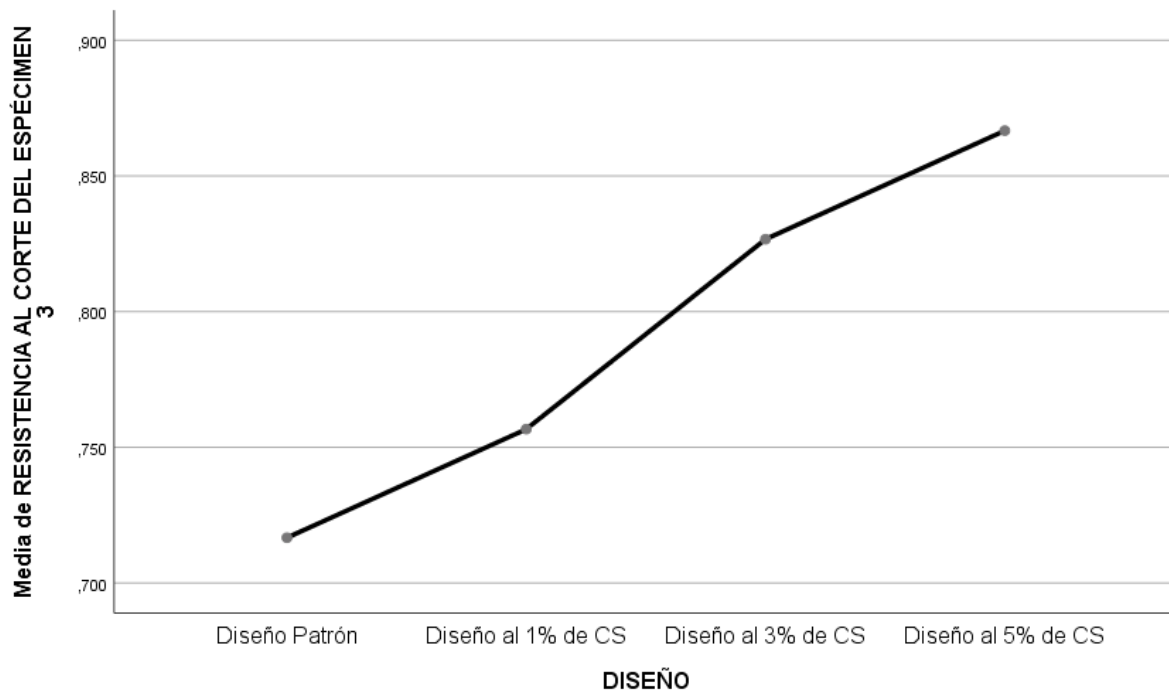


Figura 27: Gráfico de medias para la resistencia al corte del espécimen 3

Del gráfico de medias podemos observar que la media de la resistencia al corte del diseño patrón es menor que los tres diseños experimentales, siendo el del diseño al 5% de CS el mayor de todos, ahora bien la prueba de Tuckey indica que, al comparar el diseño patrón frente al diseño del 1% , 3% y 5% de CS, notamos que se encuentran en diferentes sub grupos, lo cual resulta que existen diferencias significativas entre todos, por tanto podemos concluir con un nivel de significancia del 5% que, la resistencia al

corte directo del espécimen 3 obtenida del suelo arcilloso con adición al 1%, 3% y 5% de cenizas de sauco logran significativamente estabilizar el suelo arcilloso frente al diseño patrón, siendo el del 5% de cenizas de sauco la que logra una mejor estabilización del suelo arcilloso.

Para la obtención del **tercero objetivo** que pide determinar el análisis comparativo del CBR entre el suelo arcilloso natural y suelo arcilloso con adición de 1%, 3% y 5% con cenizas de sauco para estabilizar el suelo arcilloso, se desarrolló la hipótesis específica 3 planteada a través del análisis inferencial estadístico.

Análisis Inferencial

Hipótesis específica 3 o del investigador

El CBR del suelo arcilloso con adición del 1%, 3% y 5% con cenizas de sauco es mejor que el suelo arcilloso natural, para estabilizar el suelo arcilloso.

Planteamiento estadístico de la prueba de hipótesis:

Para contrastar esta hipótesis compararemos los valores CBR (%) del diseño Patrón frente a los diseños experimentales con adiciones del 1%, 3% y 5% de cenizas de sauco como se muestra en la tabla 9.

Hipótesis Nula (H₀): No existe diferencias significativas entre las medias de los % CBR del suelo arcilloso con adición al 1%, 3% y 5% de cenizas de sauco con respecto a la media del % CBR del diseño patrón para estabilizar el suelo arcilloso, Lima Ate - Vitarte.

$$\mu\%CBR1 = \mu\%CBR2 = \mu\%CBR3 = \mu\%CBR_{\text{patrón}}$$

Hipótesis Alternativa (H_a): Si existe diferencias significativas entre las medias de los % CBR del suelo arcilloso con adición al 1%, 3% y 5% de cenizas de sauco con respecto a la media del % CBR del diseño patrón para estabilizar el suelo arcilloso, Lima Ate - Vitarte.

Existe al menos un $i / \mu\%CBR_i \neq \mu\%CBR_{\text{patrón}}$

$i =$ diseño experimental 1, 2, 3

Donde $\mu\%CBR$, es la media del % de CBR

Estadístico de Prueba

Dado que la variable respuesta del % **CBR** es cuantitativa y existe una variable independiente llamado factor con tres niveles de tipo categórica ordinal que representa el tipo de diseño y lo que se quiere probar es si existe un efecto significativo del factor sobre la variable respuesta y a través de ello realizar un comparativo entre los diseños, entonces estamos hablando de un diseño de análisis de varianza de un factor ANOVA, por consiguiente para probar las hipótesis se utilizará el análisis de varianza ANOVA de un factor y la prueba de rango post hoc de Tukey para comparar cuál de los diseños es la que mejor efecto significativo tiene en comparación con el diseño patrón.

Requisitos para el ANOVA

Probar los supuestos de Normalidad mediante la Prueba de Shapiro Wilk y de Homocedasticidad (igualdad de varianzas) mediante la Prueba de Levene.

Los resultados de los supuestos y de las pruebas de hipótesis se realizaron en el programa estadístico SPSS v.25.

En caso no se cumpla el supuesto de normalidad, se aplicará la prueba no paramétrica de Kruskal Wallis en vez del ANOVA.

En caso no se pruebe la igualdad de varianzas se aplica la prueba T3 de Dunnett en vez de la prueba de rango post hoc de Tukey.

Consideraciones de las pruebas:

✓ Para todas las pruebas se asumirá un valor de significancia de 0.05 y se aceptará la hipótesis nula si el valor de significancia de la prueba es mayor al valor de significancia asumido.

Datos

Los datos de los % de CBR para todos los diseños se muestra en la tabla 9 donde el tamaño de la muestra para cada diseño es igual a 3.

Tabla 19
Resultado del ensayo CBR

CBR	1"		2"	
	100.00%	95.00%	100.00%	95.00%
Muestra Patrón 1	23.00%	15.40%	32.00%	21.50%
Muestra Patrón 2	23.00%	15.40%	32.00%	21.50%
Muestra Patrón 3	23.00%	15.40%	32.00%	21.50%
Muestra Patrón + 1% de cenizas de sauco 1	24.60%	16.70%	34.10%	23.10%
Muestra Patrón + 1% de cenizas de sauco 2	24.60%	16.70%	34.10%	23.10%
Muestra Patrón + 1% de cenizas de sauco 3	24.60%	16.70%	34.10%	23.10%
Muestra Patrón + 3% de cenizas de sauco 1	26.40%	17.70%	36.70%	24.60%
Muestra Patrón + 3% de cenizas de sauco 2	26.40%	17.70%	36.70%	24.60%
Muestra Patrón + 3% de cenizas de sauco 3	26.40%	17.70%	36.70%	24.60%
Muestra Patrón + 5% de cenizas de sauco 1	28.30%	18.90%	38.60%	25.90%
Muestra Patrón + 5% de cenizas de sauco 2	28.30%	18.90%	38.60%	25.90%
Muestra Patrón + 5% de cenizas de sauco 3	28.30%	18.90%	38.60%	25.90%

Prueba del supuesto de Normalidad para el %CBR con el 100% y 95% de MDS a 1" y 2":

Planteamiento de la hipótesis:

Ho: los datos provienen de una distribución normal

Ha: los datos no provienen de una distribución normal

Tabla 20

Prueba del supuesto de Normalidad para el %CBR con el 100% y 95% de MDS a 1" y 2"

		Pruebas de normalidad					
		Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	DISEÑO	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
%CBR AL 100%	Diseño Patrón	,175	3	.	1,000	3	1,000
MDS - A 1"	Diseño al 1% de CS	,175	3	.	1,000	3	1,000
	Diseño al 3% de CS	,175	3	.	1,000	3	1,000
	Diseño al 5% de CS	,175	3	.	1,000	3	1,000
%CBR AL 95%	Diseño Patrón	,175	3	.	1,000	3	1,000
MDS - A 1"	Diseño al 1% de CS	,175	3	.	1,000	3	1,000
	Diseño al 3% de CS	,175	3	.	1,000	3	1,000
	Diseño al 5% de CS	,175	3	.	1,000	3	1,000
%CBR AL 100%	Diseño Patrón	,175	3	.	1,000	3	1,000
MDS - A 2"	Diseño al 1% de CS	,175	3	.	1,000	3	1,000
	Diseño al 3% de CS	,175	3	.	1,000	3	1,000
	Diseño al 5% de CS	,175	3	.	1,000	3	1,000
%CBR AL 95%	Diseño Patrón	,175	3	.	1,000	3	1,000
MDS - A 2"	Diseño al 1% de CS	,175	3	.	1,000	3	1,000
	Diseño al 3% de CS	,175	3	.	1,000	3	1,000
	Diseño al 5% de CS	,175	3	.	1,000	3	1,000

a. Corrección de significación de Lilliefors

Según los resultados de la prueba de Normalidad de Shapiro Wilk, los valores de significancia (sig) de Shapiro Wilk para todos los diseños son iguales a 1.000 y son mayores a 0.05, por lo tanto, no rechazamos la hipótesis nula y concluimos que todos los datos para cada diseño siguen una distribución normal con un nivel de significancia del 5%.

Prueba del supuesto de Homogeneidad o igualdad de varianzas para el %CBR con el 100% y 95% de MDS a 1" y 2":

Planteamiento de la hipótesis:

Ho: Si existen igualdad de varianzas entre los grupos

Ha: No existen igualdad de varianzas entre los grupos

Tabla 21

Prueba del supuesto de Homogeneidad o igualdad de varianzas para el %CBR con el 100% y 95% de MDS a 1" y 2"

		Prueba de homogeneidad de varianzas			
		Estadístico de			
		Levene	gl1	gl2	Sig.
%CBR AL 100% MDS - A 1"	Se basa en la media	2,286	3	8	,156
	Se basa en la mediana	2,286	3	8	,156
	Se basa en la mediana y con gl ajustado	2,286	3	2,497	,284
	Se basa en la media recortada	2,286	3	8	,156
%CBR AL 95% MDS - A 1"	Se basa en la media	,571	3	8	,649
	Se basa en la mediana	,571	3	8	,649
	Se basa en la mediana y con gl ajustado	,571	3	5,158	,657
	Se basa en la media recortada	,571	3	8	,649
%CBR AL 100% MDS - A 2"	Se basa en la media	2,040	3	8	,187
	Se basa en la mediana	2,040	3	8	,187
	Se basa en la mediana y con gl ajustado	2,040	3	2,707	,301
	Se basa en la media recortada	2,040	3	8	,187
%CBR AL 95% MDS - A 2"	Se basa en la media	,571	3	8	,649
	Se basa en la mediana	,571	3	8	,649
	Se basa en la mediana y con gl ajustado	,571	3	5,158	,657
	Se basa en la media recortada	,571	3	8	,649

Según los resultados de la prueba de Homogeneidad de varianzas de Levene, que se basa en la media indica que los valores de significancia (sig) de 0.156, 0.649, 0.187 y 0.649 para los diferentes diseños son mayores a 0.05, por lo tanto, no rechazamos la

hipótesis nula y concluimos con un nivel de significancia del 5% que si existe igualdad de varianzas entre los diseños.

Una vez probado la normalidad de los datos, procederemos a la prueba ANOVA de un factor

Tabla 22
Prueba de ANOVA de un factor para el %CBR con el 100% y 95% de MDS a 1" y 2"

		ANOVA				
		Suma de		Media		
		cuadrados	gl	cuadrática	F	Sig.
% CBR AL 100%	Entre grupos	47,063	3	15,688	56,027	,000
MDS - A 1"	Dentro de grupos	2,240	8	,280		
	Total	49,303	11			
% CBR AL 95%	Entre grupos	19,883	3	6,628	378,714	,000
MDS - A 1"	Dentro de grupos	,140	8	,017		
	Total	20,023	11			
% CBR AL 100%	Entre grupos	75,510	3	25,170	86,051	,000
MDS - A 2"	Dentro de grupos	2,340	8	,293		
	Total	77,850	11			
% CBR AL 95%	Entre grupos	32,483	3	10,828	618,714	,000
MDS - A 2"	Dentro de grupos	,140	8	,018		
	Total	32,623	11			

Los resultados de la prueba ANOVA indican que, con un nivel de significancia del 5%, existe evidencia suficiente para aceptar la hipótesis del investigador, debido a que los valores sig de la prueba entre diseños para cada grupo son iguales a 0.000 y es menor a 0.05, esto es, si existe diferencias significativas entre la media del % de CBR del diseño patrón y al menos con algunos de los diseños experimentales para cada grupo, ahora debido a que si existe igualdad de varianzas, se aplicará la prueba post hoc de Tuckey para determinar cuál de los tratamientos o diseños experimentales para cada grupo es el que mejor efecto positivo tiene sobre el % de CBR.

Prueba post hoc de Tuckey y gráficos de medias para el %CBR con el 100% y 95% de MDS a 1" y 2":

Tabla 23

Prueba post hoc de Tuckey y gráficos de medias para el %CBR con el 100% de MDS a 1"

%CBR AL 100% MDS - A 1"					
HSD Tukey ^a					
DISEÑO	N	Subconjunto para alfa = 0.05			
		1	2	3	4
Diseño Patrón	3	23,0000			
Diseño al 1% de CS	3		24,6000		
Diseño al 3% de CS	3			26,4000	
Diseño al 5% de CS	3				28,3000
Sig.		1,000	1,000	1,000	1,000

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 3,000.

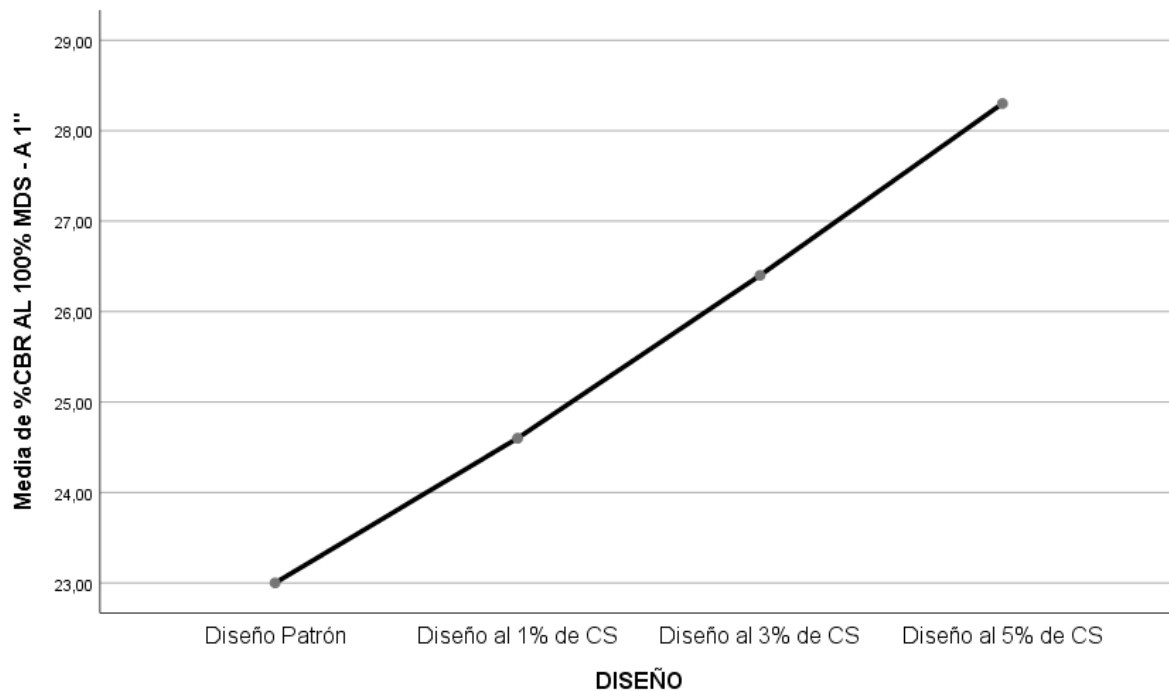


Figura 28: Gráfico de %CBR al 100% MDS - A 1"

Del gráfico de medias podemos observar que la media del diseño patrón es menor que los tres diseños experimentales, siendo el del diseño al 5% de CS el mayor de todos, ahora bien la prueba de Tuckey indica que, al comparar el diseño patrón frente al

diseño del 1% , 3% y 5% de CS, notamos que se encuentran en diferentes sub grupos, lo cual resulta que existen diferencias significativas entre todos, por tanto podemos concluir con un nivel de significancia del 5% que, al adicionar el 1%, 3% o 5% de cenizas de sauco, el % de CBR al 100% de MDS de 1” resultan ser significativamente mejor que la del diseño patrón, sin embargo la del 5% de cenizas de sauco es la que logra una mejor estabilización del suelo arcilloso.

Tabla 24
Prueba post hoc de Tuckey y gráficos de medias para el %CBR con el 95% de MDS a 1”

%CBR AL 95% MDS - A 1”					
HSD Tukey ^a					
DISEÑO	N	Subconjunto para alfa = 0.05			
		1	2	3	4
Diseño Patrón	3	15,4000			
Diseño al 1% de CS	3		16,7000		
Diseño al 3% de CS	3			17,7000	
Diseño al 5% de CS	3				18,9000
Sig.		1,000	1,000	1,000	1,000

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 3,000.

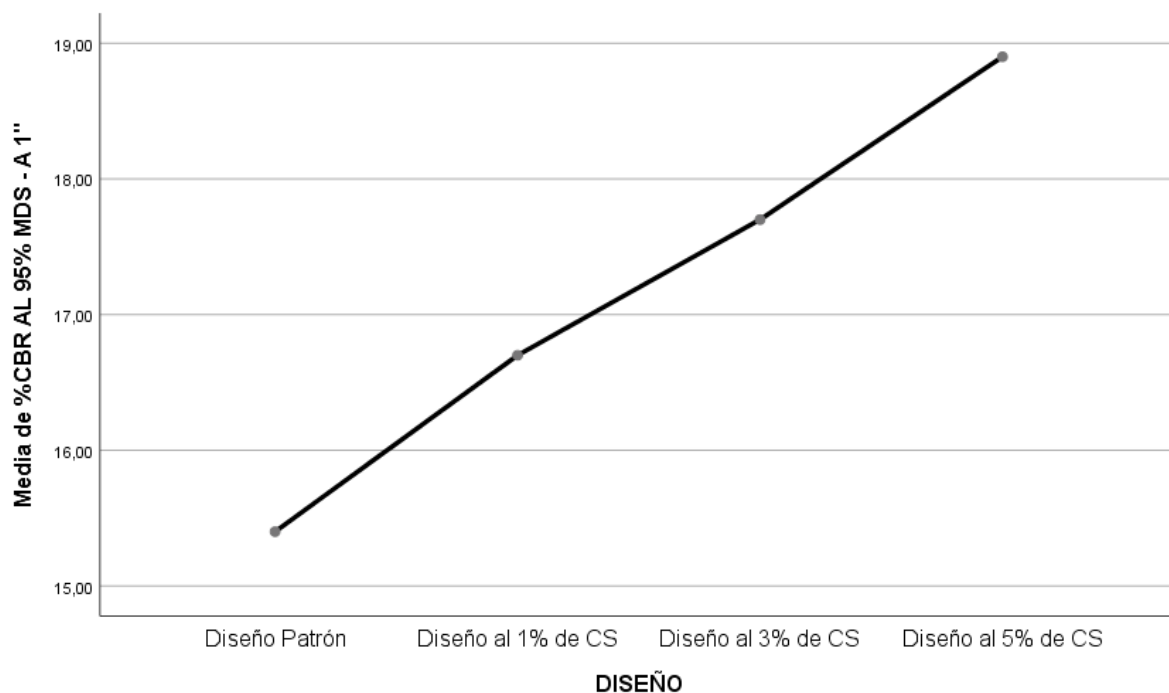


Figura 29: Gráfico de %CBR al 95% MDS -A 1''

Del gráfico de medias podemos observar que la media del diseño patrón es menor que los tres diseños experimentales, siendo el del diseño al 5% de CS el mayor de todos, ahora bien la prueba de Tuckey indica que, al comparar el diseño patrón frente al diseño del 1% , 3% y 5% de CS, notamos que se encuentran en diferentes sub grupos, lo cual indica que existen diferencias significativas entre todos los diseños, por tanto podemos concluir con un nivel de significancia del 5% que, al adicionar el 1%, 3% o 5% de cenizas de sauco, el % de CBR al 95% de MDS de 1'' resultan ser significativamente mejor que la del diseño patrón, sin embargo la del 5% de cenizas de sauco es la que logra una mejor estabilización del suelo arcilloso.

Tabla 25

Prueba post hoc de Tuckey y gráficos de medias para el %CBR con el 100% de MDS a 2''

%CBR AL 100% MDS - A 2''					
HSD Tukey ^a					
DISEÑO	N	Subconjunto para alfa = 0.05			
		1	2	3	4
Diseño Patrón	3	32,0000			
Diseño al 1% de CS	3		34,1000		
Diseño al 3% de CS	3			36,7000	
Diseño al 5% de CS	3				38,6000
Sig.		1,000	1,000	1,000	1,000

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 3,000.

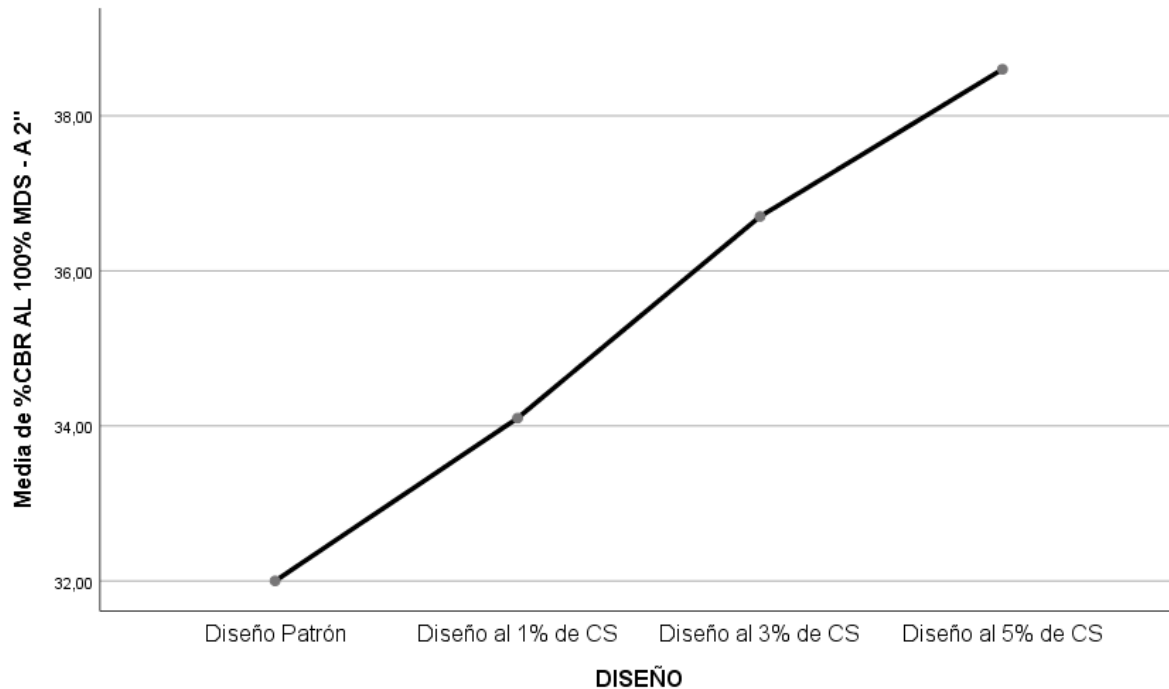


Figura 30: Gráfico de %CBR al 100% MDS - A 2''

Del gráfico de medias podemos observar que la media del diseño patrón es menor que los tres diseños experimentales, siendo el del diseño al 5% de CS el mayor de todos, ahora bien la prueba de Tuckey indica que, al comparar el diseño patrón frente al diseño del 1% , 3% y 5% de CS, notamos que se encuentran en diferentes sub grupos, lo cual indica que existen diferencias significativas entre todos los diseños, por tanto podemos concluir con un nivel de significancia del 5% que, al adicionar el 1%, 3% o 5% de cenizas de sauco, el % de CBR al 100% de MDS de 2'' resultan ser significativamente mejor que la del diseño patrón, sin embargo la del 5% de cenizas de sauco es la que logra una mejor estabilización del suelo arcilloso.

Tabla 26

Prueba post hoc de Tuckey y gráficos de medias para el %CBR con el 95% de MDS a 2''

%CBR AL 95% MDS - A 2''					
HSD Tukey ^a					
DISEÑO	N	Subconjunto para alfa = 0.05			
		1	2	3	4
Diseño Patrón	3	21,5000			
Diseño al 1% de CS	3		23,1000		

Diseño al 3% de CS	3			24,6000	
Diseño al 5% de CS	3				25,9000
Sig.		1,000	1,000	1,000	1,000

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 3,000.

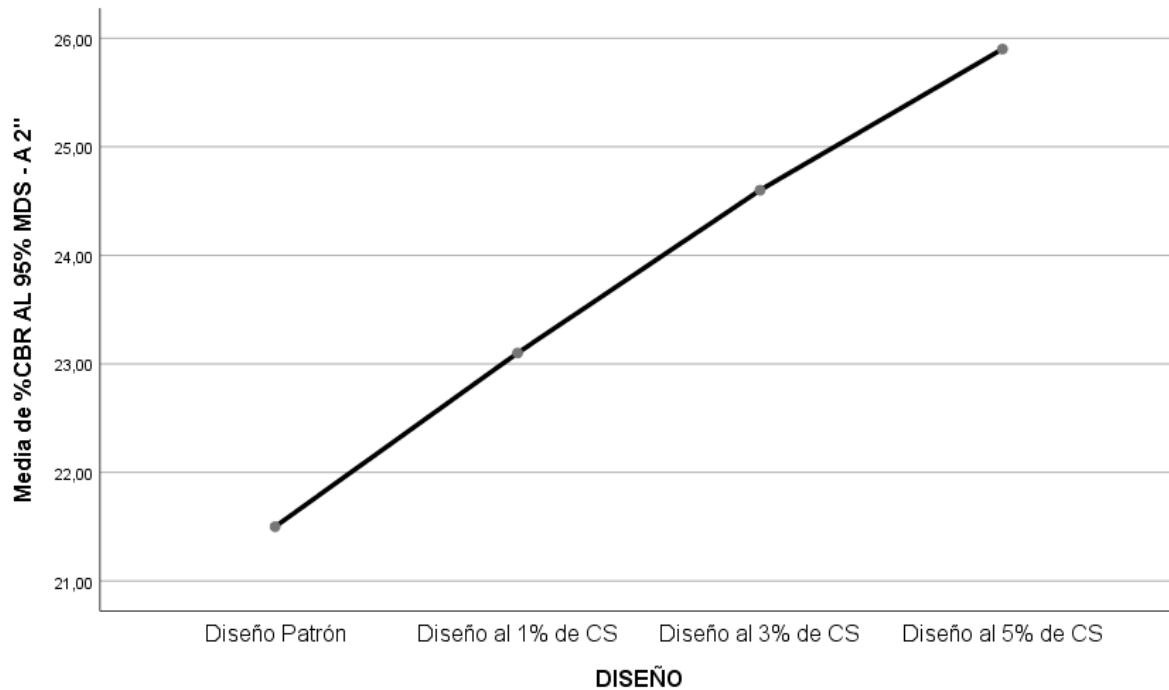


Figura 31: Gráfico de %CBR al 95% MDS -A 2''

Del gráfico de medias podemos observar que la media del diseño patrón es menor que los tres diseños experimentales, siendo el del diseño al 5% de CS el mayor de todos, ahora bien la prueba de Tuckey indica que, al comparar el diseño patrón frente al diseño del 1% , 3% y 5% de CS, notamos que se encuentran en diferentes sub grupos, lo cual indica que existen diferencias significativas entre todos los diseños, por tanto podemos concluir con un nivel de significancia del 5% que, al adicionar el 1%, 3% o 5% de cenizas de sauco, el % de CBR al 95% de MDS de 2'' resultan ser significativamente mejor que la del diseño patrón, sin embargo la del 5% de cenizas de sauco es la que logra una mejor estabilización del suelo arcilloso.

Para la obtención del **cuarto objetivo** que pide determinar el costo beneficio entre el suelo natural y suelo arcilloso utilizando 1%, 3% y 5% con cenizas de sauco para estabilizar el suelo arcilloso.

El peso de la muestra a utilizar es de 83.33 kg de suelo arcilloso

Saucu (sambucus peruvian): Llegan alcanzar hasta los 12 metros, pero su altura promedio es de 3 a 6 metros, el cual se comercializa de la siguiente manera:

- Su venta es en paquetes llamados “cargas”
- El tamaño de cada raja de leña mide de largo 60 cm
- La circunferencia de un tercio de leña (cantidad de 25 a 30 rajos) es de 90 cm

Una “carga” de leña consta de dos tercios.

Una “carga” cuesta 15 soles.

Para la tesis se necesitó 15 cargas, el cual se obtuvo 7.50 kilos de ceniza de sauco.

15 cargas -----7.50 kilos de ceniza

X cargas ----- 1 kilo de ceniza

X= 2 cargas

Por lo tanto, la distribución de la ceniza de sauco esta distribuido de la siguiente manera.

Para suelo arcilloso + 5% de ceniza de sauco	4.17kg
Para suelo arcilloso + 3% de ceniza de sauco	2.50kg
Para suelo arcilloso + 1% de ceniza de sauco	0.83kg

Para obtener el precio recurrimos a una tabla de presupuesto para obtener el costo del material más su adicción.

Tabla 27
Análisis de Precios Unitario

Cenizas de Sauco						
Rendimiento	40	kg/día			Costo total	33.64
Mano de obra	Und	Cuadrilla	Cantidad	Precio	total	
Peón	hh	1.00	0.20	17.32	3.46	3.46
Materiales						
Ceniza de Sauco	kg		1.00	30.00	30.00	30.00
EQUIPOS						
Herramientas manuales	%MO		0.05	3.46	0.17	0.17

Tabla 28
Presupuesto de la adición del suelo arcilloso

Descripción	Unid.	Cant.	Precio	Sub Total
Suelo arcilloso				
Para suelo arcilloso + 5% de ceniza de sauco	Kg	4.17	s/. 33.64	s/. 140.28
Para suelo arcilloso + 3% de ceniza de sauco	Kg	2.50	s/. 33.64	s/. 84.10
Para suelo arcilloso + 1% de ceniza de sauco	Kg	0.83	s/. 33.64	s/. 27.92

Por lo que el suelo arcilloso con adición de sauco dependerá del porcentaje de adición el cual compensa con estabilización del suelo arcilloso en gran porcentaje con respecto al suelo natural, es decir a mayor porcentaje hay mayor estabilización, donde aumenta la resistencia al corte.

CAPÍTULO IV. DISCUSIONES Y CONCLUSIONES

4.5. Discusiones

Cañar Tiviano, (2017) en su tesis *“Análisis Comparativo De La Resistencia Al Corte Y Estabilización De Suelos Arenosos Finos Y Arcillosos Combinadas Con Ceniza De Carbón”* los resultados de ensayos CBR en suelos arenosos finos presenta un aumento del 4.6% al combinarlos con el 25% de cenizas de carbón, mejorando el porcentaje de la resistencia que va desde el 15.0% hasta el 19,60%, indicando que se puede utilizar como una sub-rasante, concluyendo que la adición de las cenizas de carbón influye favorablemente en suelos expansivos como es el caso de la arcilla, formando una masa compacta y aumentando el grado de compactación y por lo tanto mejora su CBR y la resistencia al corte; por otro lado en la presente tesis se a querido estabilizar un suelo arcilloso utilizando el 1%, 3% y 5% con cenizas de sauco, el cual se obtuvieron resultados favorables para cada uno de los porcentajes de adición mejorando así el suelo arcilloso y logrando estabilizar el suelo, cabe recalcar que la adición del 1% de cenizas de sauco obtuvo un resultado similar al suelo arcilloso natural en cambio el 3% y 5% de adición de cenizas de sauco resultaron ser significativamente mejor que la del suelo natural.

Así mismo, Parra Gómez (2018), en la tesis *“Estabilización De Un Suelo Con Cal Y Ceniza Volante”* se puede concluir que no mostro a compresión un comportamiento tan satisfactorio como la cal viva y como efecto negativo se observó que fue el material con mayor deformación unitaria (9,8% aproximadamente, comparativamente con la cal cuya deformación máxima fue de 5.7% y la muestra de control, que fue del 1,8%). Esta deformación del 9,8%, es un indicativo de que, al adicionar ceniza, el cuerpo de prueba se vuelve más dúctil lo que limita el aumento de la resistencia a la compresión, por otro lado en la presente tesis se realizaron diversos ensayos con un suelo arcilloso natural y adicionando el 1%, 3% y 5% de cenizas de sauco con el fin de estabilizar el suelo arcilloso, cabe recalcar

que la resistencia de corte directo por las tres diferentes espécimen que se realizó, el suelo arcilloso con adición del 3% y 5% de cenizas de sauco lograron significativamente estabilizar el suelo arcilloso frete al suelo arcilloso natural, por otro lado el suelo arcilloso con adición del 1% de cenizas de sauco esta logra ser igual que el diseño patrón en la estabilización de suelo arcilloso.

También Ramírez Cruz (2020) en su tesis ***“Incorporación De La Ceniza De Cabuya Para Mejorar Las Propiedades De Suelos Arcillosos, Tramo De Yarumayo – San Pedro De Chaulán, Huánuco – 2020”*** cuyo objetivo es determinar la influencia de la Incorporación de la Ceniza de Cabuya mejora las propiedades de Suelos Arcillosos, determina que el CBR en relación a máxima densidad seca con penetración 1” y 100% de la MDS , la incorporación de ceniza de cabuya contribuye en la capacidad soporte de 8% para suelo natural obteniendo valores en forma creciente desde 13.2% con el 6% hasta un 17.5% con el 12% de ceniza cabuya; entonces la influencia de la ceniza cabuya es notable en los porcentajes pretendidos, poder ser usado como un sub rasante bueno, concluyendo así que la incorporación de ceniza de cabuya en 6%, 8% y 12% aporta en la reducción en la expansión; lo que impide la entrada de agua, reduciendo los cambios volumétricos del suelo expansivo, de esta manera reduciendo posibles grietas, asentamiento; por otro lado en la presente tesis se trabajo con cenizas de sauco con el fin de estabilizar un suelo arcilloso, el cual se hicieron una variedad de ensayos obteniendo resultados favorables, cabe recalcar que el % CBR al 100% de MDS de 1” resultan ser significativamente mejor que la del diseño patrón, sin embargo, la del 5% de cenizas de sauco es la que logra una mejor estabilización del suelo arcilloso.

4.6. Conclusiones

La máxima densidad obtenida del suelo arcilloso con adición al 3% y 5% de cenizas de sauco logran significativamente estabilizar el suelo arcilloso frente al diseño patrón, mientras que al adicionar el 1% de cenizas de sauco ésta logra ser igual que el diseño patrón en la estabilización del suelo arcilloso.

La resistencia al corte directo del espécimen 1 obtenida del suelo arcilloso con adición al 3% y 5% de cenizas de sauco logran significativamente estabilizar el suelo arcilloso frente al diseño patrón, siendo la del 5% de cenizas de sauco la que mejor resultado tiene, mientras que al adicionar el 1% de cenizas de sauco ésta logra ser igual que el diseño patrón en la estabilización del suelo arcilloso.

La resistencia al corte directo del espécimen 2 obtenida del suelo arcilloso con adición al 3% y 5% de cenizas de sauco logran significativamente estabilizar el suelo arcilloso frente al diseño patrón, mientras que al adicionar el 1% de cenizas de sauco ésta logra ser igual que el diseño patrón en la estabilización del suelo arcilloso.

la resistencia al corte directo del espécimen 3 obtenida del suelo arcilloso con adición al 1%, 3% y 5% de cenizas de sauco logran significativamente estabilizar el suelo arcilloso frente al diseño patrón, siendo el del 5% de cenizas de sauco la que logra una mejor estabilización del suelo arcilloso.

Al adicionar el 1%, 3% o 5% de cenizas de sauco, el % de CBR al 100% de MDS de 1” resultan ser significativamente mejor que la del diseño patrón, sin embargo, la del 5% de cenizas de sauco es la que logra una mejor estabilización del suelo arcilloso.

Al adicionar el 1%, 3% o 5% de cenizas de sauco, el % de CBR al 95% de MDS de 1” resultan ser significativamente mejor que la del diseño patrón, sin embargo, la del 5% de cenizas de sauco es la que logra una mejor estabilización del suelo arcilloso.

Al adicionar el 1%, 3% o 5% de cenizas de sauco, el % de CBR al 100% de MDS de 2” resultan ser significativamente mejor que la del diseño patrón, sin embargo, la del 5% de cenizas de sauco es la que logra una mejor estabilización del suelo arcilloso.

Al adicionar el 1%, 3% o 5% de cenizas de sauco, el % de CBR al 95% de MDS de 2” resultan ser significativamente mejor que la del diseño patrón, sin embargo, la del 5% de cenizas de sauco es la que logra una mejor estabilización del suelo arcilloso.

El suelo arcilloso con adición de cenizas de sauco es 225 soles más costosa que el suelo arcilloso normal.

REFERENCIAS

- Fonseca y A. Montejo. (s.f.). *Ingeniería de Pavimentos, Bogotá: Stella Valbuena García, .*
- J. Pérez y R. Ribero . (s.f.). *Evaluación de la Capacidad cementante de la Ceniza de Caña y Ceniza Volante para Suelos Granulares Limpios., Bucaramanga, 2008.*
- Astorayme Salazar. (2021). *Análisis del comportamiento mecánico del suelo arcilloso reforzado con PET para obras geotécnicas, provenientes de botellas plásticas recicladas, en el distrito de Ricuricocha-Tarapoto.* Lima, Perú: Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas.
- C. Kraemer y J. Pardillo. (s.f.). *Ingeniería de Carreteras, Madrid: McGraw Hill Interamericana, 2004. .*
- Morales Nolasco. (2011). *"INFLUENCIA DEL MEDIO DE ENRAÍCE , EDAD DE ESTACA Y USO DE UN BIOESTIMULANTE EN LA PROPAGACIÓN VEGETATIVA DEL SAUCO (Sambucus peruviana H.B.K.), DISTRITO DE QUINUA - HUAMANGA - AYACUCHO "*. Ayacucho: UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA.
- Quispe, Escobar, Quispe & Arana. (2017). *ESTABILIZACIÓN DE UNA SUBRASANTE ARCILLOSA DE BAJA PLASTICIDAD CON CENIZAS DE CÁSCARA DE ARROZ.* Lima, Perú: PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ, FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA.
- Terrones Cruz. (2018). *ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS ADICIONANDO CENIZAS DE BAGAZO DE CAÑA PARA EL MEJORAMIENTO DE SUBRASANTE EN EL SECTOR BARRAZA, TRUJILLO – 2018.* Trujillo, Perú: Universidad Privada del Norte.