



Comportamiento físico de un suelo arcilloso con adición de ceniza de cascarilla de arroz

Lina Maria Riveros

Gibran Javier Tarquino Bessolo

Corporación Universitaria Minuto de Dios

Rectoría Cundinamarca

Sede Girardot (Cundinamarca)

Programa Ingeniería Civil

noviembre de 2022

Comportamiento físico de un suelo arcilloso con adición de ceniza de cascarilla de arroz

Lina Maria Riveros

Gibran Javier Tarquino Bessolo

Monografía presentado como requisito para optar al título de Ingeniero Civil

Asesor(a)

Heidy Madeleine Arevalo Algarra

Ingeniera Civil, especialista en Gerencia de Proyectos

Corporación Universitaria Minuto de Dios

Rectoría Cundinamarca

Sede Girardot (Cundinamarca)

Programa Ingeniería Civil

noviembre de 2022

Dedicatoria y Agradecimientos

Dedico este trabajo a Dios, que me ha bendecido por llegar hasta este punto de mi vida, lo cual me llena de mucha felicidad, a mis padres, Sandra Bessolo Calle y Pedro Tarquino Suarez, por ser mis gestores de vida, brindándome su apoyo, su amor, su esfuerzo y dedicación en todo mi proceder, siendo mi voz alentadora en los momentos difíciles de este arduo camino profesional, a mi familia y a todas las personas que me acompañaron durante esta etapa de formación, aportando inmensa experiencia personal y profesional, a mis amigos por estar en las buenas y en las malas, así mismo, dedico y agradezco a mi Tutora, la Ing. Heidi por aconsejarme y corregirme en la ejecución de este trabajo, gracias totales a todos y cada uno de ustedes, por ese granito de arena aportado, lo cual me llena de dicha y gozo saber que cuento con personas como ustedes.

1 **CONTENIDO**

Resumen	9
Abstract.....	10
Introducción.....	11
1 PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	13
1.1 Descripción del problema	13
1.2 Formulación del problema.....	14
2 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACION	15
2.1 Justificación ambiental.....	16
3 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	17
3.1 GENERAL	17
3.2 ESPECIFICOS	17
4 MARCO TEORICO	18
4.1 MARCO DE ANTECEDENTES	18
5 ESTADO DEL ARTE	21
5.1 ESTABILIZACION DE SUELO	21
5.2 TIPOS DE ESTABILIZACIONES PARA LOS SUELOS	24
5.2.1 Estabilización mecánica	24
5.2.2 Estabilización física.....	24
5.2.3 Estabilización química	24
5.2.4 Estabilización biológica	24
5.2.5 Estabilizaciones más usadas	25
5.3 CASCARILLA DE ARROZ.....	25
5.4 REFINAMIENTO DE LA CCA.....	25
6 MARCO GEOGRAFICO	26
7 METODOLOGIA	29
7.1 ENFOQUE DE LA INVESTIGACION	29
7.2 DISEÑO METODOLOGICO.....	29
7.2.1 Fase 1: Se extrae y se almacena la muestra del suelo	29
7.2.2 Fase 2: Se determina la caracterización física de la muestra del suelo.	30
7.2.3 Fase 3: Observación y resultados parciales	34

8	EVALUACIÓN DE DATOS OBTENIDOS.....	35
8.1	Granulometría del suelo natural.....	35
8.2	Granulometría del terreno con aditivo de CCA	37
8.3	LÍMITES SUELO NATURAL.....	39
8.3.1	Líquido.....	39
8.3.2	Plástico	40
8.4	LÍMITES SUELO CON ADICION DE CASCARILLA DE ARROZ.....	41
8.4.1	Líquido.....	41
8.4.2	Plástico	42
8.5	Proctor modificado	44
8.5.1	Suelo natural	44
8.5.2	Suelo intervenido con aditivo de CCA.....	45
8.6	Compresión inconfiada	46
8.6.1	Suelo natural – 56 golpes.....	46
8.6.2	Suelo natural – 24 golpes.....	48
8.6.3	Suelo natural – 12 golpes.....	49
8.6.4	Suelo con aditivo de CCA – 56 golpes	51
8.6.5	Suelo con aditivo de CCA – 24 golpes	52
8.6.6	Suelo con aditivo de CCA – 12 golpes	54
9	CONCLUSIONES.....	56
10	RECOMENDACIONES.....	57
11	Referencias.....	58
12	Anexos.....	60

2 Lista de tablas

<i>Tabla 1, Granulometría suelo natural</i>	35
<i>Tabla 2, Granulometría suelo con aditivo</i>	37
<i>Tabla 3, Límite líquido</i>	39
<i>Tabla 4, Límite plástico</i>	40
<i>Tabla 5, Índice de plasticidad</i>	40
<i>Tabla 6, Limite liquido con aditivo</i>	41
<i>Tabla 7, Limite plástico con aditivo</i>	42
<i>Tabla 8, Índice de plasticidad con aditivo</i>	43
<i>Tabla 9, Resultados Ensayo Proctor</i>	44
<i>Tabla 10, Resultado proctor con aditivo</i>	45
<i>Tabla 11, Resistencia inconfiada suelo natural a 56 golpes</i>	47
<i>Tabla 12, Resistencia inconfiada suelo natural a 24 golpes</i>	48
<i>Tabla 13, Resistencia inconfiada suelo natural a 12 golpes</i>	49
<i>Tabla 14, Resistencia inconfiada suelo con aditivo - 56 golpes</i>	51
<i>Tabla 15, Resistencia inconfiada suelo con aditivo - 24 golpes</i>	53
<i>Tabla 16, Resistencia inconfiada suelo con aditivo - 12 golpes</i>	54

3 Lista de graficas

<i>Gráfica 1, Curva granulométrica</i>	36
<i>Gráfica 2, Curva granulométrica suelo con aditivo</i>	38
<i>Gráfica 3, Límite líquido</i>	39
<i>Gráfica 4, Carta de plasticidad</i>	41
<i>Gráfica 5, Limite liquido con aditivo</i>	42
<i>Gráfica 6, Carta de plasticidad con aditivo</i>	43
<i>Gráfica 7, Humedad optima</i>	44
<i>Gráfica 8, Humedad optima suelo con aditivo</i>	46
<i>Gráfica 9, Curva esfuerzo vs deformación</i>	47
<i>Gráfica 10, Curva esfuerzo vs deformación</i>	48
<i>Gráfica 11, Curva esfuerzo vs deformación</i>	50
<i>Gráfica 12, Curva esfuerzo vs deformación</i>	52
<i>Gráfica 13, Curva esfuerzo vs deformación</i>	53
<i>Gráfica 14, Curva esfuerzo vs deformación</i>	55

4 Lista de ilustraciones

<i>Ilustración 1, Localización departamento de Cundinamarca</i>	26
<i>Ilustración 2, Localización Urbanización Villa Cecilia</i>	27
<i>Ilustración 3, AGROINSUMOS SALAMANCA & CIA SAS</i>	27
<i>Ilustración 4, Localización de Espinal – Tolima</i>	28
<i>Ilustración 5, Ceniza de cascarilla de arroz</i>	60
<i>Ilustración 6, Proceso de tamizado</i>	60
<i>Ilustración 7, Peso de cada tamiz</i>	61
<i>Ilustración 8, Ensayo límite líquido, preparación de la muestra, cuchara de Casagrande</i>	61
<i>Ilustración 9, Ensayo límite plástico</i>	62
<i>Ilustración 10, Ensayo Proctor, Peso de molde, Compactación y enrase de la muestra</i>	62
<i>Ilustración 11, Ensayo Compresión Incofinada</i>	63

Resumen

Para la siguiente investigación experimental se procuró determinar la finalidad de cómo influye la ceniza de cascarilla de arroz en el comportamiento físico de una muestra de suelo natural virgen, adicionándole entre 10 y el 15 por ciento de ceniza de cascarilla de arroz modificando las propiedades de resistencia y así tratar de estabilizarlo. Mediante el uso de este aditivo agroindustrial, se analizará si se puede mejorar la subrasante de dicho suelo arcilloso. Esta investigación de modelo aplicada, de enfoque cuantitativo desea explicar, comprobar y analizar el mejoramiento que se le puede brindar al suelo arcilloso de la población determinada del municipio de Girardot Cundinamarca, tomando como base la norma INVIAS-13 en la ejecución de los laboratorios requeridos para conocer las propiedades de la muestra de suelo natural virgen con la modificación de la ceniza de cascarilla de arroz. Dichos laboratorios que se realizaron fueron:

1. Granulometría
2. Limite liquido
3. Limite plástico
4. Índice de plasticidad
5. Ensayo proctor modificado
6. Resistencia inconfiada

Luego de la evaluación de los resultados obtenidos se comparan los datos de los ensayos y se determina si puede ser competitivo el uso de este desecho en la industria y seleccionar posibles alternativas diferentes a las que ya están.

Palabras clave: Comportamiento, Suelo, Desecho, Aditivo.

Abstract

In the present experimental research we tried to determine the purpose of the influence of rice husk ash on the physical behavior of a sample of virgin natural soil, adding between 10 and 15 percent of rice husk ash modifying the resistance properties and thus try to stabilize it. Through the use of this agro-industrial additive, it will be analyzed if the subgrade of said clay soil can be improved. This applied model research, with a quantitative approach, wishes to explain, verify and analyze the improvement that can be provided to the clay soil of the determined population of the municipality of Girardot Cundinamarca, taking into account the INVIAS-13 standard in the execution of the laboratories required to know the properties of the sample of virgin natural soil with the addition of rice husk ash. These laboratories that were carried out were:

1. Granulometry
2. Liquid limit
3. Plastic limit
4. Plasticity index
5. Modified proctor test
6. Unconfined resistance
- 7.

After the evaluation of the results obtained, the data of the tests are compared and it is determined if the use of this waste in the industry can be competitive and select possible alternatives different from those that are already there.

Keywords: Behavior, soil, waste, additive.

Introducción

No todas las veces encontramos suelo idóneo que nos brinde la confianza para garantizar la estabilidad y durabilidad de cualquier proceso constructivo, por ello, constantemente encontramos diversidad de retos u obstáculos que se atraviesen con el progreso de alguna de las obras en ingeniería, por ende, esto lleva a que los ingenieros residentes investiguen maneras diferentes de mejorar y estabilizar dichos suelos, de tipo arcilloso, mejorando su resistencia. Por lo que la implementación de materia prima o desechos agroindustriales no utilizados en nuestro país, debería de tenerse en cuenta.

Estabilizar el suelo es importante, ya que permite mostrar un mejor desempeño en la circulación de personas que trabajen o que vivan en terrenos de difícil acceso, también sustentar una base firme que tenga un apoyo sólido para las futuras infraestructuras, y en nuestro país, es común que los sectores de la construcción, casi siempre tengan que mejorar el terreno utilizando materiales como la cal o el cemento. Así que, para eso, con esta investigación se pretende evaluar otra alternativa de mejoramiento de suelo diferente, mostrando la importancia de la ceniza de cascarilla de arroz como agente estabilizante de mayor producción y menor costo.

Dicho esto, se pretende investigar y conocer las propiedades físicas de un terreno, si a este se le agrega ceniza de cascarilla de arroz, con la utilización de métodos experimentales que nos permitan determinar la resistencia del material. Utilizando ensayos como la resistencia inconfiada para suelo arcilloso que nos brinda una mayor y mejor resistencia al corte y así poder comparar especímenes naturales de suelo con muestras de suelo modificadas con CCA.

Con el objeto de crear un mejoramiento a la capa de la subrasante para un suelo más firme y estable que proporcione una seguridad más superior al instante de ejecutar una obra encima de ella, se propone un objetivo general que nos encamine a tal fin, dándole prioridad a los ensayos experimentales

sobre clasificación y resistencia. Siempre en función de implementar nuevos métodos para el aprovechamiento de los residuos agroindustriales de la región en la construcción.

La ceniza de cascarilla de arroz se obtuvo así tal cual, no hubo necesidad de intervenirla tanto, lo único que se implementó fue la limpieza de la misma, ya que venía un poco alterada con cascarilla normal. Entonces se pasa por el tamiz 200 con el fin de igualar las muestras y que sean de mayor facilidad al caracterizarlas. Se adiciona el doce por ciento de ceniza a la muestra de suelo natural en base a su peso específico en seco. De hecho, lo nombrado con anterioridad se logró ejecutar basándose a la reglamentación vigente por el Instituto Nacional de Vías, ente que regula y supervisa la construcción de vías de nuestro país. Por consiguiente, al momento de compactar la muestra de terreno natural con ceniza de cascarilla de arroz se evidencia que se requiere un ocho por ciento más de humedad que la muestra natural, en otras palabras, se debe agregar más agua a la compactación del suelo con el aditivo ya que debido a su volumen mayor, necesita homogeneizarse utilizando más agua.

Finalmente, la ceniza de cascarilla de arroz tiende a ser más económica que otros materiales que se usan para la estabilización del suelo, y también con la intervención en la resistencia del suelo se obtendría la mitigación al impacto que genera este desecho, incluyéndolo como una nueva alternativa en la compactación de los suelos arcillosos.

1 PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 Descripción del problema

Un aspecto importante para el crecimiento económico de una sociedad es la calidad de la infraestructura vial, debido a esto, la inversión que se hace en transporte afecta directa y positivamente al aumento del Producto Interno Bruto (PBI) nacional. Puesto que los tiempos de recorrido se reducen, como de igual modo se reducen rentablemente los valores en estudio, mejorando la accesibilidad a los mercados. Lo cual se refleja en el Índice de Competitividad mundial, que forja como fundamento doce pilares que determinan el desarrollo de sostenimiento de una nación. El pilar número dos que calcula la condición y estado de las obras de infraestructura vial, donde Colombia ocupa el lugar número 81 de 141 países según el reporte global de competitividad de 2019.

En Colombia, encontramos muchas zonas que no son adecuadas para llevar a cabo un proyecto de obra civil, puesto que el suelo presente no cuenta con las propiedades físicas o mecánicas requeridas para resistir cierta carga, como ejemplo están las subrasantes que muestran grandes proporciones de partículas finas, generando suelos muy plásticos, que para un pavimento de características rígidas o flexibles resulta siendo un acto muy hostil, difícil de combatir, y no solamente de la estructura vial, sino también de la generación de más costos y más tiempos de operación.

Al paso de los años en marcha, venimos encontrando que en el departamento de Cundinamarca cierta clase de suelo, que tiende a ser muy resistente como de igual forma, de muy baja resistencia. Esto en consecuencia por el contacto con los seres vivos y con la misma atmosfera, se altera lo que son las propiedades físicas, químicas y algunas biológicas del mismo. Entonces, siendo de carácter crucial saber en específico el tipo de material de suelo el cual se va a intervenir, con ello saber si cumple o no, para el uso que se le vaya a dar, bien sea, para uso residencial, industrial, comercio o institucional.

Actualmente, se ha encontrado gran cantidad de vías pavimentadas que se encuentran del todo fracturadas o deformadas, esto conforme a que el terreno no se estudió lo suficiente o no cumplió completamente con los ensayos determinantes de su resistencia adecuada, o simplemente no cumplía con el correcto periodo de diseño, perjudicando de cierto modo, a la comunidad que circula constantemente.

En consecuencia, se pretende dar tal mejoramiento o estabilización del suelo utilizando un producto que abunda por las regiones aledañas del municipio en inspección, que además es un desecho de la mayoría de las arroceras siendo este producto una buena opción por parte ambiental, ya que es habitual que la cascarilla de arroz la incineren a campo abierto afectando parte de nuestro ambiente, y por parte económica, puesto que dicha cascarilla se consigue a un precio asequible, causando viabilidad económica en una obra cualquiera que se pretenda ejecutar.

1.2 Formulación del problema

¿Cómo es el comportamiento físico de un suelo de tipo arcilloso ubicado en el barrio villa Cecilia del municipio de Girardot, si a este se le adiciona ceniza de cascarilla de arroz?

2 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACION

En el siguiente trabajo de exploración e indagación, se pretende evaluar el comportamiento físico de un suelo, mejorando su capacidad de resistencia, con la adición de un desecho agroindustrial, en este caso la ceniza de cascarilla de arroz, generando así, alternativas particularmente reciclables y provechosas para el medio ambiente. Esto con el fin de dar buen uso a un material abundante de las arroceras en nuestra región, beneficiando en cierta parte, a cualquier otro proyecto de infraestructura vial de cualquier ciudad o departamento.

Esta investigación procura encontrar una estabilidad y mayor resistencia del suelo arcilloso, estudiando así, la ceniza de cascarilla de arroz como aditivo de dicho suelo, ya que este desecho se halla en grandes cantidades y de costo muy barato. Logrando entonces la mejoría de un terreno de baja resistencia, logrando disminuir la problemática ambiental, tratando de ser amigables con el planeta.

Realizando la respectiva adición del material anteriormente nombrado, en diferentes medidas de proporción a diversas muestras de suelo, se desarrolla entonces el ensayo de granulometría, límite líquido, límite plástico, pruebas de densidad y compactación proctor. Esto con el fin de distinguir las características físicas del ejemplo de un suelo natural sin aditivo y un suelo natural con aditivo de ceniza de cascarilla de arroz.

Igualmente, con los ensayos y laboratorios ya ejecutados por otros profesionales en el campo; nos indican que la ceniza de cascarilla de arroz es un compuesto competente al momento de consolidar un suelo, regularmente de las subrasantes.

2.1 Justificación ambiental

A medida que crece la población, crece el crecimiento de la producción agrícola, con esto trae consecuentemente la elevación de creación de residuos, haciendo este tratamiento insustentablemente ambiental, difícil y costoso a la vez de su disposición final. Por ende, el interés por la reutilización de diversos residuos en diferentes áreas crece en muchos lugares del mundo, creando beneficios económicos y ambientales. Especialmente para los diseños de pavimentos, se procura la utilización de productos residuales como estabilizadores de terrenos para la creación de subrasantes y/o capas de sub-bases.

La disposición final de la cascara de arroz es uno de los mayores problemas que existen en los países que producen arroz. Mientras se producen cuatro toneladas de arroz, una tonelada es de cascara, se estima que más de cien millones de toneladas de cascara de arroz se generan cada año en torno al mundo (Ali et., 1992). Siendo la disposición final de dichas cantidades un verdadero problema sin un resultado favorable.

Es así, que la presente investigación tiene una visión ambiental positiva, ya que la cascarilla de arroz, como tiene mayor comercialización en Colombia, se pretende utilizar en un método de reutilización en este tipo de desecho y poder disminuir la contaminación actual que genera la incineración de la cascarilla de arroz.

3 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

3.1 GENERAL

Evaluar el comportamiento físico del terreno arcilloso presente en la vía de la urbanización Villa Cecilia del municipio de Girardot entre los puntos 4.310194 N, -74.817322 W y 4.310831 N, -74.817816 W, modificando este con ceniza de cascarilla de arroz.

3.2 ESPECIFICOS

- Determinar el comportamiento físico del suelo arcilloso presente en una vía de la urbanización Villa Cecilia del municipio de Girardot.
- Determinar la resistencia del suelo modificado con ceniza de cascarilla de arroz
- Procesar los resultados mediante gráficas, formulas y tablas, identificando la mejora del suelo para su estabilización.

4 MARCO TEORICO

4.1 MARCO DE ANTECEDENTES

Conforme el paso de los años y la ampliación de nuevos terrenos para nuevos proyectos de infraestructura, se encuentran suelos donde su resistencia es baja, y debido a esto, los grupos de investigación sobre la estabilización de los suelos, bien sea modificados con aditivos innovadores o tradicionales han aumentado. Todo esto con la finalidad de intervenir de la mejor manera y brindando mejores resultados finales.

Así pues, mostrare algunas investigaciones semejantes a la presente donde utilizan la ceniza de cascarilla de arroz como estabilizador para suelo.

A partir de la investigación realizada por Caamaño (2016), titulada “Mejoramiento de un suelo blando de subrasante mediante la adición de cascarilla de arroz y su efecto en el módulo resiliente”, se tiene que este busco que de manera experimental se mejorara las características físicas y geo mecánicas de un suelo para subrasante, por medio de la adición de ceniza de cascarilla de arroz, para así generar un soporte en la conformación del pavimento y estabilidad de la misma, esto evaluado a partir de ensayos de laboratorio para la clasificación, resistencia y determinación de parámetros de índices de suelo. El proyecto surge a partir de los diseños de pavimentos que usan el módulo resiliente como fuente para la representación de las condiciones elásticas de un suelo blando, que se tiende a comportar de manera dinámica frente a las cargas repetidas, donde para ello se requiere la caracterización mecánica de la subrasante a utilizar dentro de un proyecto con suelos blandos (Murillo, 2016).

En el antecedente Internacional tenemos que en base a lo mencionado por Quintanilla & Vera (2017), dice que evaluara la firmeza a la erosión y aplastamiento parcial del adobe, sumergido enteramente con agua en vez de mucílago de tuna en diferentes proporciones equivalentes entre el cero por ciento y aumentando de veinticinco en veinticinco por ciento, usando una metodología experimental, obtuvo una propensión al alza de las barras, lo cual descubre el aumento relevante a la

resistencia al aplastamiento que aporta el mucílago de tuna, concluyendo entonces que mientras reemplaza el mucílago en proporciones de veinticinco en veinticinco por unidad de peso, dichas erosiones disminuyen, pero la resistencia frente al aplastamiento de adobe, incrementa con la suma mayor de moco (Victor Vera, 2017)

Con base en el estudio hecho por Alexandra Moale, Ebdy Rivera (2019) nombrado “Estabilización química de suelos arcillosos con cal para su uso como subrasante en vías terrestres de la localidad de Villa Rica”, dice que tiene un en estudiar los procedimientos para la estabilización de las arcillas, determinando contenidos óptimos de contenido de estabilizando para que asegure el aumento significativo de la capacidad de soporte de la subrasante en un pavimento flexible. Dice también que utilizo la cal como agente estabilizante ya que este material posee propiedades altas de absorción de aguas, mejorando de igual manera la resistencia del suelo arcilloso por medio del encapsulamiento de las partículas de actilla. Dicho de otra forma, cuando la cal interactúa con partículas de arcilla en el suelo, esto produciendo un efecto llamado floculación, donde se crea una doble capa completa, la cual hace que baje el potencial de hinchamiento y expansión de suelos finos, y subiendo considerablemente la resistencia a la penetración (Alexandra Moale, 2019).

Tomando en cuenta el proyecto de investigación de Fernando Vásquez (2018) titulado “Mejoramiento de la subrasante mediante ceniza de cascara de arroz en la carretera DV San Martín Lonya Grande, Amazonas”, se rescata que, mediante los ensayos empleados, se evidencia un mejoramiento a la resistencia de la subrasante del suelo, ya que se disminuye considerablemente la deformación transversal conforme a la aplicación de cargas resultante del tráfico vehicular, por último, también se observó que la implementación de la ceniza de cascarilla de arroz, al juntarse con el suelo, baja la capacidad de absorción de agua, tornando al terreno más estable que en su estado natural (Díaz Vásquez, 2018).

Por otra parte, en el estudio realizado por Zuluaga (2015), con título “Valoración de las cenizas de carbón para la estabilización de suelos mediante activación alcalina y su uso en vías no pavimentadas”, se tiene que la ceniza de carbón debe ser tamizada por la malla número cien, para poder ser mezclada con los suelos de arenilla, arcilla y Urrao. Es recomendable el uso del hidróxido de sodio disuelto para su respectiva activación alcalina a una concentración de ocho molar, para tratar de conseguir el material cementante deseado con características que se puedan comparar con las de la norma Invias. Esto con el propósito de saber cómo se comporta un suelo añadiéndole ceniza de carbón a una muestra natural.

Con lo anterior, se evidencia que la ceniza de cascarilla de arroz y otras cenizas similares, ya han sido motivo de investigaciones por ingenieros que requieren el mejoramiento de suelos a intervenir. Donde por medio de informes, pruebas, consultas y demás herramientas de soporte, se argumenta que, en suelos generalmente blandos, esta ceniza de cascarilla de arroz al ser combinada en dosificaciones específicas podría llegar a dar un mejoramiento a la resistencia.

5 ESTADO DEL ARTE

Para este punto de la investigación, se va a definir conceptos básicos que implica las determinadas formas de investigación. Esto para dar conocimiento de los métodos existentes para las mejoras y estabilizaciones que se le pueden dar al suelo usado en algunos de los procesos constructivos al que vaya a ser empleado.

5.1 ESTABILIZACION DE SUELO

De acuerdo con LEMARA (2018), explica que, para estabilizar un terreno natural virgen, se deben modificar sus propiedades físicas directamente en el sitio, para con esto, obtener una mejora en la resistencia, la durabilidad, la impermeabilidad y otras cualidades más. También, destaca la importancia de ejecutar las actividades de la estabilización de los terrenos, cualquiera que sea la infraestructura que lo requiera, por equipos y personas especializadas en el tema (LEMARA, 2018).

Conforme a lo que expone García (2016), que, para el mejoramiento de un suelo, se deben modificar las propiedades del mismo por actuación física (como las vibraciones in situ) o simplemente con la incorporación de mezclas de suelo con materiales que tengan mayor resistencia (García, 2016).

Posteriormente, en el documento presentado por Mikepiax (2009), confirma que todos los procesos bien sean químicos, mecánicos o físicos que se hagan al suelo se comprende como mejoramiento del comportamiento de los suelos, mejorando así, las características naturales que establecen el soporte fundamental de toda obra de ingeniería civil (Mikepiax, 2009).

En resumen, de lo expuesto por los anteriores autores, lo más importante para cualquier tipo de obra civil que se quiera ejecutar, debe de ser el perfeccionamiento de la base en donde se va a empezar a construir, el suelo debe contar con las mejoras necesarias, la óptima estabilización y cumpla con todos

los parámetros establecidos en la norma que rija para cada uno de los casos, brindando una muy buena seguridad y no tener mayores imprevistos.

Dicho esto, en la actualidad podemos encontrar gran variedad de componentes que nos ayudan para la estabilización y mejora de los suelos, dentro de las cuales se hallan los siguientes:

- Cemento Portland
- Emulsión asfáltica
- Cal viva en polvo
- Cenizas volantes
- Escorias siderúrgicas de alto horno
- Sales
- Activación alcalina

Según el ingeniero Ralph Roscoe Proctor quien constató en el año mil novecientos treinta y tres, la relación entre humedad-peso específico seco, con la influencia de la energía por la cual se compacta. El ingeniero R. Proctor, propuso en ese entonces un ensayo normalizado, de forma que pudiera conseguir la curva de ensayo Proctor, que corresponde a una energía exacta, informando a la muestra del terreno en estudio la caída desde una altura fija de una pesa y un determinado número de repeticiones.

Dejando claro que, para tipo de suelo, está el contenido de humedad, que provee su densidad seca última. Siendo este el grado de humedad óptimo, el cual es que se debería emplear en obra a la hora de la compactación del suelo.

Conforme a ABCGeotechnical Consulting (2003), la granulometría nos muestra el tamaño que componen las partículas de un suelo, dando la medición y gradación de los granos en estudio, determinando así, las propiedades mecánicas, la abundancia, y también la separación de los sustratos que lo componen (ABC Geotechnical Consulting, 2003).

Conforme al Diccionario de Geotecnia (2020), el índice de plasticidad de un suelo me permite saber el espacio entre la humedad y la sequedad en el que dicho suelo, se mantiene como un material plástico, que no se desprende ni se desmorona en sí mismo. Este índice, se halla mediante la diferencia o resta del límite líquido y el límite plástico (Diccionario de Geotecnia, 2020).

Consecuente a lo mencionado, considero que la ejecución tanto de la granulometría como de la realización de los límites de consistencia de un suelo, son muy importantes, puesto que conoceremos la grandeza individual de los fragmentos que conforman el suelo donde estemos trabajando, podremos saber si estamos laborando sobre suelos finos o gruesos, también de conocer por medio de la plasticidad si son arenas, limos o gravas.

Conforme a lo mencionado por Noriega editores (2005), que el ensayo de compresión inconfiada nos sirve para determinar la resistencia del suelo y su deformación ante la aplicación de una carga axial con control de deformación, lo cual permite una deformación lateral y de igual manera no se aplican fuerzas laterales. Buscando con esto, un valor total aproximado de los esfuerzos totales (Noriega Editores, 2005).

Para definir los métodos sobre la estabilización y mejoramiento de un suelo, nos referimos a Triviño (2005), el cual introduce la estabilización mecánica de suelos por medio químico, que se logra regularmente con la incorporación nuevos elementos que aporten estabilidad como lo son el cemento, las sales, la cal y entre otros, como de igual forma lo logran de manera térmica, como lo es por calor o por calcinación (HINRICHSEN TRIVIÑOS, 2005).

5.2 TIPOS DE ESTABILIZACIONES PARA LOS SUELOS

5.2.1 *Estabilización mecánica*

Implica la compactación del terreno natural de manera estática o dinámica según corresponda, esto con el fin de amplificar su densidad, su resistencia mecánica, disminuyendo así la porosidad y permeabilidad. Si se desea, se puede incluir también, la adición o mezcla de algún otro suelo de diferente tamaño obteniendo la apropiada especificación (Das, 2013).

5.2.2 *Estabilización física*

Dicha estabilización, se basa en cambiar las propiedades del suelo, por medio de la intervención de sus características estructurales nuevas utilizando materiales llamados geo-sintéticos, como los geotextiles, poliéster o polipropileno; las geo-mallas, las geo-membranas, el geo-compuesto y las geoceldas. (Jin Liu, 2011).

5.2.3 *Estabilización química*

Esta pues, se arregla la composición original del suelo, añadiéndole otros componentes, bien sea, otros productos químicos, que alteren sus propiedades, mediante reacciones fisicoquímicas, o por medio de la consolidación específica de un modelo agrupador que acumule las características del suelo (R. Bahar, 2004).

5.2.4 *Estabilización biológica*

Esta última, pero no menos importante, procede en la implementación de enzimas biológicas, que, al mezclarse con el terreno, estas actúan, ampliando el rango de aglutinación y respectiva

compactación de las partículas del terreno, según la reacción de cambio de fases catiónico de la conformación del terreno que da lugar a un desarrollo causal acelerado de cementación.

5.2.5 Estabilizaciones más usadas

- Compactación
- Geotextil
- Drenaje
- Estabilización con cal viva, cemento portland y asfalto

(Civilgeeks, 2016)

5.3 CASCARILLA DE ARROZ

Es el desperdicio de un proceso agrícola, que es generado en función de la producción y fabricación del arroz en general. También originado en grandes volúmenes debido a su alto índice de demanda en lugares los cuales la siembra y el proceso de este cereal son su único sustento. Este desecho, es utilizado en algunas ocasiones como fuente de silicio para obtener silicatos de calcio y en otras ocasiones como refuerzo de un concreto (Ocampo, 2012)

5.4 REFINAMIENTO DE LA CCA

Conforme a que la cascarilla de arroz blanco al no recibir ningún tratamiento, puede ser causante de problemas de fraguado y endurecimiento al aglomerante, por ello, necesita ser tratada para reducir este impacto. El método que mayor emplea la utilización de la industria concretera es la posterior incineración de la cascarilla, que requiere de 500°C y 700°C, obteniendo a de esta manera la ceniza de cascarilla de arroz.

6 MARCO GEOGRAFICO

El punto de muestreo seleccionado para llevar a cabo este proyecto fue en departamento de Cundinamarca (**Ilustración 1**) en la Urbanización Villa Cecilia sobre la calle #19 que conduce a la vereda el arbolito en el municipio de Girardot.

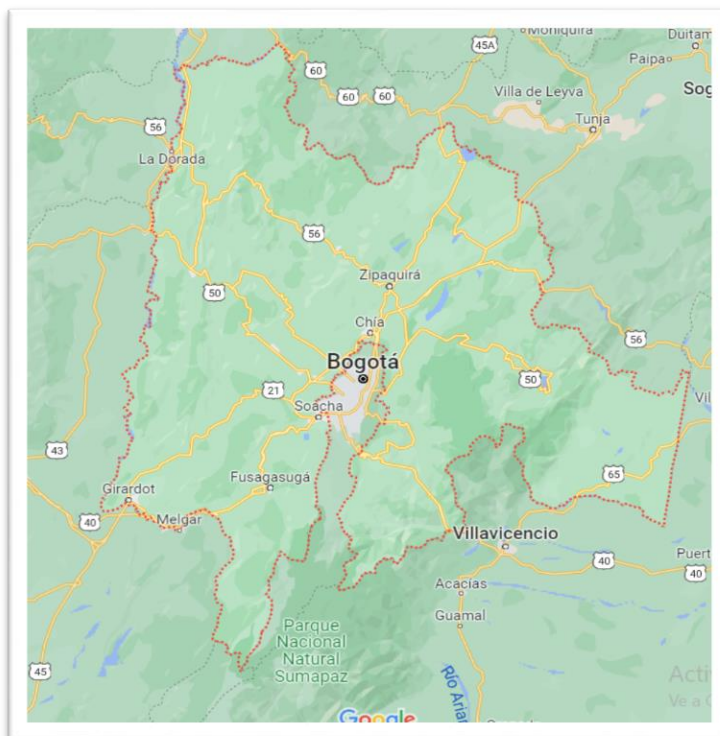


Ilustración 1, Ubicación departamento de Cundinamarca
Fuente: Tarquino Javier, 2022

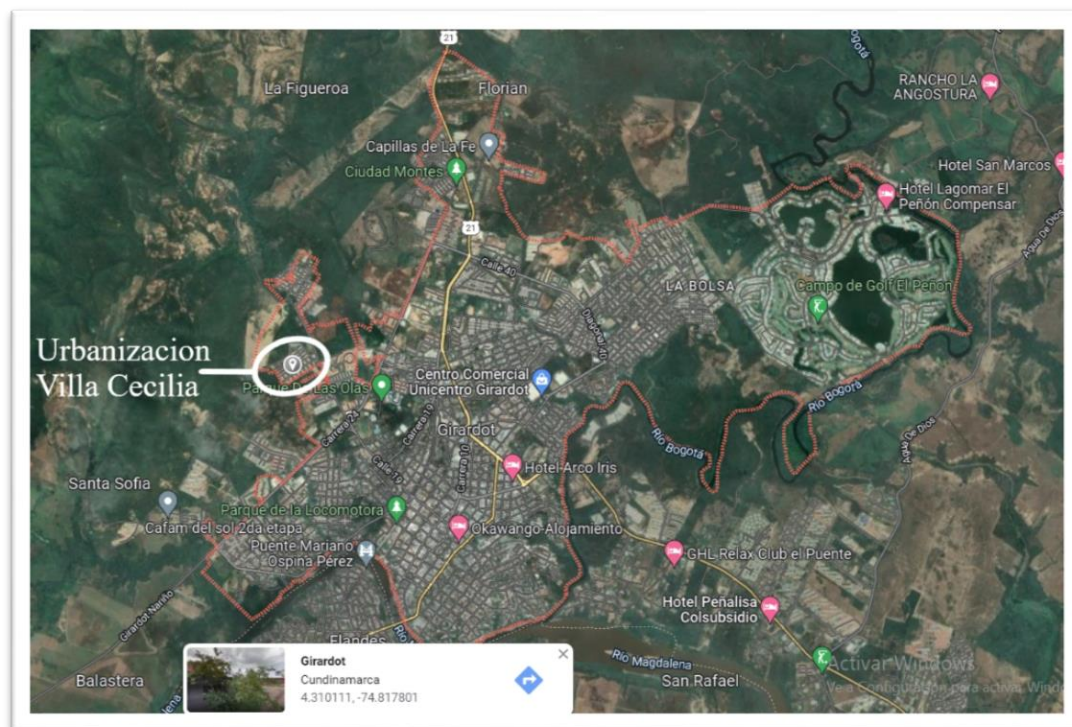


Ilustración 2, Localización Urbanización Villa Cecilia
Fuente: Tarquino Javier 2022

El aditivo a evaluar, obtenido a partir de los residuos de la industria arrocera es la ceniza de cascarilla de arroz, desecho que se obtuvo en Agroinsumos SALAMANCA & CIA SAS (**Ilustración 3**), Km 2 Vía, Espinal-Girardot, El Espinal, Tolima (**Ilustración 4**)



Ilustración 3, AGROINSUMOS SALAMANCA & CIA SAS
Fuente: Tarquino Javier, 2022

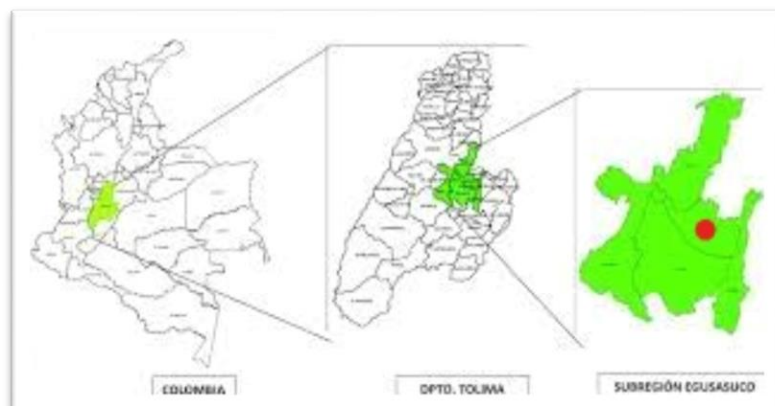


Ilustración 4, Localización de Espinal – Tolima
Fuente: CORTOLIMA

7 METODOLOGIA

7.1 ENFOQUE DE LA INVESTIGACION

Para esta monografía se maneja un enfoque cuantitativo experimental, por lo que emplea la recopilación y análisis de datos, para así poder comprobar, formular, reforzar y verificar los objetivos propuestos.

El enfoque cuantitativo, emplea la fuerza de agrupación o similitud entre datos verificables, generalizando y objetivando los resultados a través de un análisis inalterado de suelos, a la cual, la población en estudio puede proceder. Además, tras el estudio del comportamiento del suelo, este pretende una correlación haciendo inferencia causal la cual pueda explicar por qué se comporta de esa manera y no de otra.

7.2 DISEÑO METODOLOGICO

Al realizar la presente investigación de carácter cuantitativo, se utilizan diversos métodos y fuentes de datos para examinar un mismo fenómeno, con enfoques cuantitativos este diseño lo desglosamos por una sucesión de fases, las cuales, dichas fases cumpliendo a cabalidad con el objetivo general y específico de este proyecto, cumpliendo de igual forma con lo establecido y descrito en la norma INVIA-13, así como se mostrará en breve:

7.2.1 *Fase 1: Se extrae y se almacena la muestra del suelo*

En la presente fase, se determina la localización para extraer el material alterado del suelo, efectuando labores teórico-prácticas de excavación.

Para la adquisición de la ceniza de cascarilla de arroz, nos dirigimos hasta la ciudad de Espinal ubicada en el departamento del Tolima, para después ser trasladada a ambientes estables el cual se mantuviera lo más inalterada posible.

7.2.2 Fase 2: Se determina la caracterización física de la muestra del suelo.

Seguidamente, se procede a realizar los estudios técnicos experimentales, que se logran mediante las pruebas de laboratorio, cada una de las pruebas son determinantes ya que son regidas por el Manual de las Normas Técnicas INVIAS-13. La caracterización realizada se explica en breve:

7.2.2.1 Granulometría

Se lleva a cabo mediante una serie de tamices, según lo guía la norma I.N.V. E 123-13, esto para poder determinar el tamaño real de las partículas del suelo.

- Seleccionamos 3.000 gr de muestra de suelo natural a una temperatura ambiente.
- Se procede a lavar la muestra de suelo natural, a tal punto que el agua quede transparente, esto se realiza con ayuda del tamiz número doscientos, evitando estregar las partículas contra el tamiz para no dañarla.
- Se elimina el agua residual, teniendo cuidado de no desperdiciar material del suelo.
- Se deja secando la muestra de suelo al horno durante veinticuatro horas, para su posterior ensayo
- Con la muestra ya seca, se procede a ordenar los tamices con su respectivo orden para así, obtener el tamaño de cada grano de suelo.

7.2.2.2 Limite Líquido

Para la elaboración del ensayo de limite líquido, se siguieron los procedimientos descritos en la norma I.N.V. E 125-13 e I.N.V. E 126-13, con el propósito de reconocer el prototipo de suelo el cual se está interviniendo.

- Para este ensayo, se desmorona la muestra, hasta que este pase por el tamiz número cuarenta (0,425mm).
- Se inserta la muestra de suelo en un plato de evaporación, para ser mezclado en su totalidad con quince a veinte mililitros de agua destilada.
- Se amasa, se tasajea, y vuelve y se amasa con una espátula para luego, colocar la muestra en el lugar de ensayo.

7.2.2.3 Límite plástico

Para la elaboración del ensayo de limite plástico, se siguieron los procedimientos descritos en la norma I.N.V. E 125-13 e I.N.V. E 126-13, con el propósito de reconocer el prototipo de suelo el cual se está interviniendo.

- Del ensayo anterior, se sacó una pequeña muestra para la realización del presente ensayo.
- Con la muestra ya amasada, se procede a formar rollitos que no superen los 3 mm de grosor.
- Repetimos este proceso tres veces, obteniendo tres muestras diferentes.
- Se miden los pesos de las muestras antes de ingresarlas al horno, y después de sacadas del horno.

7.2.2.4 Ensayo modificado de compactación

Con este ensayo, se logra obtener la humedad óptima para la muestra de suelo en estudio, se siguieron todos los procedimientos estipulados en la norma I.N.V. E 142-13.

- Se midieron seis mil gramos de terreno a evaluar.
- Dicha muestra, se tamizó, pasando por el de $\frac{3}{4}$ " para iniciar con el respectivo ensayo en proceso.
- Para la respectiva prueba de compactación proctor con los golpes requeridos, se mezclaron ciertos porcentajes de agua descritos en la norma, dividiendo en 5 partes iguales la muestra de suelo.
- Se procede a rellenar los cilindros de prueba con los golpes requeridos por el ensayo.
- Y una vez terminado el llenado y el enrasado, se saca la muestra para evaluar su humedad.

7.2.2.5 Compresión inconfiada

Esta práctica, nos determina cuanta resistencia tiene un suelo a la compresión inconfiada en condición inalterada o reformada, con la aplicación de una carga axial, que permita medir la deformación del mismo, bien sea utilizando sistemas de resistencia controlada o deformaciones controladas.

- Se tomaron tres mil gramos de terreno.
- Añadiéndole así, la proporción de humedad optima arrojado en la prueba anterior (proctor).
- Se lleva a cabo el ensayo con tres muestras inconfiadas para cada caso, realizando su debida compactación en tres capas semejantes.

- En las tres muestras, se le aplicó una compactación diferente, una de 12 golpes, otra de 24 golpes y la última de 56 golpes respectivamente.
- Tomando el peso y medida de cada muestra, se fallan en la prensa para evaluar los comportamientos correspondidos.

7.2.2.6 CBR

Este ensayo, nos muestra el índice de resistencia de los suelos de subrasante, subbase, y base, lo cual evalúa la resistencia para materiales que tengan un tamaño máximo de partículas de diecinueve milímetros ($\frac{3}{4}$ "), según la norma I.N.V. E 148-13

Se compactan tres muestras de suelo, de tal manera que su densidad compactada sea superior al noventa y cinco por ciento.

- Se aprieta el molde a la base, uniéndose el collar de extensión e insertando el disco espaciador dentro del molde y colocando un papel como filtro grueso por encima del disco.
- Para la mezcla de las muestras, se debe usar suficiente agua, obteniendo así la humedad óptima determinada.
- En la compactación, las primeras de las tres medidas se forman con tres capas de igual medida, y utilizando el martillo adecuado obteniendo una profundidad total de muestra compactada.
- Cuando se termina la compactación, se retira el collar y se enrasa enseguida, quedando de manera bien recta, se procede a desmontar el molde, para colocarlo de nuevo pero invertido, sin el disco espaciador colocando el papel filtro en medio del molde y la base.

- Se sumerge la muestra durante noventa y seis horas con nivel de agua constante, se toma una muestra inicial del deformímetro y otra final cuando se retire la muestra del agua.
- Se coloca el molde con el agujero central para la sobrecarga de asentamiento, tomando lecturas con el dial medidor y se lleva para su respectivo calculo.

7.2.3 Fase 3: Observación y resultados parciales

Terminando con las fases mencionadas anteriormente, llegamos a la parte en la que se registran los datos reales obtenidos por los diferentes laboratorios elaborados, los cuales fueron la granulometría del suelo en estudio, los límites de consistencia y las pruebas de compactación de cada uno de los especímenes tomados del suelo.

Dicho esto, se procederá al análisis determinante de los datos, donde veremos si la suficiencia de soporte o capacidad portante del suelo, puede mejorar con el aditivo seleccionado por los autores. Si resultara viable o no el uso de la ceniza de cascarilla de arroz para estabilizar el suelo del área seleccionada, brindando también, lo que son las deducciones finales de los datos encontrados para así recomendar de manera objetiva el provecho de este proyecto en posteriores investigaciones del mismo ámbito.

8 EVALUACIÓN DE DATOS OBTENIDOS

8.1 Granulometría del suelo natural

Los datos que relacionaremos a continuación **Tabla 1**, nos muestra el resultado de la prueba detallada, donde se evidencia el ejemplo de un suelo tipo arenoso.

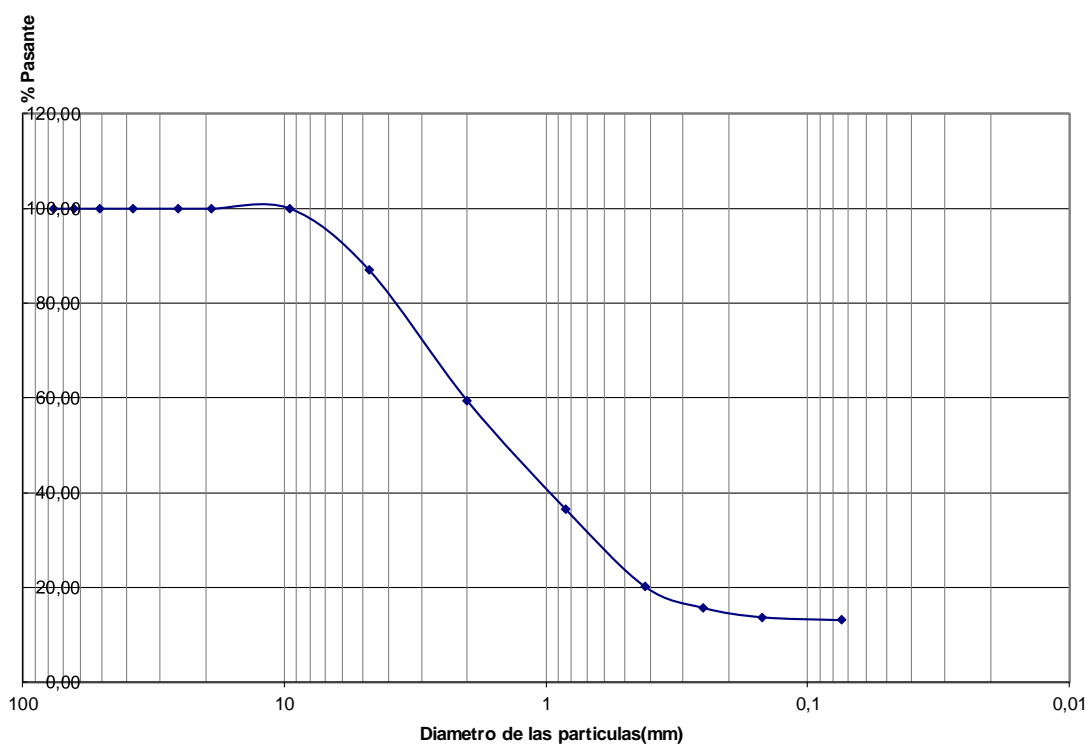
		TAMIZ No.	DIAMETRO (mm)	MASA DE SUELO (gr)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
GRAVA	GRUESA	3"	75	0	0,00%	0,00%	100,00%
		2- 1/2"	63	0	0,00%	0,00%	100,00%
		2"	53	0	0,00%	0,00%	100,00%
		1- 1/2"	37,5	0	0,00%	0,00%	100,00%
		1"	25,4	0	0,00%	0,00%	100,00%
		3/4"	19	0	0,00%	0,00%	100,00%
	FINA	1/2"	12,5	0	0,00%	0,00%	100,00%
		3/8"	9,5	0,040	1,34%	1,34%	98,66%
	No. 4	4,75	0,383	12,78%	14,12%	85,88%	
ARENA	GRUESA	No. 10	2	0,819	27,34%	41,46%	58,54%
		No. 20	1,22	0,678	22,63%	64,09%	35,91%
		No. 40	0,34	0,480	16,02%	80,11%	19,89%
	FINA	No. 50	0,3	0,192	6,41%	86,52%	13,48%
		No. 60	0,24	0,134	4,47%	90,99%	9,01%
		No. 80	0,17	0,194	6,48%	97,46%	2,54%
		No. 100	0,15	0,058	1,94%	99,40%	0,60%
	No. 200	0,075	0,018	0,60%	100,00%	0,00%	
	Fondo	0	0	0,00%	100,00%		
	Total		2,996	100,00%			
PESO TOTAL DE LA MUESTRA				CARACTERÍSTICAS DE MUESTRA ENSAYADA			
3000 gr				VÍA SECA		X	
				VÍA HÚMEDA			
% Gravas	14,12%	% Arenas	85,88%	% Finos	0,00%		

Tabla 1, Granulometría suelo natural
Fuente: Tarquino Javier, 2022

La suma total de la muestra evaluada es de (3000 gr) representando el conjunto total de los pesos que se quedan retenidos en cada tamiz, esto con su estudio respectivo, se puede obtener cierta información la cual se puede graficar y a su vez, clasificar bajo parámetros técnicos, logrando la

composición comprendida del material de 85,88% de arenas y 14,12% de gravas para el total de 100% de muestra estudiada.

Seguidamente, se muestra la **Gráfica 1**, donde encontramos la relación de diámetros de partículas contra el porcentaje de muestra que logra pasar. Y de acuerdo con los resultados recuperados de la prueba, se determina que el porcentaje que pasa del tamiz #4 es del 85,88%, que el porcentaje que pasa el tamiz No. 10 es del 58.54%, indicando que el suelo en estudio es de tipo arenoso arcilloso.



Gráfica 1, Curva granulométrica
Fuente: Tarquino Javier, 2022

8.2 Granulometría del terreno con aditivo de CCA

Los datos que relacionaremos a continuación **Tabla 2**, nos muestra el resultado de la prueba detallada, donde se evidencia el ejemplo de un suelo tipo arenoso.

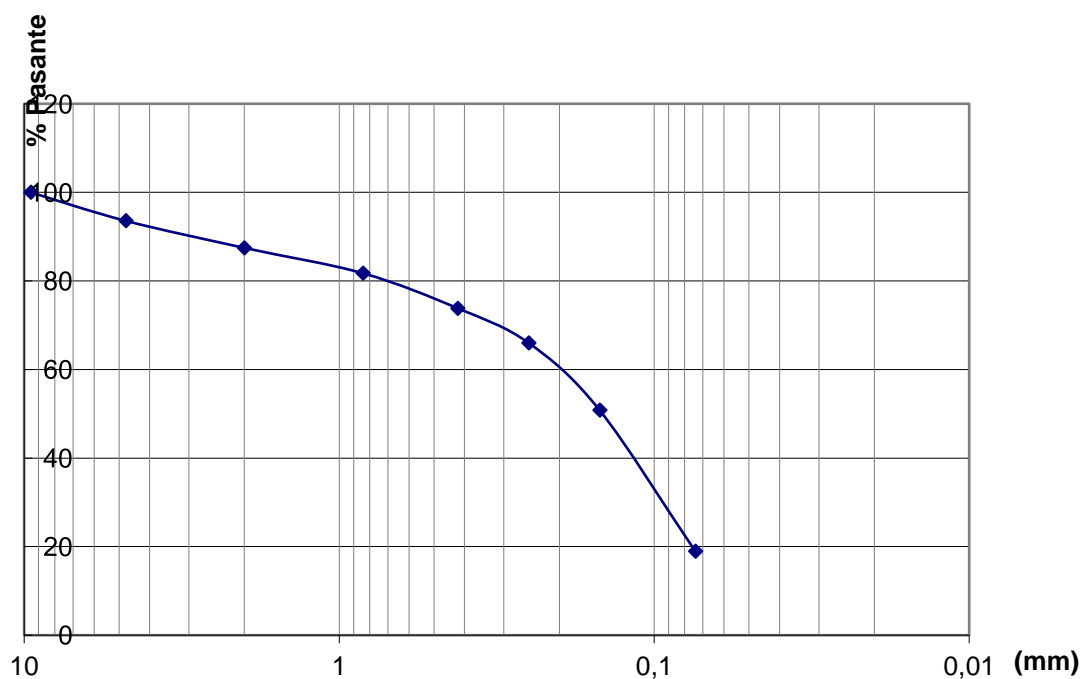
		TAMIZ No.	DIAMETRO (mm)	MASA DE SUELO (gr)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
GRAVA	GRUESA	3"	75	0	0,00%	0,00%	100,00%
		2- 1/2"	63	0	0,00%	0,00%	100,00%
		2"	53	0	0,00%	0,00%	100,00%
		1- 1/2"	37,5	0	0,00%	0,00%	100,00%
		1"	25,4	0	0,00%	0,00%	100,00%
		3/4"	19	0	0,00%	0,00%	100,00%
	FINA	1/2"	12,5	0	0,00%	0,00%	100,00%
		3/8"	9,5	0,014	0,47%	0,47%	99,53%
	No. 4	4,75	0,192	6,41%	6,88%	93,12%	
ARENA	GRUESA	No. 10	2	0,182	6,07%	12,95%	87,05%
	MEDIANA	No. 20	1,22	0,171	5,71%	18,66%	81,34%
		No. 40	0,34	0,236	7,88%	26,54%	73,46%
		No. 50	0,3	0,192	6,41%	32,94%	67,06%
	FINA	No. 60	0,24	0,234	7,81%	40,75%	59,25%
		No. 80	0,17	0,372	12,42%	53,17%	46,83%
		No. 100	0,15	0,452	15,09%	68,26%	31,74%
		No. 200	0,075	0,951	31,74%	100,00%	0,00%
	Fondo	0	0	0,00%	100,00%		
	Total		2,996	100,00%			
PESO TOTAL DE LA MUESTRA				CARACTERISTICAS DE MUESTRA ENSAYADA			
3000 gr				VÍA SECA		X	
				VÍA HÚMEDA			
% Gravas	6,88%	% Arenas	93,12%	% Finos	0,00%		

Tabla 2, Granulometría suelo con aditivo
Fuente: Tarquino Javier, 2022

La suma total de la muestra evaluada es de (3000 gr) representando el conjunto total de los pesos que se quedan retenidos en cada tamiz, esto con su estudio respectivo, se puede obtener cierta información la cual se puede graficar y a su vez, clasificar bajo parámetros técnicos, logrando la

composición comprendida del material de 93,12% de arenas y 6,88% de gravas para el total de 100% de muestra estudiada.

Seguidamente, se muestra la **Gráfica 2**, donde encontramos la relación de diámetros de partículas vs el porcentaje de muestra que logra pasar. Y de acuerdo con los resultados recuperados de la prueba, se determina que el porcentaje que pasa del tamiz #4 es del 93,12%, que el porcentaje que pasa el tamiz No. 10 es del 87,05%, indicando que el suelo en estudio es de tipo arenoso arcilloso.



Gráfica 2, Curva granulométrica suelo con aditivo
Fuente: Tarquino Javier, 2022

8.3 LÍMITES SUELO NATURAL

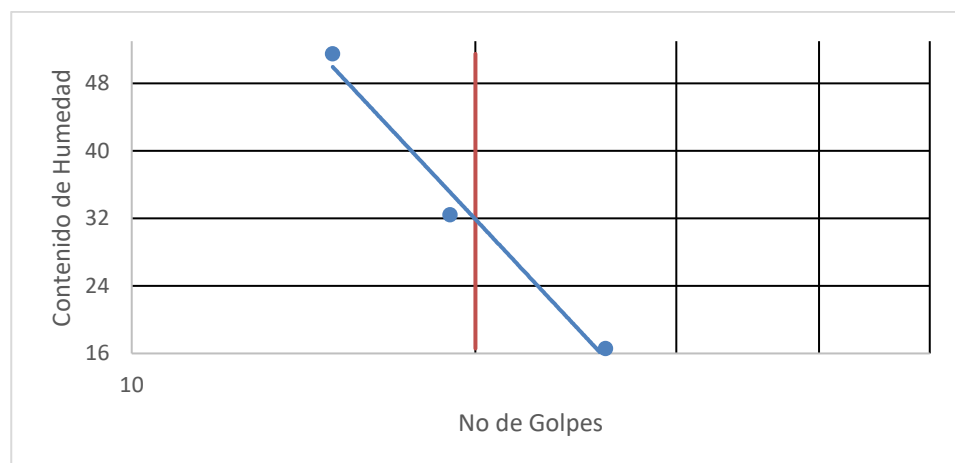
8.3.1 Líquido

Con los datos obtenidos del ensayo de límite líquido y límite plástico, se puede obtener el contenido de humedad demostrado en la prueba implementada por el estudio en curso.

DATOS	LIMITE LIQUIDO		
Muestra No	1	2	3
No de Golpes	15	19	26
Peso Tara (gr)	4,623	5,319	8,350
Suelo Humedo + Tara	19,445	17,119	18,355
Suelo Seco + Tara	14,407	14,23	14,201
Peso del agua	5,038	2,889	4,154
Peso del suelo seco (gr)	9,784	8,911	5,851
Contenido de Humedad	51,4922322	32,4206037	16,58672

Tabla 3, Límite líquido
Fuente: Tarquino Javier, 2022

Con estos datos, se logra graficar una variable contenida por el número de golpes que se le da en la cazuela Casagrande vs el contenido neto de humedad de la muestra de suelo. **Gráfica 3.**



Gráfica 3, Límite líquido
Fuente: Tarquino Javier, 2022

8.3.2 Plástico

Tras hallar el límite líquido de la muestra de suelo en estudio, vemos ahora los resultados del ensayo del límite plástico. Que se muestra en la **Tabla 4**, para encontrar la plasticidad presente del suelo evaluado.

DATOS	LIMITE PLASTICO	
Muestra No	1	2
Peso Tara (gr)	5,435	4,820
Suelo Humedo + Tara	10,382	11,335
Suelo Seco + Tara	9,229	10,125
Peso del agua	1,153	1,21
Peso del suelo seco (gr)	3,794	5,305
Contenido de Humedad	30,39	22,81
LIMITE PLASTICO	26,60	

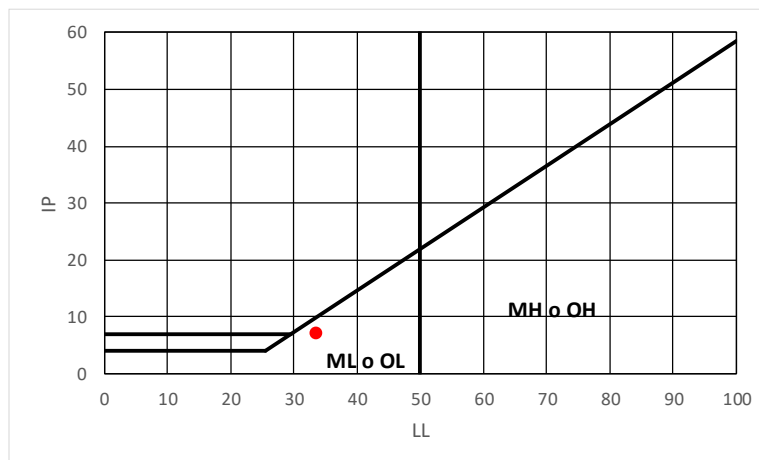
Tabla 4, Límite plástico
Fuente: Tarquino Javier, 2022

Según los datos obtenidos del anterior ensayo, vemos que la muestra de suelo natural tiene un porcentaje de plasticidad del 26,60 cercano al 27%. Con estos valores en tablas se puede proceder a calcular el índice de plasticidad, explicado en la **Tabla 5**.

LIMITE LIQUIDO	33,50
LIMITE PLASTICO	26,60
INDICE DE PLASTICIDAD	6,90

Tabla 5, Índice de plasticidad
Fuente: Tarquino Javier, 2022

Con la realización de estos dos ensayos de límite líquido y límite plástico de suelos, se obtienen los datos requeridos para la elaboración de la gráfica de la carta de plasticidad como se puede evidenciar en la **Gráfica 4**. La cual nos muestra la evidencia de que estamos tratando con un suelo de tipo limo arcilloso de baja plasticidad en su estado natural.



Gráfica 4, Carta de plasticidad
Fuente: Tarquino Javier, 2022

8.4 LÍMITES SUELO CON ADICION DE CASCARILLA DE ARROZ

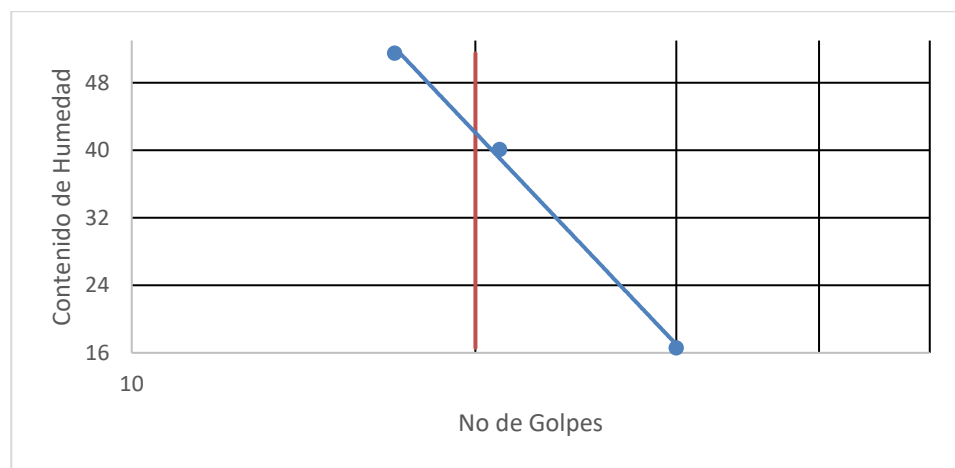
8.4.1 Líquido

Con los datos obtenidos del ensayo de límite líquido y límite plástico, se puede obtener el contenido de humedad demostrado en la prueba implementada por el estudio en curso.

DATOS	LIMITE LIQUIDO		
Muestra No	1	2	3
No de Golpes	17	21	30
Peso Tara (gr)	4,623	5,319	8,350
Suelo Humedo + Tara	19,125	17,802	18,941
Suelo Seco + Tara	14,407	14,23	14,201
Peso del agua	5,038	3,572	4,74
Peso del suelo seco (gr)	9,784	8,911	5,851
Contenido de Humedad	51,4922322	40,0852878	16,58672

Tabla 6, Limite liquido con aditivo
Fuente: Tarquino Javier, 2022

Con estos datos, se logra graficar una variable contenida por el número de golpes que se le da en la cazuela Casagrande vs el contenido neto de humedad de la muestra de suelo. **Gráfica 5.**



Gráfica 5, Límite líquido con aditivo

Fuente: Tarquino Javier, 2022

8.4.2 Plástico

Tras hallar el límite líquido de la muestra de suelo en estudio, vemos ahora los resultados del ensayo del límite plástico. Que se muestra en la **Tabla 7**, para encontrar la plasticidad presente del suelo evaluado.

DATOS	LIMITE PLASTICO	
Muestra No	1	2
Peso Tara (gr)	5,435	4,820
Suelo Humedo + Tara	10,227	11,122
Suelo Seco + Tara	9,229	10,125
Peso del agua	0,998	0,997
Peso del suelo seco (gr)	3,794	5,305
Contenido de Humedad	26,30	18,79
LIMITE PLASTICO	22,55	

Tabla 7, Límite plástico con aditivo

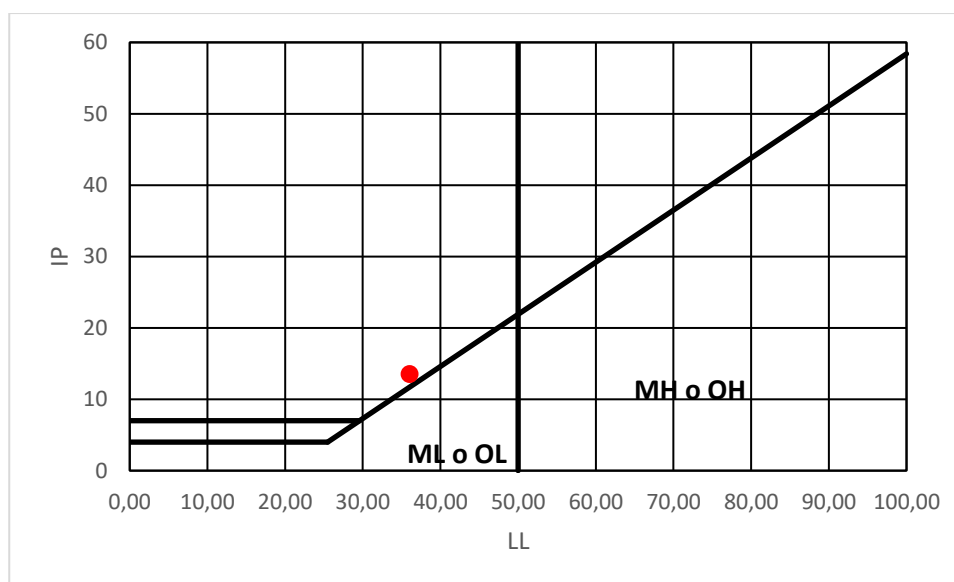
Fuente: Tarquino Javier, 2022

Según los datos obtenidos del anterior ensayo, vemos que la muestra de suelo natural tiene un porcentaje de plasticidad del 26,60 cercano al 27%. Con estos valores en tablas se puede proceder a calcular el índice de plasticidad, explicado en la **Tabla 8.**

LIMITE LIQUIDO	33,50
LIMITE PLASTICO	22,55
INDICE DE PLASTICIDAD	13,51

Tabla 8, Índice de plasticidad con aditivo
Fuente: Tarquino Javier, 2022

Con la realización de estos dos ensayos de límite líquido y límite plástico de suelos, se obtienen los datos requeridos para la elaboración de la gráfica de la carta de plasticidad como se puede evidenciar en la **Gráfica 6**. La cual nos muestra la evidencia encontramos un suelo de tipo arcilla de baja compresibilidad en su estado modificado con ceniza de cascarilla de arroz.



Gráfica 6, Carta de plasticidad con aditivo
Fuente: Tarquino Javier, 2022

8.5 Proctor modificado

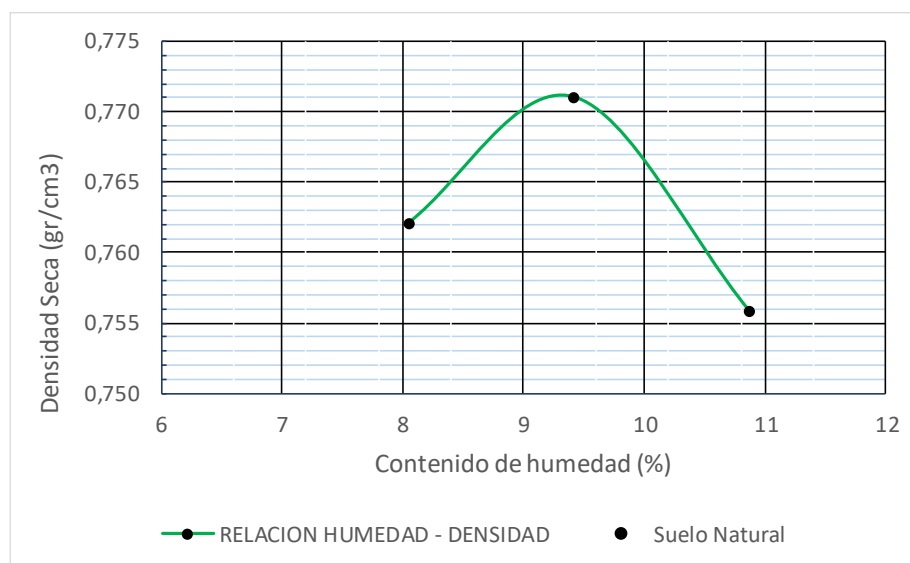
8.5.1 Suelo natural

En la **Tabla 9** presente continuación, se representa toda la información obtenida en el laboratorio de la prueba realizada.

VOLUMEN DEL MOLDE :		2124,00	cm^3	
PRUEBA N°		1	2	3
Peso suelo + molde	gr	9518	9530	9487
Peso molde	gr	7738	7738	7738
Peso suelo humedo compactado	gr	1780	1792	1749
Peso suelo humedo + tara	gr	380	378	372
Peso del suelo seco + tara	gr	370	369,4	365
Tara	gr	278	278	278
Peso del agua	gr	10	8,6	7
Peso del suelo seco	gr	92	91,4	87
Contenido de agua	%	10,87	9,41	8,05
Densidad suelo humedo	gr/cm3	0,84	0,84	0,82
Densidad suelo seco	gr/cm3	0,756	0,771	0,762

Tabla 9, Resultados Ensayo Proctor
Fuente: Tarquino Javier, 2022

Así mismo, tabulando los resultados necesarios para este ensayo, podemos ver en la **Gráfica 7**, el contenido de humedad v la densidad del suelo.



Gráfica 7, Humedad optima
Fuente: Tarquino Javier, 2022

Con esto, se tiene el análisis de que para realizar una compactación del suelo natural se necesitaría una humedad óptima del 9,23%, aumentando las propiedades de compactación del suelo.

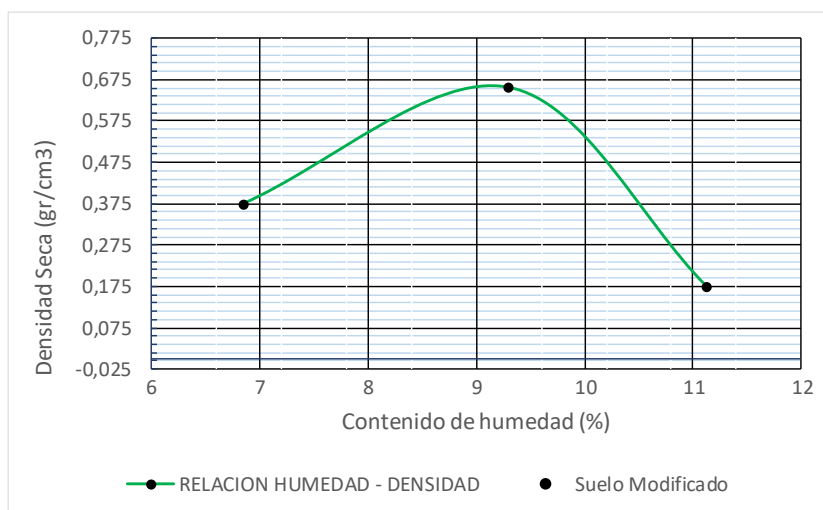
8.5.2 Suelo intervenido con aditivo de CCA

Para este caso, se expresa en la siguiente **Tabla 10**, los resultados que se lograron obtener en el ensayo mencionado, agregando la ceniza de cascarilla de arroz.

VOLUMEN DEL MOLDE :		2124,00	cm^3	
PRUEBA N°		1	2	3
Peso suelo + molde	gr	9348	9266	9250
Peso molde	gr	7738	7738	7738
Peso suelo humedo compactado	gr	1610	1528	1512
Peso suelo humedo + tara	gr	365	360,51	360
Peso del suelo seco + tara	gr	359,43	353,5	350,28
Tara	gr	278	278	278
Peso del agua	gr	5,57	7,01	9,72
Peso del suelo seco	gr	81,43	75,5	72,28
Contenido de agua	%	6,84	9,28	11,12
Densidad suelo humedo	gr/cm3	0,76	0,72	0,71
Densidad suelo seco	gr/cm3	0,375	0,658	0,175

Tabla 10, Resultado proctor con aditivo
Fuente: Tarquino Javier, 2022

De esta manera, y analizando los anteriores resultados, se hace un diagrama con la respectiva humedad óptima mostrada en la siguiente **Grafica 8**.



Gráfica 8, Humedad óptima suelo con aditivo
Fuente: Tarquino Javier, 2022

El resultado nos muestra que la humedad óptima para compactar este tipo de muestra alterada con adición de ceniza de cascarilla de arroz, oscila entre los 9,30% siendo muy semejante a la encontrada en el suelo natural.

8.6 Compresión inconfina

8.6.1 Suelo natural – 56 golpes

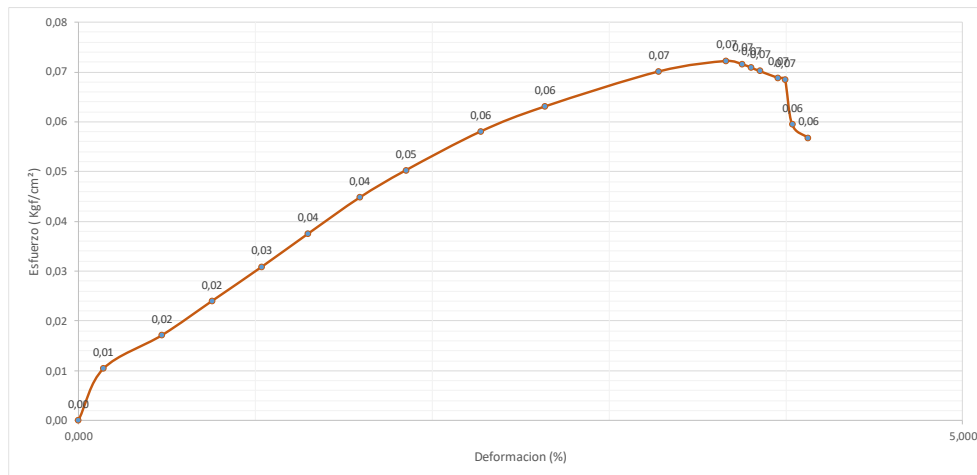
En la siguiente **Tabla 11**, se presentan los resultados que se obtienen por los equipos de laboratorio, donde nos enseña la interpretación de datos de la deformación y la fuerza necesaria que utiliza el instrumento para deformar la muestra y el esfuerzo del terreno modificado con el aditivo que es la ceniza de cascarilla de arroz.

Deformación		C kgf	ε %	1-ε	Ac cm ²	σ Kgf/cm ²
*0,001	mm					
0	0	0,0	0,000	1,0	14,52	0,00
10	0,14	0,2	0,141	1,0	14,54	0,01
20	0,47	0,3	0,473	1,0	14,59	0,02
30	0,75	0,4	0,755	1,0	14,63	0,02
40	1,03	0,5	1,037	1,0	14,67	0,03
50	1,29	0,6	1,299	1,0	14,71	0,04
60	1,58	0,7	1,591	1,0	14,76	0,04
80	1,84	0,7	1,852	1,0	14,80	0,05
100	2,26	0,9	2,275	1,0	14,86	0,06
120	2,62	0,9	2,638	1,0	14,92	0,06
140	3,26	1,1	3,282	1,0	15,01	0,07
160	3,64	1,1	3,664	1,0	15,07	0,07
180	3,73	1,1	3,755	1,0	15,09	0,07
200	3,78	1,1	3,805	1,0	15,10	0,07
300	3,83	1,1	3,856	1,0	15,10	0,07
400	3,93	1,0	3,956	1,0	15,12	0,07
500	3,97	1,0	3,997	1,0	15,13	0,07
600	4,01	0,9	4,037	1,0	15,13	0,06
700	4,10	0,9	4,128	1,0	15,15	0,06

Tabla 11, Resistencia inconfiada suelo natural a 56 golpes

Fuente: Tarquino Javier, 2022

La **Gráfica 9** que se muestra a continuación, nos señala la relación entre el esfuerzo cortante con la deformación aplicando 56 golpes de compactación.



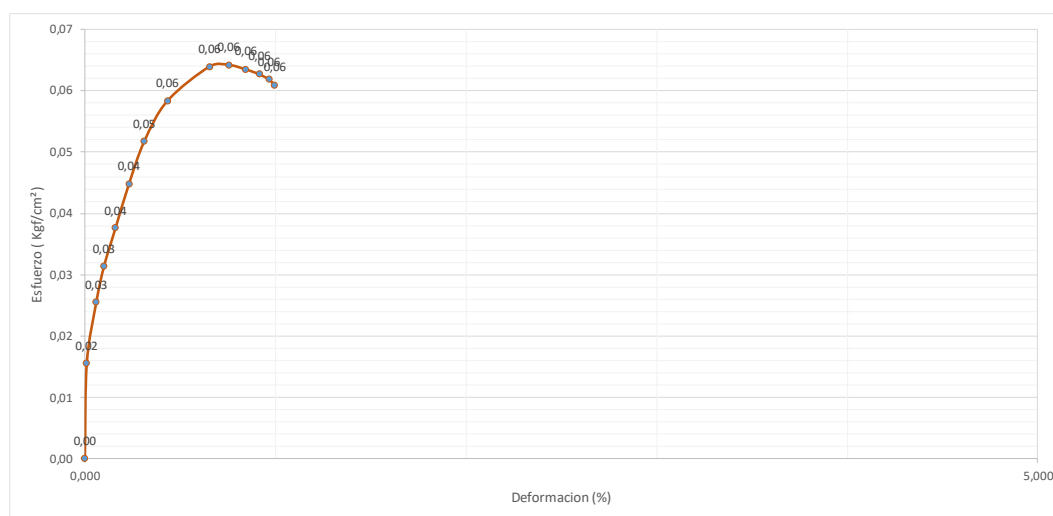
8.6.2 Suelo natural – 24 golpes

En la siguiente **Tabla 12**, se evidencian los resultados que se obtienen por los equipos de laboratorio, donde nos enseña la interpretación de datos de la deformación y la fuerza necesaria que utiliza el instrumento para deformar la muestra y el esfuerzo del terreno modificado con el aditivo que es la ceniza de cascarilla de arroz.

Deformación		C kgf	ϵ %	1- ϵ	Ac cm ²	σ Kgf/cm ²
*0,001	mm					
0	0	0,0	0,000	1,0	14,52	0,00
10	0,01	0,2	0,010	1,0	14,52	0,02
20	0,06	0,4	0,060	1,0	14,53	0,03
30	0,10	0,5	0,101	1,0	14,54	0,03
40	0,16	0,5	0,161	1,0	14,55	0,04
50	0,23	0,7	0,232	1,0	14,56	0,04
60	0,31	0,8	0,312	1,0	14,57	0,05
80	0,43	0,9	0,433	1,0	14,59	0,06
100	0,65	0,9	0,654	1,0	14,62	0,06
120	0,75	0,9	0,755	1,0	14,63	0,06
140	0,84	0,9	0,846	1,0	14,65	0,06
160	0,91	0,9	0,916	1,0	14,66	0,06
180	0,96	0,9	0,966	1,0	14,66	0,06
200	0,99	0,9	0,997	1,0	14,67	0,06

Tabla 12, Resistencia inconfiada suelo natural a 24 golpes
Fuente: Tarquino Javier, 2022

La **Gráfica 10** que se muestra a continuación, nos muestra la relación entre el esfuerzo cortante con la deformación aplicando 24 golpes de compactación al suelo natural.



Gráfica 10, Curva esfuerzo vs deformación
Fuente: Tarquino Javier, 2022

Se logra analizar que la prueba de suelo natural al ser compactada con 24 golpes, esta consigue su máxima resistencia a 0.940 kN y una deformación de 0.75 mm.

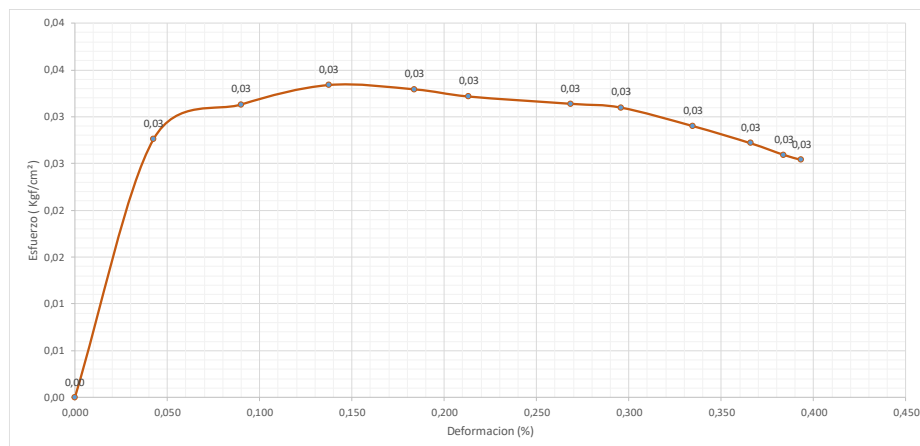
8.6.3 Suelo natural – 12 golpes

En la siguiente **Tabla 13**, se muestran los resultados que se obtienen por los equipos de laboratorio, donde nos enseña la interpretación de datos de la deformación y la fuerza necesaria que utiliza el instrumento para deformar la muestra y el esfuerzo del terreno modificado con el aditivo que es la ceniza de cascarilla de arroz.

Deformación		C kgf	ε %	1-ε	Ac cm ²	σ Kgf/cm ²
*0,001	mm					
0	0	0,0	0,000	1,0	22,38	0,00
10	0,045	0,619	0,043	1,0	22,39	0,03
20	0,095	0,702	0,090	1,0	22,40	0,03
30	0,145	0,749	0,137	1,0	22,41	0,03
40	0,194	0,739	0,184	1,0	22,42	0,03
50	0,225	0,722	0,213	1,0	22,43	0,03
60	0,283	0,705	0,268	1,0	22,44	0,03
80	0,312	0,696	0,296	1,0	22,45	0,03
100	0,353	0,652	0,335	1,0	22,46	0,03
120	0,386	0,611	0,366	1,0	22,46	0,03
140	0,405	0,583	0,384	1,0	22,47	0,03
160	0,415	0,571	0,393	1,0	22,47	0,03

Tabla 13, Resistencia inconfiada suelo natural a 12 golpes
Fuente: Tarquino Javier, 2022

La **Gráfica 11** que se muestra a continuación, nos presenta la relación entre el esfuerzo cortante con la deformación aplicando 12 golpes de compactación al suelo natural.



Gráfica 11, Curva esfuerzo vs deformación
Fuente: Tarquino Javier, 2022

Se logra analizar que la prueba de suelo natural al ser compactada con 12 golpes, esta consigue su máxima resistencia a 0,749 kN y una deformación de 0,376 mm.

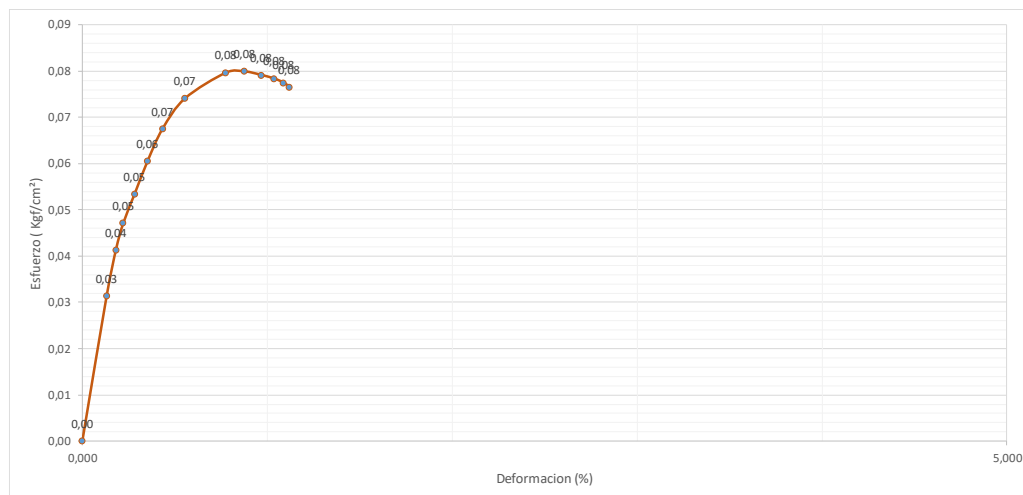
8.6.4 Suelo con aditivo de CCA – 56 golpes

En la siguiente **Tabla 14**, se evidencian los resultados que se adquieren por los equipos de laboratorio, donde nos enseña la interpretación de datos de la deformación y la fuerza necesaria que utiliza el instrumento para deformar la muestra y el esfuerzo del terreno modificado con el aditivo que es la ceniza de cascarilla de arroz.

Deformación		C kgf	ϵ %	1- ϵ	Ac cm ²	σ Kgf/cm ²
*0,001	mm					
0	0	0,0	0,000	1,0	14,52	0,00
10	0,13	0,5	0,131	1,0	14,54	0,03
20	0,18	0,6	0,181	1,0	14,55	0,04
30	0,22	0,7	0,221	1,0	14,55	0,05
40	0,28	0,8	0,282	1,0	14,56	0,05
50	0,35	0,9	0,352	1,0	14,57	0,06
60	0,43	1,0	0,433	1,0	14,59	0,07
80	0,55	1,1	0,554	1,0	14,60	0,07
100	0,77	1,2	0,775	1,0	14,64	0,08
120	0,87	1,2	0,876	1,0	14,65	0,08
140	0,96	1,2	0,966	1,0	14,66	0,08
160	1,03	1,1	1,037	1,0	14,67	0,08
180	1,08	1,1	1,087	1,0	14,68	0,08
200	1,11	1,1	1,117	1,0	14,69	0,08

Tabla 14, Resistencia inconfiada suelo con aditivo - 56 golpes
Fuente: Tarquino Javier, 2022

La **Gráfica 12** que se presenta a continuación, nos muestra la relación entre el esfuerzo cortante con la deformación aplicando 56 golpes de compactación al suelo modificado con ceniza de cascarilla de arroz.



Gráfica 12, Curva esfuerzo vs deformación
Fuente: Tarquino Javier, 2022

Se logra analizar que la prueba de suelo natural al ser compactada con 56 golpes, esta consigue su máxima resistencia a 1,17 kN y una deformación de 1,11 mm.

8.6.5 Suelo con aditivo de CCA – 24 golpes

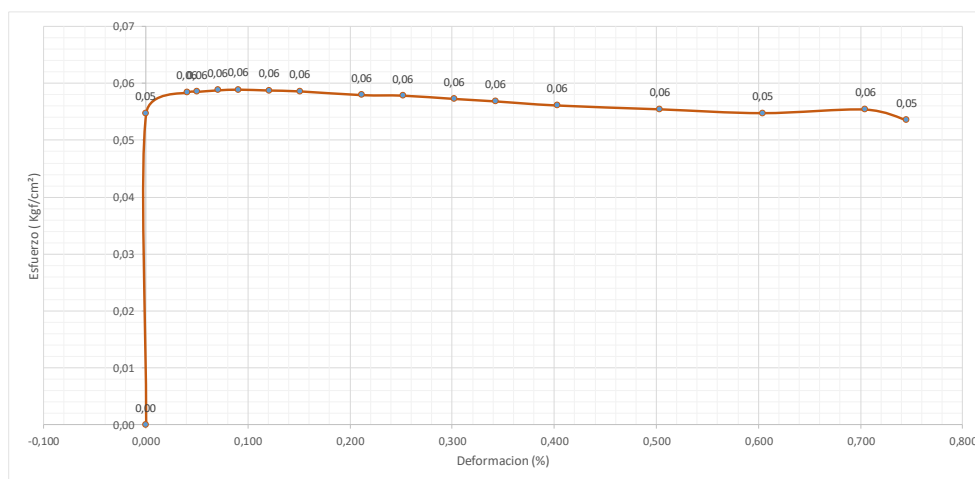
En la siguiente **Tabla 15**, se presentan los resultados que se consiguen por los equipos de laboratorio, donde nos enseña la interpretación de datos de la deformación y la fuerza necesaria que utiliza el instrumento para deformar la muestra y el esfuerzo del terreno modificado con el aditivo que es la ceniza de cascarilla de arroz.

Deformación		C kgf	ϵ %	1- ϵ	Ac cm ²	σ Kgf/cm ²
*0,001	mm					
0	0	0,0	0,000	1,0	14,52	0,00
10	0,00	0,8	0,000	1,0	14,52	0,05
20	0,04	0,8	0,040	1,0	14,53	0,06
30	0,05	0,9	0,050	1,0	14,53	0,06
40	0,07	0,9	0,070	1,0	14,53	0,06
50	0,09	0,9	0,091	1,0	14,54	0,06
60	0,12	0,9	0,121	1,0	14,54	0,06
80	0,15	0,9	0,151	1,0	14,54	0,06
100	0,21	0,8	0,211	1,0	14,55	0,06
120	0,25	0,8	0,252	1,0	14,56	0,06
140	0,30	0,8	0,302	1,0	14,57	0,06
160	0,34	0,8	0,342	1,0	14,57	0,06
180	0,40	0,8	0,403	1,0	14,58	0,06
200	0,50	0,8	0,503	1,0	14,60	0,06
300	0,60	0,8	0,604	1,0	14,61	0,05
400	0,70	0,8	0,705	1,0	14,63	0,06
500	0,74	0,8	0,745	1,0	14,63	0,05

Tabla 15, Resistencia inconfiada suelo con aditivo - 24 golpes

Fuente: Tarquino Javier, 2022

La **Gráfica 13** que se muestra a continuación, nos indica la relación entre el esfuerzo cortante con la deformación aplicando 24 golpes de compactación al suelo modificado con ceniza de cascarilla de arroz.



Gráfica 13, Curva esfuerzo vs deformación

Fuente: Tarquino Javier, 2022

Se logra analizar que la prueba de suelo natural al ser compactada con 24 golpes, esta consigue una resistencia máxima de 0,825 kN y una deformación de 0,372 mm.

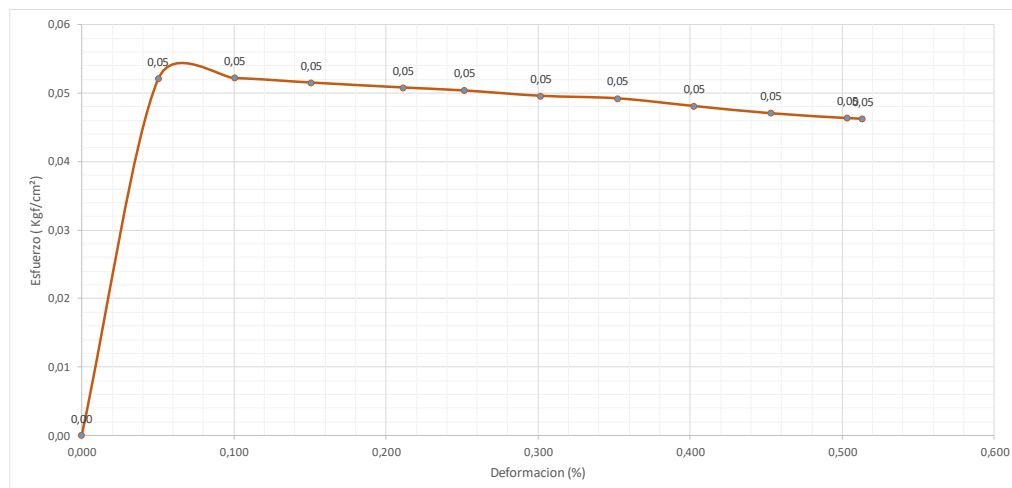
8.6.6 Suelo con aditivo de CCA – 12 golpes

En la siguiente **Tabla 16**, se enseñan los resultados que se alcanzan por los equipos de laboratorio, donde nos enseña la interpretación de datos de la deformación y la fuerza necesaria que utiliza el instrumento para deformar la muestra y el esfuerzo del terreno modificado con el aditivo que es la ceniza de cascarilla de arroz.

Deformación		C kgf	ϵ %	1- ϵ	Ac cm ²	σ Kgf/cm ²
*0,001	mm					
0	0	0,0	0,000	1,0	14,52	0,00
10	0,05	0,8	0,050	1,0	14,53	0,05
20	0,10	0,8	0,101	1,0	14,54	0,05
30	0,15	0,7	0,151	1,0	14,54	0,05
40	0,21	0,7	0,211	1,0	14,55	0,05
50	0,25	0,7	0,252	1,0	14,56	0,05
60	0,30	0,7	0,302	1,0	14,57	0,05
80	0,35	0,7	0,352	1,0	14,57	0,05
100	0,40	0,7	0,403	1,0	14,58	0,05
120	0,45	0,7	0,453	1,0	14,59	0,05
140	0,50	0,7	0,503	1,0	14,60	0,05
160	0,51	0,7	0,513	1,0	14,60	0,05

Tabla 16, Resistencia inconfineda suelo con aditivo - 12 golpes
Fuente: Tarquino Javier, 2022

La **Gráfica 14** que se muestra a continuación, nos expone la relación entre el esfuerzo cortante con la deformación aplicando 12 golpes de compactación al suelo modificado con ceniza de cascarilla de arroz.



Gráfica 14, Curva esfuerzo vs deformación
Fuente: Tarquino Javier, 2022

Se logra analizar que la prueba de suelo modificado al ser compactada con 12 golpes, esta consigue su máxima resistencia a 0,710 kN y una deformación de 0,376 mm.

9 CONCLUSIONES

Son bastantes las técnicas para estabilizar y mejorar los suelos a nivel mundial, puesto que la inclusión de nuevos agregados para dicho motivo son parte fundamental, tanto de la innovación como de la sostenibilidad en general, y eso por eso, que para concluir esta investigación de acuerdo a los procedimientos de ensayos de caracterización física de suelos obtenidos se dice que:

- En la granulometría del suelo evaluado, se obtuvieron datos que categorizan al material como arenoso arcilloso, comprendido específicamente por un porcentaje del 85,88% de arenas y 14,12% de gravas, y sumando estos dos porcentajes, tenemos un cien por ciento de muestra examinada.
- Con los datos obtenidos en el ensayo de la consistencia del suelo sobre límites, se consigue que el suelo experimentado, es un suelo limo arcilloso de baja plasticidad (ML-OL).
- Para los ensayos de compactación Proctor, vemos que el suelo natural alcanza una humedad óptima del 9,23% frente a un 9,30% que muestra el resultado del suelo modificado con ceniza de cascarilla de arroz, deduciendo que no se logró cierta mejoría.
- Evidenciando también, que, al momento de la compactación en el molde del suelo natural con la ceniza, se necesitó $\pm 10\%$ más de agua que la muestra natural, siendo esto algo positivo ya que, subiendo la compactación con la humedad, va a aumentar su resistencia.

- En la prueba de compresión inconfiada, logró evaluarse, que para una compactación de 56 golpes en un suelo natural se alcanzó una resistencia máxima de 1,089 kN y para el suelo con aditivo de ceniza de cascarilla de arroz, alcanzo una resistencia máxima de 1,117 kN, concluyendo que, la ceniza produce en leve mejoramiento al suelo por sus propiedades características, dependiendo entonces de una compactación mayor, para alcanzar una resistencia adecuada.

10 RECOMENDACIONES

Para mejores resultados sobre este tipo de investigaciones se recomienda ejecutar más ensayos con especímenes de suelo mayores y con diversos porcentajes de agregación de ceniza de cascarilla de arroz para su aprobación e implementación.

Indagar con mayor intensidad sobre el tema de la implementación de esta ceniza para el mejoramiento de suelos en todas las obras posibles, para que se le pueda dar un mejor manejo a este desecho que deja todo el proceso de producción del arroz, prometiendo así, un equilibrio ambiental.

Utilizar equipos de laboratorio correctamente calibrados, para la obtención de datos más exactos y confiables.

11 Referencias

- ABC Geotechnical Consulting. (2003). Ensayo Granulometrico | Granulometria. 1. Obtenido de <https://geotecniaymecanicasuelosabc.com/granulometria/>
- Alexandra Moale, E. R. (05 de 12 de 2019). Obtenido de https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/648846/MoaleQ_A.pdf?sequence=3
- Civilgeeks. (2016). *Ingenieria y Construccion* . Obtenido de <https://civilgeeks.com/2015/06/27/guia-la-estabilizacion-suelos/>
- Das, B. (2013). *Fundamentals of Geotechnical Engineering*. Obtenido de https://revistas.sena.edu.co/index.php/inf_tec/article/view/2530
- Díaz Vásquez, F. (2018). *MEJORAMIENTO DE LA SUBRASANTE MEDIANTE CENIZA DE CASCARA DE ARROZ EN LA CARRETERA DV SAN MARTÍN LONYA GRANDE, AMAZONAS*. Lima.
- Diccionario de Geotecnia. (5 de Junio de 2020). Obtenido de <https://www.diccionario.geotecnia.online/palabra/indice-de-plasticidad/>
- García, A. (06 de 2016). *Tecnicas de mejoramiento del suelo*. Obtenido de <https://prezi.com/s51kc2sosqe4/tecnicas-de-mejoramiento-del-suelo/>
- HINRICHSEN TRIVIÑOS, N. (2005). Estudio de comportamiento de suelo estabilizado con sal: frente a la acción del agua, para distintas mezclas. VALDIVIA: Universidad Austral de Chile.
- Jin Liu, B. S. (2011). Research on the stabilization treatment of clay slope topsoil by organic polymer soil stabilizer., (págs. 114-120).
- LEMARA. (24 de 05 de 2018). *Cómo llevar a cabo la estabilización de terrenos*. Obtenido de <https://www.lemara.es/como-hacer-estabilizacion-terrenos/>
- Mario Alzate. (2015). *PREZI*. Obtenido de <https://prezi.com/rqa1-j5f4wv5/ceniza-de-cascarilla-de-arroz/>

Mikepiax. (2009). Mejoramiento del suelo. 1. Obtenido de

<https://es.scribd.com/doc/41936518/Mejoramiento-Del-Suelo>

Murillo, I. A. (08 de 06 de 2016). Obtenido de

<https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/15770/Caama%F1oMurilloIv%E1nAlberto2016.pdf.pdf;jsessionid=308C2625D576D645E0B3DFE88F5F5BD4?sequence=1>

Noriega Editores. (2005). Mecanica de Suelos. Mexico: LIMUSA.

Ocampo, M. (2012). *Ceniza de Cascarilla de Arroz*. Obtenido de <https://prezi.com/rqa1-j5f4wv5/ceniza-de-cascarilla-de-arroz/>

R. Bahar, M. B. (2004). Performance of compacted cement-stabilized soil. Algeria: Cement and Concrete Composites. Obtenido de

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0958946504000058>

Victor Vera, D. Q. (02 de 02 de 2017). Obtenido de

<https://repositorio.uandina.edu.pe/handle/20.500.12557/1212>

12 Anexos



Ilustración 5, Ceniza de cascarilla de arroz
Fuente: Tarquino Javier, 2022



Ilustración 6, Proceso de tamizado
Fuente: Tarquino Javier, 2022

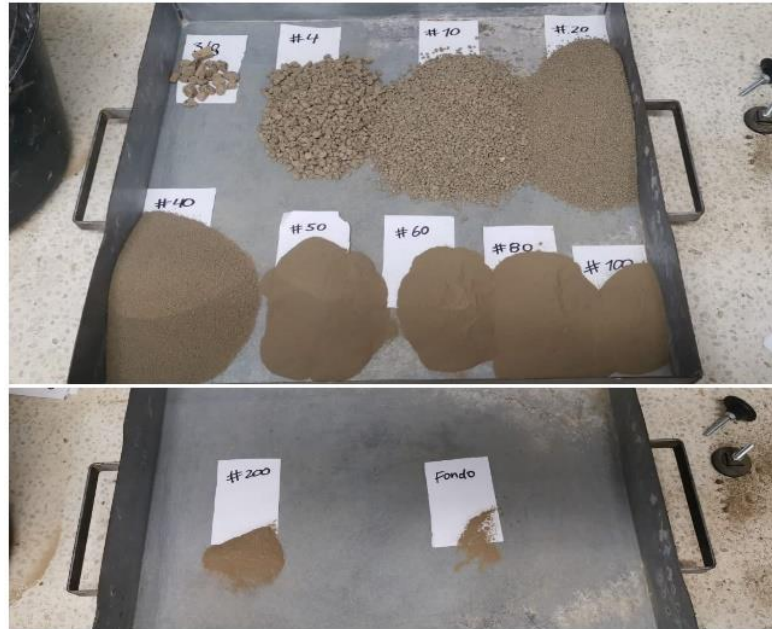


Ilustración 7, Peso de cada tamiz
Fuente: Tarquino Javier, 2022



Ilustración 8, Ensayo límite líquido, preparación de la muestra, cuchara de Casagrande
Fuente: Tarquino Javier, 2022



Ilustración 9, Ensayo limite plástico
Fuente: Tarquino Javier, 2022



Ilustración 10, Ensayo Proctor, Peso de molde, Compactación y enrase de la muestra
Fuente: Tarquino Javier, 2022



Ilustración 11, Ensayo Compresión Incofinada
Fuente: Tarquino Javier, 2022