

EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO FÍSICO-MECÁNICO DE LA RESISTENCIA DE UN

SUELO ARCILLOSO



**EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO FÍSICO-MECÁNICO DE LA  
RESISTENCIA DE UN SUELO ARCILLOSO CON CENIZAS DE CASCARILLA  
DE ARROZ**

**KAREN JULIETH MORENO FERIA**

**ID: 547358**

**BRIAM OSWALDO FORERO BARRIOS**

**ID: 537477**

**CORPORACIÓN UNIVERSITARIA MINUTO DE DIOS**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**PROGRAMA INGENIERÍA CIVIL**

**GIRARDOT - CUNDINAMARCA**

**2020**

**EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO FÍSICO-MECÁNICO DE LA RESISTENCIA DE UN**

**SUELO ARCILLOSO**

**EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO FÍSICO-MECÁNICO DE LA  
RESISTENCIA DE UN SUELO ARCILLOSO CON CENIZAS DE CASCARILLA  
DE ARROZ**

**KAREN JULIETH MORENO FERIA**

**ID: 547358**

**BRIAM OSWALDO FORERO BARRIOS**

**ID: 537477**

**Trabajo realizado para optar al título de Ingeniero Civil**

**Asesor**

**JUAN PABLO ÁLVAREZ VELANDIA.**

**Ingeniero Civil**

**CORPORACIÓN UNIVERSITARIA MINUTO DE DIOS**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**PROGRAMA INGENIERÍA CIVIL**

**GIRARDOT - CUNDINAMARCA**

**2020**

EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO FÍSICO-MECÁNICO DE LA RESISTENCIA DE UN  
SUELO ARCILLOSO

Nota de aceptación

---

---

---

---

---

---

Presidente del Jurado

---

Jurado

---

Jurado

---

Jurado

Girardot, 17 de mayo de 2020

EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO FÍSICO-MECÁNICO DE LA RESISTENCIA DE UN  
SUELO ARCILLOSO

**Dedicatoria**

Agradezco primeramente a Dios por permitirnos estar hoy en este lugar agradezco a mi mamá, a mi familia a mi pareja y a todas las personas que aportaron un granito de arena en toda mi formación, todas estas personas que me ayudaron a ser una gran profesional y un gran ser humano, quiero agradecerle a mis padres que son los motores de mi vida y las personas que me formaron, e hicieron que fuera hoy por hoy lo que soy ellos son el principal motivo por el que estudie de antemano dedicarle este logro a todos los docentes que me educaron y guiaron mi camino.

Karen Julieth Moreno Feria.

De mi parte agradezco de todo corazón el apoyo incondicional de mis padres, de mi pareja y la bendición de mi Dios, los cuales han sido el gran motor de mi vida para lograr este objetivo como profesional dentro de mi formación en la parte de ingeniería civil, estoy muy contento al estar en la cima de este gran sueño lo cual ha sido difícil, han habido obstáculos y barreras que se han presentado en mi vida. Esto ha generado y he aprendido que por más difícil que sea el camino mayor será satisfactorio la gloria superando las cosas con fe y optimismo que es el mejor valor para afrontar las inconvenientes de la vida.

Además quiero agradecer a mi abuela María Custodia García. Esta mujer siempre me ha inculcado que sea un buen nieto, estudie, que salga adelante en la vida que el regalo más bonito que mis padres me puedan dejar hoy en vida es el estudio. Hoy he aprendido que no hay como esas palabras tan hermosas y sinceras de mi querida abuela.

Briam Oswaldo Forero Barrios.

EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO FÍSICO-MECÁNICO DE LA RESISTENCIA DE UN  
SUELO ARCILLOSO

**Agradecimientos**

Hoy agradecemos a Dios y al apoyo de nuestras familias, las cuales han estado en este gran proceso de formación en nuestra carrera universitaria dándonos apoyo incondicional y fortaleza dentro de esta formación, no ha sido fácil para llevar este gran logro, pero con las bendiciones de Dios en el camino poco a poco hemos construido ese gran sueño que se nos impone de ser unos grandes ingenieros civiles y autónomos con gran desarrollo de nuestra ética profesional.

De otra manera agradecemos el apoyo incondicional que nos ha ofrecido el ingeniero tutor de nuestro programa, Juan Pablo Alvarez, el cual siempre nos ha ayudado con grandes ideas y asesoría para llevar este proceso investigativo de formación de este proyecto como opción de grado, contamos con excelente asesoría y orientación prestada por parte del tutor del programa.

**CONTENIDO**

	Pág.
DEDICATORIA	IV
AGRADECIMIENTOS	V
RESUMEN	XII
ANTECEDENTES	XII
INTRODUCCIÓN	15
1. PROBLEMA	17
1.1 Formulación del problema	17
2. JUSTIFICACIÓN	18
2.1 Justificación Ambiental	19
3. OBJETIVOS	20
3.1 Objetivo General	20
3.2 Objetivos Específicos	20
4. MARCOS DE REFERENCIA	21
4.1 Marco de Antecedentes	21
4.2 Marco Teórico	21
4.2.1 Estabilización de suelos.	21
4.2.2 Tipos de estabilizaciones de suelo.	22
4.2.3 Estabilizaciones más usadas.	24
4.2.4 Características cementicias de la ceniza de cascarilla de arroz.	25
4.2.5 Aportes al concreto de la ceniza de cascarilla de arroz.	25
4.3 Marco Geográfico	25

EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO FÍSICO-MECÁNICO DE LA RESISTENCIA DE UN  
SUELO ARCILLOSO

4.4	Marco Institucional	27
4.4.1	Visión Institucional.	31
4.4.2	Misión Institucional.	31
5.	DISEÑO METODOLÓGICO	32
6.	ANÁLISIS DE RESULTADOS	39
6.1	Ensayo Granulométrico del material	39
6.2	Norma I.N.V. E –142-13 relaciones humedad – peso unitario seco en los suelos (ensayo modificado de compactación)	41
6.2.1	Proctor modificado del suelo virgen.	41
6.2.2	Proctor modificado del suelo modificado.	42
6.2.3	Comparación de resultados del Proctor modificado.	45
6.3	Norma I.N.V. E – 125 – 13 Determinación del límite líquido de los suelos	46
6.4	Norma I.N.V. E – 126 – 13 Límite plástico e índice de plasticidad de los suelos	50
6.5	Norma I.N.V. E – 152 - 13 Compresión inconfiada en muestras de suelos	53
6.5.1	Análisis comparativo del ensayo de compresión inconfinado.	62
7.	COSTOS Y RECURSOS	65
7.1	Recursos Humanos	65
7.2	Recursos Económicos	65
8.	CONCLUSIONES	67
9.	RECOMENDACIONES	68
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	69

# EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO FÍSICO-MECÁNICO DE LA RESISTENCIA DE UN

## SUELO ARCILLOSO

### LISTA DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1. Componentes Químicos de la CCA.	24
Cuadro 2. Resultados del ensayo de granulometría del material.	39
Cuadro 3. Datos y resultado del Proctor modificado para suelo virgen.	41
Cuadro 4. Datos y resultados del Proctor modificado para suelo modificado. <b>¡Error! Marcador no definido.</b>	
Cuadro 5. Datos y resultados del Proctor modificado para suelo modificado.	44
Cuadro 6. Comparativo de los resultados del Proctor modificado	45
Cuadro 7. Límite líquido suelo virgen.	47
Cuadro 8. Limite plástico e índice de plasticidad suelo modificado.	48
Cuadro 9. Limite liquido suelo modificado.	48
Cuadro 10. Limite plástico e índice de plasticidad suelo modificado.	49
Cuadro 11. Resultados del límite líquido, limite plástico e índice de plasticidad suelo virgen.	50
Cuadro 12. Resultados del límite líquido, limite plástico e índice de plasticidad suelo modificado.	51
Cuadro 13. Datos y resultado del ensayo de presión inconfínada 24 golpes suelo modificado.	54
Cuadro 14. Datos grafico de presión inconfínada 24 golpes suelo modificado.	55
Cuadro 15. Datos y resultado del ensayo de presión inconfínada 56 golpes suelo virgen.	57
Cuadro 16. Datos grafico de presión inconfínada 56 golpes suelo virgen.	57



EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO FÍSICO-MECÁNICO DE LA RESISTENCIA DE UN  
SUELO ARCILLOSO

Cuadro 17. Datos y resultado del ensayo de presión inconfiada 56 golpes suelo modificado.	60
Cuadro 18. Datos grafico de presión inconfiada 56 golpes suelo modificado.	60
Cuadro 19. Costos de la investigación.	65

# EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO FÍSICO-MECÁNICO DE LA RESISTENCIA DE UN

## SUELO ARCILLOSO

### LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Localización departamento de Cundinamarca.	26
Figura 2. Barrio Villanpiss.	26
Figura 3. Bodega Arroz Sonora.	27
Figura 4. Localización de Espinal-Tolima.	27
Figura 5. Extracción de la muestra.	32
Figura 6. Extracción y proceso de incineración de la CCA.	33
Figura 7. Tamices ensayo de granulometría.	34
Figura 8. Ensayo límite líquido, cuchara de Casagrande.	35
Figura 9. Ensayo Limite Plástico, rollo de 3mm en su límite plástico.	36
Figura 10. Ensayo Proctor, compactación de muestra de suelo en molde.	37
Figura 11. Molde + testigo fallado.	38

# EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO FÍSICO-MECÁNICO DE LA RESISTENCIA DE UN

## SUELO ARCILLOSO

### LISTA DE GRÁFICAS

	Pág.
Gráfica 1. Curva granulométrica del material.	40
Gráfica 2. Densidad vs % humedad suelo virgen.	42
Gráfica 3. Densidad vs % humedad suelo modificado.	45
Gráfica 4. Análisis comparativo de los resultados del Proctor modificado.	46
Gráfica 5. Limite líquido suelo virgen.	47
Gráfica 6. Limite liquido suelo modificado.	49
Gráfica 7. Carta de plasticidad suelo virgen	51
Gráfica 8. Carta de plasticidad suelo modificado.	52
Gráfica 9. Curva de presión inconfínada 24 golpes suelo virgen.	53
Gráfica 10. Curva de presión inconfínada 24 golpes suelo modificado.	56
Gráfica 11. Curva de presión inconfínada 56 golpes suelo virgen.	59
Gráfica 12. Curva de presión inconfínada 56 golpes suelo modificado.	62
Gráfica 13. Comparativo de ensayo inconfínado de 24 golpes.	63
Gráfica 14. Análisis comparativo de los resultados del comparativo de ensayo inconfínado de 56 golpes.	64

# EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO FÍSICO-MECÁNICO DE LA RESISTENCIA DE UN SUELO ARCILLOSO

## Resumen

El presente trabajo tiene como objetivo analizar detalladamente que mejoramiento se puede obtener en un suelo arcilloso; si adicionamos la ceniza de cascarilla de arroz mirando la viabilidad de resistencia como se puede presentar en suelos blandos, para generar un soporte óptimo para llevar a cabo un proceso constructivo de infraestructura vial, como bien sabemos la ceniza de cascarilla de arroz es un desecho agroindustrial sumamente contaminante, el proceso es controlar los problemas ambientales generados en el mal manejo de quemas y reutilizarlos en un proceso innovador en la ingeniería.

Este proceso investigativo se realizó bajo la toma de muestra de un suelo arcilloso tomado en el Barrio Villanpiss ubicado cerca a la vía Nariño en el municipio de Girardot; los ensayos que se realizaron fueron tomados en cuenta a la norma INVIAS 2013 en los cuales se realizaron los siguientes laboratorios:

- Ensayo de granulometría.
- Determinación del límite líquido.
- Límite plástico e índice de plasticidad.
- Ensayo de compactación proctor.
- Ensayo de compresión inconfiada.

Como resultado podemos determinar que la variación en el factor de humedad que presenta el suelo con y sin cascarilla de arroz por tal razón podemos concluir que la cascarilla de arroz en este caso aporta la absorción y drenaje del agua logrando evidenciar una resistencia positiva en suelos con alto grado de plasticidad.

# EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO FÍSICO-MECÁNICO DE LA RESISTENCIA DE UN SUELO ARCILLOSO

## **Antecedentes**

Con algunos proyectos investigativos con cascarilla de arroz se pueden utilizar para el mejoramiento de suelos arcillosos los cuales se han presentado resultados innovadores y muy contribuyentes para procesos constructivos en vías donde nos muestran un proceso experimental para el mejoramiento de la sub-rasante en suelos arcillosos. Los cuales dan resultados de estabilización muy favorable a los diferentes ensayos de CBR y Proctor Modificado. “Esto nos permite tener valores más altos de capacidad de soporte de resistencia y tener un buen dato y duradero; mostrando ventajas para reducir el impacto ambiental y generando nuevas tecnologías en la construcción” (Cuadra, 2017, pág. 16). Se han venido presentando esta metodología en su tesis el ingeniero evaluó capacidades de suelos arcillosos al adicionar cascarilla de arroz en sub-rasantes.

Aunque existen estudios realizados por parte de otras universidades, en nuestro país se ha mostrado que es gran productor en las zonas de arroz en los departamentos del Tolima y Huila. Esto ha generado mal manejo en la utilización convirtiéndose en un desecho contaminante. La Universidad Piloto implementó un trabajo investigativo el cual es de una pista con asfalto modificado con ceniza de cascarilla de arroz en una vía de tráfico pesado

Este proceso constructivo se llevó a cabo bajo las empresas privadas Molino flor Huila y Caytor tractor S.AS. El criterio de diseño que implementaron fue el de MARSHALL; Donde les género unos resultados satisfactorios en las pruebas se mostró que la reutilización de la cascarilla de arroz de tal forma implementándola en ceniza al asfalto modificado muestra gran viabilidad en resistencia y durabilidad tanto en los pavimentos flexibles y mejoramientos en suelos arcillosos. (Salas Camacho, 2014, pág. 1)

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO FÍSICO-MECÁNICO DE LA RESISTENCIA DE UN SUELO ARCILLOSO

Llevando el proceso de innovación constructivo con la ceniza de cascarilla de arroz el mantenimiento de estas vías con suelos arcillosos va hacer innovador ya que los resultados de laboratorios en pruebas de durabilidad y resistencias son excelentes regidos a la norma INVIAS. El costo sería mucho menor en reparación y mantenimiento. Con ello se puede subrayar que las vías que no están pavimentadas en nuestro país cuenten con este servicio y mejoradas con una buena sub-rasante.

### **Introducción**

La cascarilla de arroz es uno de los desechos más importantes de la producción de arroz de la Orinoquía colombiana. “La cantidad de cascarilla que se genera, año tras año en la región, puede superar las 100.000 ton / año” (Covaleda, 2005, pág. 52). Lo anterior genera una problemática de difícil solución.

“Con el agravante, que, por su baja degradabilidad natural, se acumula en el ambiente, llevando a condiciones extremas”. (Prada & E. Cortés, 2010, pág. 156). Adicional a lo anterior

Es de consistencia quebradiza, “abrasiva y su color varía del pardo rojizo a la púrpura oscura. Su densidad es baja, por lo cual al apilarse ocupa grandes espacios. El peso específico es de 125 kg/ m<sup>3</sup>, es decir, 1 tonelada ocupa un espacio de 8 m<sup>3</sup> a grane” (Varón CJ., 2005, pág. 129).

El propósito de adicionar la cascarilla a otros materiales para obtener cementos, concreto, puzolanas o aglomerados, se encuentra con una importante dificultad, relacionada con el hecho que la cascarilla de arroz es muy pobre en los elementos requeridos, por ejemplo, en la producción de cemento. Este hecho se evidencia, al comparar, la composición de la cascarilla en especial en el contenido de óxido de calcio. Por tanto, los cementos y los materiales que se han obtenido con base en la adición de cascarilla no han recibido amplio uso, a pesar de ser más livianos que los tradicionales. (Prada & E. Cortés, 2010, pág. 157).

Se utilizaron tres aditivos (cenizas volantes y aceite sulfonato) para disminuir las propiedades de una arcilla altamente expansiva (bentonita), con el fin de determinar las ventajas técnicas de cada alternativa bajo las mismas condiciones y ensayo. Para tal fin la bentonita se mezcló con diferentes concentraciones de

aditivo y se realizaron ensayos de caracterización física y mecánica que permitieron analizar el comportamiento de cada uno. Se encontró que las cenizas volantes requieren ser adicionadas en cantidades excesivas para lograr disminución del potencial de expansión a valores admisibles. (Camacho Tauta, Reyes Ortiz, Mayorga Antolinez, & Mendez G, 2006, págs. 46-53).

Los resultados obtenidos con el aceite sulfonado evidenciaron que la estabilización electroquímica que lleva a cabo, requiere de factores ambientales favorables para desarrollar su efecto

La estabilización de suelos con ceniza de cascarilla de arroz es un proceso por el cual se mezcla este elemento a un suelo blando con características inadecuadas y así darles un mejoramiento a las propiedades de sus componentes.

En Colombia, uno de los factores que más afecta los pavimentos rígidos y flexibles son los suelos blandos, ya que sus componentes son muy finos y sus características hacen que los pavimentos se deformen de tal manera que lleguen y sobrepasen su resistencia máxima y con ello se generen roturas y grietas afectando consigo la vida útil de esta.

En este proyecto de investigación, se logra obtener un análisis de las propiedades físico-mecánicas de un suelo virgen y un suelo modificado con cenizas de cascarilla de arroz mediante una serie de ensayos de caracterización de suelos siguiendo la norma INV E.



## **1. Problema**

En el municipio de Girardot y poblaciones vecinas las vías se encuentran en un estado deplorable y en un gran deterioro de la malla vial, no solo queremos ayudar con la infraestructura de los pavimentos sino también mitigar un gran problema con el medio ambiente, que son los gases emitidos por las quemadas, cuando se almacena la cascarilla en grandes cantidades hay la posibilidad de un incendio y a causa de esto se hallan gases tóxicos.

mejorar una subrasante de suelo arcilloso con la ceniza de la cascarilla del arroz.

Las causas de las variaciones en la resistencia de un pavimento son difíciles de descifrar, pero si se considera que una buena subrasante constituye del 40% al 60% de la resistencia de éste, se puede deducir que las variaciones de calidad en el tiempo de estos afectan en gran medida las propiedades finales del pavimento flexible.

Con la presente investigación se evaluarán y el grado de cumplimiento con la Normatividad INVIAS 2013 para ser empleados en la construcción de pavimentos

### **1.1 Formulación del problema**

¿Qué resultados se obtienen de la evaluación del comportamiento físico-mecánico de un suelo de tipo arcilloso con adición cenizas de cascarilla de arroz?

## 2. Justificación

La presente investigación se realizó con el fin de originar alternativas especialmente reciclables para lograr la estabilización de suelos, se realizará la estabilización de un suelo arcilloso con material de desechos agroindustriales, en este caso se optó por la ceniza de cascarilla de arroz por sus componentes.

Con presencia de distintos agregados como lo es la cascarilla de arroz se ha encontrado que además de mitigar problemas medio ambientales utilizando la cascarilla desechada mejoran considerablemente las propiedades mecánicas de suelos blandos. La ceniza de la cascarilla del arroz adicionada al asfalto produce mezclas de mayor calidad permitirá que parte del volumen de la cascarilla del arroz pueda ser empleado en la ingeniería de mejoramiento en sub-rasantes para el diseño de pavimentos como un insumo en lo cual ira a favor de la descontaminación ambiental. La cascarilla de arroz es un residuo agrícola que se considera un agente contaminante, por su forma común de eliminación, que consiste en la quema de la misma, produciendo gases tóxicos perjudiciales para la salud de las personas que los inhalan y para los demás seres vivos que habitan en el medio ambiente.

Se realizará la adición de los materiales antes nombrados con diferentes medidas en porcentajes a varias muestras de suelo desarrollando ensayos de Granulometría, LL y LP, ensayos de densidad y de Compactación Proctor. Estos ensayos se realizan con el fin de identificar las características físico-químicas de la muestra de suelo virgen y del suelo alterado logrando conocer la resistencia del suelo realizando una caracterización comparativa y así mismo generar una nueva alternativa de solución óptima para cualquier suelo arcilloso.

## **2.1 Justificación Ambiental**

La presente investigación muestra un impacto ambiental positivo, debido a que el arroz es un producto que se comercializa con mayor frecuencia en el país y sus residuos agroindustriales como es su cascarilla, este proyecto impone una alternativa de reutilización para este tipo de material y así disminuyan los niveles de contaminación que genera la quema de la cascarilla de arroz en la actualidad.

### 3. Objetivos

#### 3.1 Objetivo General

Evaluar y analizar el comportamiento físico-mecánico de un suelo virgen y un suelo modificado con cenizas de cascarilla de arroz.

#### 3.2 Objetivos Específicos

- ❖ Establecer cuantitativamente la distribución de tamaños de partículas de suelo mediante el análisis granulométrico siguiendo los lineamientos de la norma INV E – 123 – 13.
- ❖ Clasificar el material utilizado para la investigación según la nomenclatura SUCS.
- ❖ Establecer la humedad óptima según el ensayo de Compactación Proctor, utilizando los materiales para la investigación siguiendo los lineamientos de la norma INV E – 146 – 13 con el cual se planteará realizar el ensayo de compresión inconfinaada.
- ❖ Determinar la resistencia a compresión inconfinaada de un suelo virgen y un suelo con adición de cenizas de cascarilla de arroz aplicando cargas axiales siguiendo los lineamientos de la norma INV – E – 152 –13.
- ❖ Analizar y procesar los datos obtenidos en tablas, gráficos y fórmulas para así obtener los resultados.

#### 4. Marcos de Referencia

##### 4.1 Marco de Antecedentes

En el transcurso del tiempo se han desarrollado diversas investigaciones acerca de la estabilización de suelos con ceniza de cascarilla de arroz como las que se muestran a continuación:

Tema	Mejoramiento de un suelo blando de subrasante mediante la adición de cascarilla de arroz y su efecto en el módulo resiliente.
Autor	Escuela de Ingeniería de Antioquia. Iván Alberto Camaño Murillo
Año	2016
Resumen	“En la actualidad, la caracterización mecánica de los suelos de subrasante para los diseños de pavimentos está basados en el módulo resiliente”; este parámetro representa las condiciones elásticas del suelo cuando se encuentra en un estado dinámico derivado de las cargas repetidas a las que está sometido. En la presente investigación, se buscó lograr de manera experimental una mejora de las características físicas y de las propiedades geomecánicas de un suelo blando de subrasante mediante la adición de ceniza de cascarilla de arroz, con el fin de generar una capa de soporte más estable para la conformación de una estructura de pavimento, evaluando su comportamiento a través de ensayos de clasificación y de resistencia como parámetros índices del suelo. (Universidad Militar Nueva Granada, 2016, págs. 5-6).

Fuente: Autores.

##### 4.2 Marco Teórico

###### 4.2.1 Estabilización de suelos.

El objetivo del estudio de estabilización de materiales es el de mejorar las características físico mecánicas de los suelos naturales existentes a lo largo del

trazo de la vía que no cumplen como suelos de subrasante por su baja resistencia portante o su alta expansión, sobre la que se construirá el cuerpo de terraplén y el paquete estructural del pavimento. (Civilgeeks, 2016)

También como objetivo es darle al suelo natural la suficiente resistencia al desgaste y al esfuerzo cortante para resistir las cargas del tránsito bajo cualquier condición climática, sin que se produzcan deformaciones perjudiciales. Entonces no solo se trata de llegar a un estado de suelo con suficiente resistencia a la acción destructora y deformante de las cargas, sino también, asegurar la permanencia de este estado a través del tiempo. (Civilgeeks, 2016)

Con presencia de distintos agregados como lo es la cascarilla de arroz se ha encontrado que además de mitigar problemas medio ambientales utilizando la cascarilla desechada mejoran considerablemente las propiedades mecánicas en suelos. La ceniza de la cascarilla del arroz adicionada al asfalto produce mezclas de mayor calidad permitirá que parte del volumen de la cascarilla del arroz pueda ser empleado en la ingeniería de mejoramiento en sub-rasantes para el diseño de pavimentos como un insumo en lo cual ira a favor de la descontaminación ambiental. La cascarilla de arroz es un residuo agrícola que se considera un agente contaminante, por su forma común de eliminación, que consiste en la quema de la misma, produciendo gases tóxicos perjudiciales para la salud de las personas que los inhalan y para los demás seres vivos que habitan en el medio ambiente.

#### **4.2.2 Tipos de estabilizaciones de suelo.**

##### **4.2.2.1 *Estabilización mecánica.***

“Comprende la densificación del suelo logrado por procesos de compactación.”

(Civilgeeks, 2016)

#### **4.2.2.2 Estabilización física.**

Lo que se busca es una adecuada granulometría mediante el aporte de materiales cohesivos o granulares o ambos a la vez, al primitivo suelo. Para este proceso de estabilización se Utilizan Geotextiles (son telas permeables no biodegradables que pueden emplearse como filtros y para controlar la erosión de suelos y el transporte de lodos), Consolidación y mezclas de suelos. (Civilgeeks, 2016)

#### **4.2.2.3 Estabilización físico-química.**

“Se busca cambiar las propiedades del suelo por la adición de un agente estabilizante.”

(Civilgeeks, 2016)

#### **4.2.2.4 Estabilización química.**

Responde a la aplicación de productos químicos, los que generalmente son productos que poseen una “patente”, como:

- ❖ Cal: Económica para suelos arcillosos (disminuye plasticidad)
- ❖ Cemento Pórtland: para arenas o gravas finas (aumenta la resistencia)
- ❖ Productos asfálticos: Para material triturado sin cohesión (emulsión, muy usada)
- ❖ Cloruro de sodio y cloruro de calcio: Para arcillas y limos (impermeabilizan y disminuyen los polvos)
- ❖ Escorias de fundición: Comúnmente en carpetas asfálticas, dan mayor resistencia, impermeabilizan y prolongan la vida útil.
- ❖ Polímeros: Comúnmente en carpetas asfálticas, dan mayor resistencia, impermeabilizan y prolongan la vida útil.
- ❖ Hule de neumáticos: Comúnmente en carpetas asfálticas, dan mayor resistencia, impermeabilizan y prolongan la vida útil. (Civilgeeks, 2016)

### 4.2.3 Estabilizaciones más usadas.

❖ Compactación, geotextil, drenaje y estabilización granulométrica con cal, cemento y asfalto.

❖ El Geotextil se emplea como elementos de distribución de cargas en los pavimentos.

En los taludes y en los cortes, ayudan a proteger de la erosión. (Civilgeeks, 2016)

#### 4.2.3.1 Cascarilla de arroz.

La cascarilla de arroz es un desecho agro-industrial producido en altos volúmenes en zonas donde se siembra y procesa este cereal, este material se utiliza como fuente de silicio para obtener silicatos de calcio y en algunas ocasiones como refuerzo en un concreto. (Mario Alzate, 2015)

#### 4.2.3.2 Refinamiento de la ceniza de cascarilla de arroz.

Debido a que la cascarilla de arroz sin ningún tratamiento puede ocasionar problemas de fraguado y endurecimiento al aglomerante, es necesario tratarla para minimizar este problema. El método más empleado en la industria del concreto es la posterior calcinación de la cascarilla de arroz, que se da entre 500°C y 700°C (punto de fusión de la cascarilla), obteniendo así la ceniza de cascarilla de arroz CCA. (Mario Alzate, 2015)

### Cuadro 1. Componentes Químicos de la CCA.

Componente Químico	Ceniza de cascarilla de arroz
SiO <sub>2</sub>	91.2
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.94
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.37
CaO	2.15
MgO	0.88



Componente Químico	Ceniza de cascarilla de arroz
K <sub>2</sub> O	2.1

Fuente: (Mario Alzate, 2015)

#### **4.2.4 Características cementicias de la ceniza de cascarilla de arroz.**

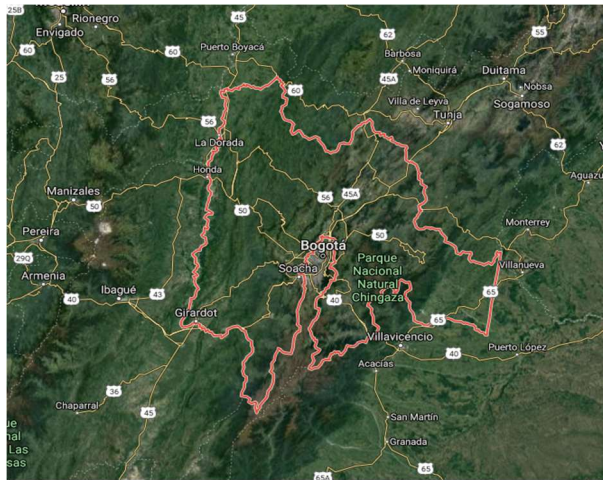
La ceniza de cascarilla de arroz es un material con escasas propiedades cementicias y actividad hidráulica por si sola, por su carácter puzolánico al estar en presencia de agua genera compuestos permanentemente insolubles y estables que se comportan como conglomerantes hidráulicos, dando propiedades cementantes a un conglomerante no hidráulico. La reactividad que posee esta puzolana es atribuida a la sílice activa que contiene, formando compuestos mineralógicos silícicos. (Mario Alzate, 2015)

#### **4.2.5 Aportes al concreto de la ceniza de cascarilla de arroz.**

El uso en la actualidad de adiciones que contengan dióxido de silicio ha ayudado a optimizar el proceso de formación de cristales cuando inicia la etapa del fraguado, uno de ellos es la puzolana que en nuestro país se encuentra de manera abundante ya que su origen proviene de procesos volcánicos. Se obtienen mayores resistencias a largo plazo, mejoras en la calidad de la pasta y hay disminución de la relación agua materiales cementicios. (Mario Alzate, 2015)

### **4.3 Marco Geografico**

La muestra de suelo fue extraída en el departamento de Cundinamarca (Figura 1) en el Barrio Villanpiss ubicado cerca a la vía Nariño en el municipio de Girardot (Figura 2)



*Figura 1. Localización departamento de Cundinamarca.*

Fuente: Google Maps



*Figura 2. Barrio Villanpiss.*

Fuente: Google Maps.

El material agroindustrial que se seleccionó para llevar a cabo el presente proyecto es la ceniza de cascarilla de arroz, este material se extrajo del municipio de Espinal (Figura 4) vía al este Km 2 en un centro industrial de insumos bodega arroz sonora (Figura 3).



*Figura 3. Bodega Arroz Sonora.*

Fuente: Google Maps.



*Figura 4. Localización de Espinal-Tolima.*

Fuente: Google Maps.

#### 4.4 Marco Institucional

- ❖ Reseña Histórica Uniminuto (Corporacion Universitaria Minuto de Dios)

La obra de El Minuto de Dios fue iniciada con el objetivo de promover el desarrollo integral de la persona humana y de las comunidades marginadas, tanto urbanas como rurales, y como expresión de un compromiso cristiano con los pobres, reconocidos como hijos de Dios y hermanos de los demás; también, como una exigencia de lucha solidaria por la justicia y un anhelo por lograr la igualdad y la paz. En El Minuto de Dios se entiende por desarrollo integral la promoción de todo el hombre y de todos los hombres y el paso, para cada uno y para todos, de condiciones de vida menos humanas a condiciones más humana (UNIVERSIDAD MINUTO DE DIOS, 2020)

“1958. El Padre Rafael García Herreros funda el Colegio Minuto de Dios para la formación de comunidades humanas y cristianas que permitan el desarrollo integral de la persona”. (UNIVERSIDAD MINUTO DE DIOS, 2020)

“31 de agosto de 1988. Se firma el acta de constitución de la Corporación Universitaria Minuto de Dios”. (UNIVERSIDAD MINUTO DE DIOS, 2020)

5 de septiembre de 1988. Se inicia el proyecto de la Corporación Universitaria Minuto de Dios. La Corporación El Minuto de Dios, el Centro Carismático Minuto de Dios y la Congregación de Jesús y María (Padres Eudistas) se unieron para fundar la institución. La existencia de una institución de educación superior en El Minuto de Dios estuvo siempre presente en la mente y en los planes del padre García-Herreros. (UNIVERSIDAD MINUTO DE DIOS, 2020)

El P. Mario Hormaza, eudista, y un equipo calificado de profesionales, preparó los lineamientos de la filosofía institucional, de los programas que se ofrecerían, de los estatutos y reglamentos, de la organización administrativa y financiera y llevó a cabo el

estudio de factibilidad de la nueva institución. Junio 27 de 1990, mediante acuerdo 062 el ICFES aprueba el estudio de factibilidad. (UNIVERSIDAD MINUTO DE DIOS, 2020)

1 de agosto de 1990. Mediante Resolución 10345 el Ministerio de Educación Nacional reconoce la personería jurídica a la Corporación Universitaria Minuto de Dios y aprueba sus estatutos, expedidos por el Consejo de Fundadores el 31 de agosto de 1989 y reformados por el Consejo Directivo provisional el 12 de febrero de 1990, siguiendo las recomendaciones dadas por el ICFES”. (UNIVERSIDAD MINUTO DE DIOS, 2020)

“Desde 1988, grupos de académicos trabajan en los programas de Ingeniería social, Licenciatura en Informática, Licenciatura en Filosofía, Licenciatura en Básica Primaria, Administración para el desarrollo social y Comunicación Social”. (UNIVERSIDAD MINUTO DE DIOS, 2020)

18 de septiembre de 1990 se realiza la primera reunión formal del Consejo de Fundadores, donde se nombra al P. Mario Hormaza como Rector de la institución. El Consejo de Fundadores asume provisionalmente las funciones del Consejo Superior y del Consejo Académico. Se solicitan al ICFES las licencias de funcionamiento para los seis programas académicos presentados y se establecen algunas políticas provisionales para el funcionamiento administrativo, financiero y académico. (UNIVERSIDAD MINUTO DE DIOS, 2020)

19 de julio de 1991. Mediante acuerdo 126, el ICFES concede licencia de funcionamiento a los tres programas de Licenciaturas de la Facultad de Educación. El 30 de julio, mediante Acuerdo 145, le concede licencia al programa de

Administración para el Desarrollo Social. (UNIVERSIDAD MINUTO DE DIOS, 2020)

Entre 1991 y 1993 el ICFES concede licencia de funcionamiento a los programas de Licenciatura en Informática, Licenciatura en Filosofía, Licenciatura en Básica Primaria –con énfasis en Estética–, Administración, Ingeniería Civil y Comunicación Social –Periodismo–. (UNIVERSIDAD MINUTO DE DIOS, 2020)

“El énfasis de estos programas es el desarrollo social concorde con la experiencia de la obra El Minuto de Dios para formar profesionales que difundieran su filosofía social en el país”. (UNIVERSIDAD MINUTO DE DIOS, 2020)

“De esta manera se concretan los largos años de experiencia de la obra El Minuto de Dios, apoyándose en los saberes que dicha obra había y estaba generando. UNIMINUTO inicia labores en enero de 1992 con 240 estudiantes”. (UNIVERSIDAD MINUTO DE DIOS, 2020)

“1992. La Corporación Universitaria Minuto de Dios inicia sus actividades educativas con algo más de 200 estudiantes”. (UNIVERSIDAD MINUTO DE DIOS, 2020)

“A fines de 1992 el ICFES concede la licencia de funcionamiento al programa de Ingeniería Civil (Acuerdo 233 del ICFES)”. (UNIVERSIDAD MINUTO DE DIOS, 2020)

“Febrero de 1995. Los miembros de las juntas directivas de las instituciones de la Organización Minuto de Dios se reúnen para iniciar un camino de planeación estratégica”. (UNIVERSIDAD MINUTO DE DIOS, 2020)

1997. El P. Camilo Bernal Hadad es nombrado Rector General de UNIMINUTO. Se propone como prioridad la planeación estratégica de UNIMINUTO para los años 1997-2001, la cual se desarrolla con intensidad en los años siguientes. Este

ejercicio consolida la institución en sus aspectos misionales, filosóficos, administrativos y académicos. (UNIVERSIDAD MINUTO DE DIOS, 2020)

“Se definen el Proyecto Educativo Universitario (PEU) y los PEF o Proyectos Educativos de Facultad (para los centros de gestión académicos) o Planes Estratégicos Funcionales (para los centros de gestión administrativos).”. (UNIVERSIDAD MINUTO DE DIOS, 2020)

#### **4.4.1 Visión Institucional.**

Para el año 2019, la Vicerrectoría General de Pastoral, será reconocida por generar en cada una de sus sedes y en toda la comunidad académica, auténticas vivencias espirituales, cimentadas en el Evangelio, anunciando permanentemente a Jesucristo con planes de formación, actividades de evangelización, misión y oración: forjando procesos de conversión, vida nueva y liderazgo, que encarnen la identidad Eudista y la renovación en el espíritu, generando una vocación clara de servicio y amor a los demás. (UNIVERSIDAD MINUTO DE DIOS , 2020)

#### **4.4.2 Misión Institucional.**

La Vicerrectoría General de Pastoral desde el Evangelio, la Espiritualidad Eudista y la Obra Minuto de Dios, promueve una cultura espiritual en el sistema UNIMINUTO, a fin de contribuir a la formación integral de la comunidad educativa, ofreciendo así al país, profesionales éticamente responsables, buscadores incansables de la verdad, abiertos a la trascendencia, y comprometidos socialmente. (UNIVERSIDAD MINUTO DE DIOS , 2020)

### 5. Diseño Metodológico

La presente investigación es de carácter mixto con un enfoque cualitativo y cuantitativo se divide en una serie de fases, las cuales cumplen con los objetivos del proyecto y los lineamientos técnicos de la norma INVA-2013, este proyecto tiene la siguiente metodología:

#### **Fase 1: Extracción y almacenamiento de la muestra de suelo.**

En la presente fase se estipulo la localización y la extracción de la muestra alterada de suelo, para ello se realizaron actividades técnicas de excavación con dimensiones de 1.00 m x 1.00 m



*Figura 5. Extracción de la muestra.*

Fuente: Autoria propia

La ceniza de cascarilla de arroz tipo blanco fue adquirida en el municipio de Espinal en el departamento del Tolima para luego ser incinerada en un recipiente metálico a altas temperaturas.

La figura siguiente muestra el proceso de incineración de la CCA.





*Figura 6. Extracción y proceso de incineración de la CCA.*

Fuente: <https://portal.andina.pe/EDPfotografia2/Thumbnail/2010/02/04/000117901W.jpg>

### **Fase 2: Determinar las características físicas de la muestra de suelo.**

En la presente fase se llevaron a cabo los estudios experimentales por medio de ensayos de laboratorio, cada ensayo se caracterizó por seguir las especificaciones técnicas del manual de INVA.2013. Los ensayos realizados se describen a continuación:

❖ **Ensayo de granulometría Norma INV E-123-13.**

El objetivo del presente ensayo es determinar cuantitativamente la distribución de tamaños de partículas de suelo (Instituto Nacional de Vías, 2013), se seleccionó una muestra de suelo de 3000 gr de peso seguido a esto la llevamos al respectivo tamizado seleccionado como se muestra en la Figura siguiente, luego tomamos el peso de la muestra que se retuvo en cada uno de los tamices.

Luego de realizar el proceso de tamizado se lleva a cabo la tabulación de resultados la cual está representada en el capítulo del presente proyecto “Análisis de resultados”.



*Figura 7. Tamices ensayo de granulometría.*

Fuente: Autores.

❖ **Determinación del límite líquido de los suelos INV E – 125 – 13**

Los límites líquido y plástico de un suelo, junto con su contenido de agua, se usan para calcular su consistencia relativa o índice de liquidez. Además, el índice de plasticidad, junto con el porcentaje de partículas menores de  $2\ \mu\text{m}$ , brinda una idea aceptable de la actividad de la fracción fina de un suelo. (Instituto Nacional de Vías, 2013).

Se somete la muestra de suelo a la vasija de evaporación y se mezcla en su totalidad con 15 a 20 ml de agua destilada, agitándola, amasándola y tajándola con una espátula en forma alternada y repetida para luego ser golpeada en la cuchara de Casagrande con una ranura en el centro de la muestra con determinados golpes como se muestra en la Figura siguiente. (Instituto Nacional de Vías, 2013)



*Figura 8. Ensayo límite líquido, cuchara de Casagrande.*

Fuente: Autores.

❖ Límite plástico e índice de plasticidad de los suelos INV E – 126 – 13

El presente ensayo nos permite determinar el contenido más bajo de agua de un suelo en el cual el suelo permanece en estado plástico, se denomina límite plástico a la humedad más baja con la cual pueden formarse rollos de suelo de unos 3 mm (1/8”) de diámetro, rodando dicho suelo entre la palma de la mano y una superficie lisa, sin que dichos rollos se desmoronen.

Se toma la muestra de suelo con su correspondiente porcentaje de agua en porciones de 1.5 a 2.0 gr de la masa, se forma una figura elipsoidal con la muestra, se rueda la masa de suelo entre palma y palma de la mano formando rollitos de 3mm de diámetro hasta que estos presenten fisuras como se muestra en la Figura siguiente. (Instituto Nacional de Vias, 2013)



*Figura 9. Ensayo Limite Plástico, rollo de 3mm en su límite plástico.*

Fuente: Autores.

Una vez realizado el procedimiento técnico y seguido los lineamientos de la norma se procede a tabular los datos teniendo en cuenta los anexos del documento guía el cual se encuentra en el presente proyecto en el capítulo “Análisis de resultados”.

❖ Ensayo de compactación proctor INV E – 142 – 13

Se toma una muestra de suelo virgen a una profundidad de 1,5 metros, si la muestra de suelo esta húmeda procedemos a secarla a medio ambiente o la secamos en el horno a una temperatura menor de 60°C para que no afecte las características del material. (Instituto Nacional de Vías, 2013).

“Después de que la muestra esta seca lo tamizamos por el tamiz de 19 mm (3/4”), ahora lo dividimos en 4 porciones, quedando en 4 taras de 6 kg cada una”. (Instituto Nacional de Vías, 2013)

La primera muestra de 6 kg le agregamos el 3% de humedad, a la segunda muestra le agregamos el 6% de humedad, a la tercera muestra le agregamos 9% de humedad y a la cuarta muestra le agregamos el 12% de humedad. (Instituto Nacional de Vías, 2013).

Luego de que estén bien mezcladas las muestras con el agua, tomamos la primera muestra con el 3% de humedad y la dividimos en 5 porciones aproximadamente iguales; tomamos una porción y la introducimos en el molde de compactación Proctor con el collar ajustado para ser compactarla con 56 golpes uniformemente distribuidos por el martillo de compactación Proctor de operación manual como se muestra en la Figura siguiente y así sucesivamente hasta compactar la quinta capa con los 56 golpes. (Instituto Nacional de Vías, 2013)



*Figura 10. Ensayo Proctor, compactación de muestra de suelo en molde.*

Fuente: [cuvadelingenerocivil.com](http://cuvadelingenerocivil.com)

❖ Ensayo de compresión inconfiada de suelos INV E 152 – 07

Se vierte esta mezcla por capas en los moldes de PVC amarrados con las abrazaderas como se muestra en la Figura siguiente, para luego ser compactadas por el apisonador manual y realizando una escarificación antes de verter la capa siguiente. (Instituto Nacional de Vías, 2013)

Se extrae la muestra, se determina su peso, longitud y diámetro para luego ser colocada en el centro del aparato de compresión y se ajusta cuidadosamente de tal modo que la platina superior haga contacto en su totalidad con la superficie de la muestra. (Instituto Nacional de Vías, 2013)



*Figura 11. Molde + testigo fallado.*

Fuente: Autores.

Luego se aplica la carga para que se produzca una deformación axial a una velocidad de 0,5 a 2,5% por minuto; se toman los valores de carga, deformación y tiempo.

## 6. Análisis de resultados

### 6.1 Ensayo Granulométrico del material

Los resultados obtenidos del ensayo de granulometría que se evidencian en el Cuadro 4 de la muestra seleccionado nos muestra que es un suelo tipo fino.

**Cuadro 2. Resultados del ensayo de granulometría del material.**

No. TAMIZ	DIAMETRO (mm)	MASA DE SUELO	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
3"	75	0	0	0	100
2 - 1/2"	63	0	0	0	100
2"	53	0	0	0	100
1 - 1/2"	37,5	0	0	0	100
1"	25,4	0	0	0	100
3/4"	19	0	0	0	100
1/2"	12,5	0	0	0	100
3/8"	9,5	0	0	0	100
1/4"	6,3	0	0	0	100
No. 4	4,75	21,31	0,71	0,71	99,29
No. 10	2	47,52	1,58	2,29	97,71
No. 16	1,19	70,1	2,34	4,63	95,37
No. 30	0,6	220,35	7,35	11,98	88,02
No. 50	0,3	21,17	0,71	12,68	87,32
No. 80	0,177	109,89	3,66	16,34	83,66
No. 100	0,15	5,65	0,19	16,53	83,47
No. 200	0,075	10,26	0,34	16,88	83,13
FONDO	0	2385	79,5	96,38	3,63
TOTAL		3000		100	

% Gravas	0,7
% Arenas	16,2
% Finos	83,1

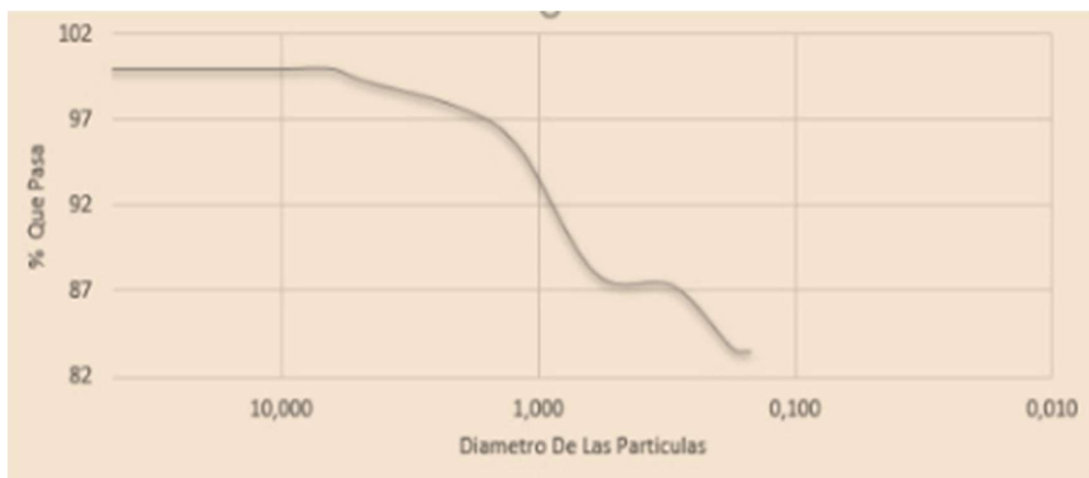
Fuente: Autoría propia.

Realizando el respectivo análisis de resultados podemos graficar y obtener cierta información como la siguiente; el peso total de la muestra (3000 gr) es igual a la sumatoria de los pesos que quedaron retenidos por cada tamiz, se procedió a realizar la clasificación del material

en porcentajes de gravas arenas y finos que componen la muestra analizada y se obtuvo como resultado que el material está comprendido por 0,7% de gravas, 16,2% de arena y 83,1% de finos para un total del 100% de la muestra analizada;

A continuación, la Gráfica 1 muestra la relación diámetro de partículas vs el porcentaje que pasa.

Según los resultados obtenidos del ensayo se concluye que el porcentaje que pasa del tamiz #4 es del 99,29% y que el porcentaje que pasa el tamiz #200 es del 83,13% concluyendo de esta manera que el suelo es de tipo fino con una sola nomenclatura, la cual será definida y clasificada por la carta de plasticidad en la gráfica siguiente.



*Gráfica 1. Curva granulométrica del material.*

Fuente: Autoría propia.



## 6.2 Norma I.N.V. E –142-13 relaciones humedad – peso unitario seco en los suelos (ensayo modificado de compactación)

### 6.2.1 Proctor modificado del suelo virgen.

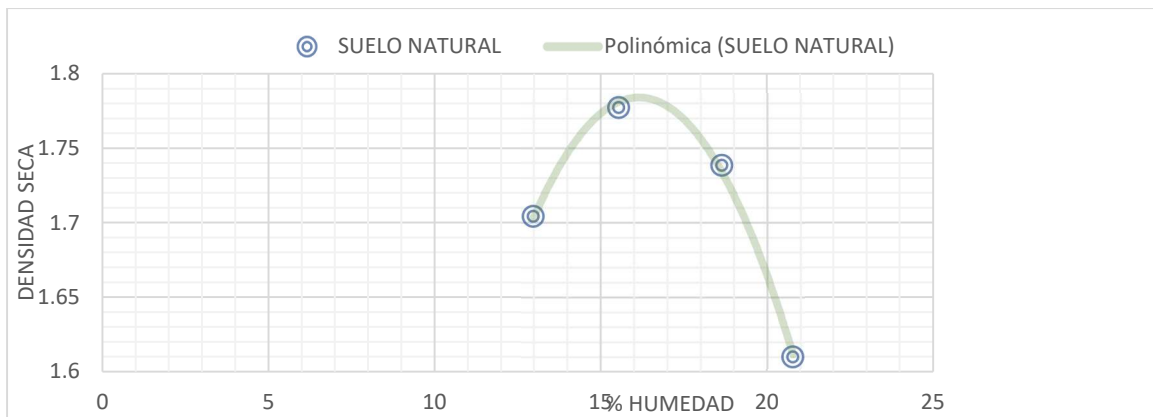
Como se puede observar en el cuadro siguiente, en el material modificado la humedad de 22.58%, 20.77%, 18.64%, 15.56%, 12.99% tienen una densidad de 1.60, 1.61, 1.74, 1.78, 1.70 correspondientemente.

**Cuadro 3. Datos y resultado del Proctor modificado para suelo virgen.**

PORCENTAJE DE AGUA USADA	SECO	3%	6%	9%	12%
Volumen cm <sup>3</sup>	2119,5	2119,5	2119,5	2119,5	2119,5
Peso del molde	3048	3048	3048	3048	3048
Peso del molde +suelo	7216	7169	7419	7400	7129
Peso del suelo humedo	4168	4121	4371	4352	4081
<b>Humedad</b>					
Peso del suelo+recipiente HUMEDO	50	77	50	59	55
Peso del recipiente	17	13,05	18,18	14,43	11,51
Peso del suelo seco+recipiente	48	66	45	53	50
Peso del suelo seco	31	52,95	26,82	38,57	38,49
Peso del agua	7	11	5	6	5
Humedad	22,581	20,77432	18,6428	15,55613	12,99039
Peso del suelo seco	3400,2	3412,149	3684,168	3766,135	3611,812
Densidad	1,6043	1,609884	1,738225	1,776898	1,704087

Fuente: Autoría propia.

Realizando el respectivo análisis de la gráfica 2, se puede evidenciar una humedad optima del 16.25% con una respectiva densidad máxima de 1.78.



*Gráfica 2. Densidad vs % humedad suelo virgen.*

Fuente: Autoría propia.

### **6.2.2 Proctor modificado del suelo modificado.**

Como se puede observar En el cuadro siguiente se muestran los datos obtenidos después de realizado el ensayo Proctor con adición de cenizas de cascarilla de arroz.

**Cuadro 4. Datos y resultados del Proctor modificado para suelo modificado.**

PORCENTAJE DE AGUA USADA	3%	6%	9%	12%
Volumen cm <sup>3</sup>	2119,5	2119,5	2119,5	2119,5
Peso del molde gr	3048	3048	3048	3048
Peso del molde +suelo gr	6920	6959	7088	7278
Peso del suelo humedo gr	4075	3911	4040	4230
<b>Humedad</b>				
Peso del suelo+recipiente humedo	60	46	59	56
Peso del recipiente	11	12	14	11
Peso del suelo seco+recipiente	52,34	43,28	54,74	48,67
Peso del suelo seco	41,34	31,28	40,74	37,67
Peso del agua	7,66	2,72	4,26	7,33
PESO %	1,9	0,9	1,0	1,9
<b>Humedad</b>	18,5292695	8,69565217	10,4565538	19,458455
Peso del suelo seco	3690,5858	3598,12	3657,54667	3540,98
Densidad seca	1,7148818	1,6976268	1,72566486	1,67066761

En el material modificado la humedad de 18.53%, 8.70%, 10.46%, 19.46% tienen una densidad de 1.72, 1.70, 1.73, 1.67 correspondientemente.

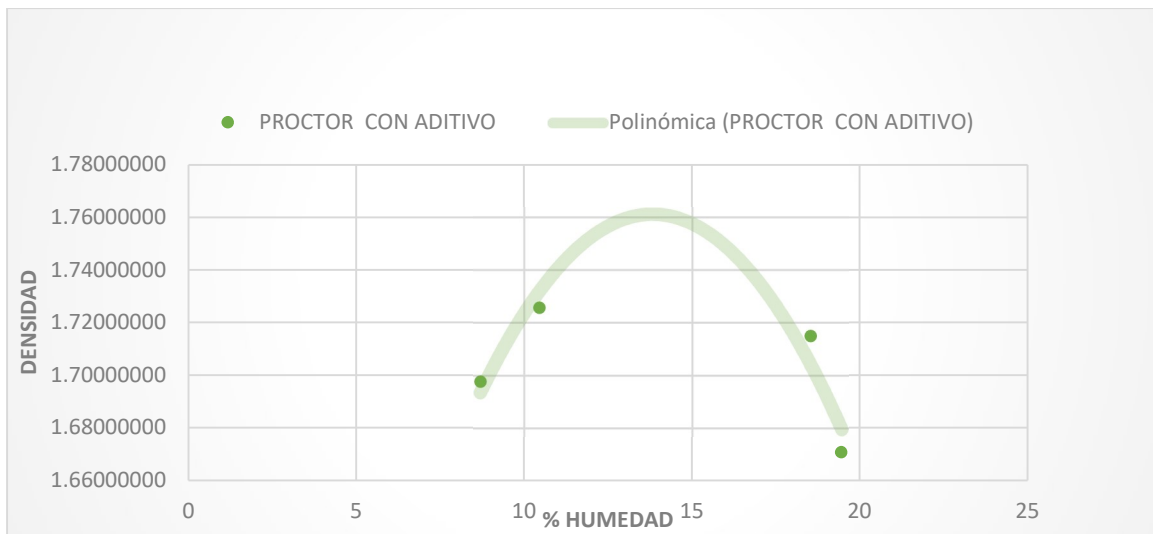
En el cuadro siguiente se muestran los datos obtenidos después de realizado el ensayo Proctor con adición de cenizas de cascarilla de arroz.

**Cuadro 4. Datos y resultados del Proctor modificado para suelo modificado.**

PORCENTAJE DE AGUA USADA	3%	6%	9%	12%
Volumen cm <sup>3</sup>	2119,5	2119,5	2119,5	2119,5
Peso del molde gr	3048	3048	3048	3048
Peso del molde +suelo gr	6920	6959	7088	7278
Peso del suelo humedo gr	4075	3911	4040	4230
<b>Humedad</b>				
Peso del suelo+recipiente humedo	60	46	59	56
Peso del recipiente	11	12	14	11
Peso del suelo seco+recipiente	52,34	43,28	54,74	48,67
Peso del suelo seco	41,34	31,28	40,74	37,67
Peso del agua	7,66	2,72	4,26	7,33
PESO %	1,9	0,9	1,0	1,9
<b>Humedad</b>	<b>18,5292695</b>	<b>8,69565217</b>	<b>10,4565538</b>	<b>19,458455</b>
Peso del suelo seco	3690,5858	3598,12	3657,54667	3540,98
Densidad seca	1,7148818	1,6976268	1,72566486	1,67066761

Fuente: Autoría propia.

Realizando el respectivo análisis de la gráfica siguiente podemos evidenciar una humedad optima del 11.80% con una respectiva densidad máxima de 1.76.



Gráfica 3. Densidad vs % humedad suelo modificado.

Fuente: Autoría propia

### 6.2.3 Comparación de resultados del Proctor modificado.

El cuadro siguiente muestra la relación del Proctor, densidad vs porcentaje de humedad.

Deja en evidencia una diferencia de densidad y humedad entre la muestra virgen y la muestra con adición de ceniza de cascarilla de arroz (15%).

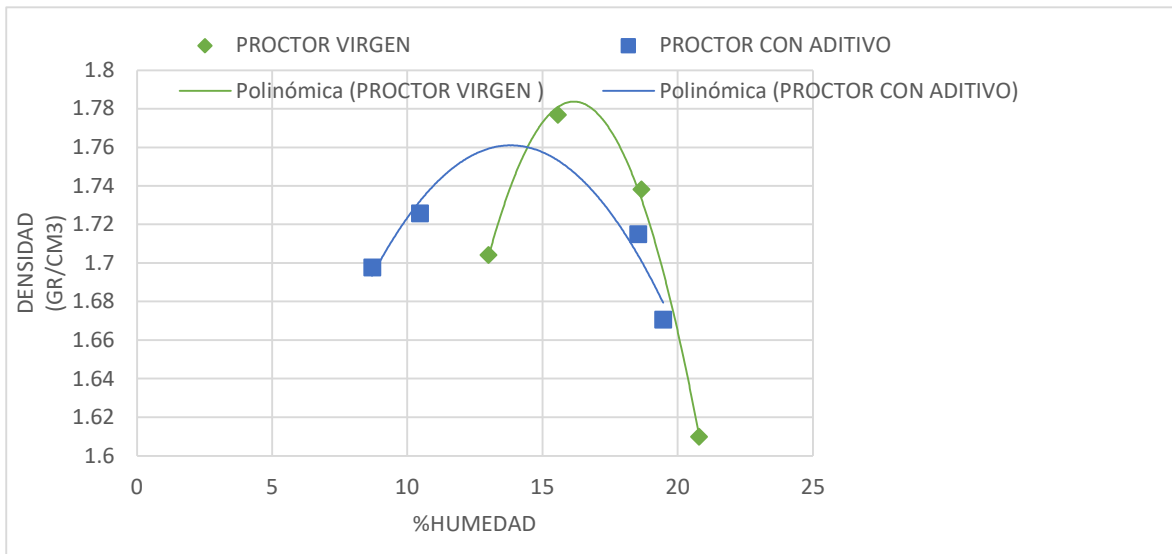
#### Cuadro 5. Comparativo de los resultados del Proctor modificado

Proctor Virgen		Proctor Con Aditivo	
Densidad	% Humedad	Densidad	% Humedad
1,60988409	20,7743154	1,69762680	8,69565217
1,73822497	18,6428039	1,72566486	10,4565538
1,77689789	15,5561317	1,7148818	18,5292695
1,70408666	12,9903871	1,67066761	19,458455

Fuente: Autoría propia

Según la gráfica siguiente se presenta una diferencia de 0.02 k/cm<sup>3</sup> de densidad, evidenciando una disminución de la densidad máxima del material al momento de añadir la

ceniza de cascarilla de arroz, además de esto también se encuentra una disminución de la humedad óptima con respecto al suelo virgen.



*Gráfica 4. Análisis comparativo de los resultados del Proctor modificado.*

Fuente: Autoría propia

### 6.3 Norma I.N.V. E – 125 – 13 Determinación del límite líquido de los suelos

Realizado el ensayo de límite líquido y límite plástico, obtuvimos los datos necesarios para poder graficar la carta de plasticidad como se muestra en la cuadro siguiente, donde se determinó que el tipo de suelo es una arcilla de alta plasticidad; a continuación, se observan los datos en los cuadros 8 y 9.

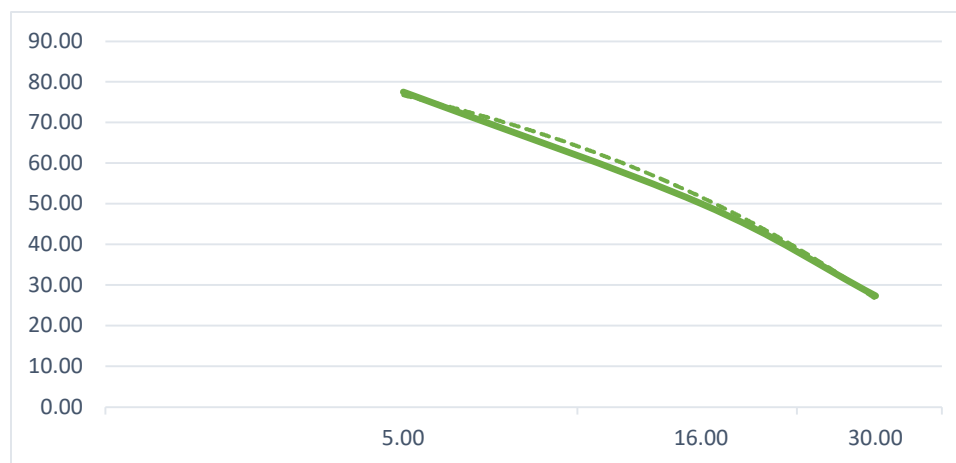
**Cuadro 6. Límite líquido suelo virgen.**

DESCRIPCION	LÍMITE LÍQUIDO		
	1	2	3
No. De En sayo	1	2	3
Peso de Recipiente	12,91	14	12
Peso de Muestra	100	100	100
Peso de recipiente + Muestra Humeda	23,9	22,6	18
Peso de recipiente + Muestra Seca	19,1	19,73	16,71
Peso del Agua	4,8	2,87	1,29
Peso de Muestra Seca	6,19	5,73	4,71
Contenido de Humedad	77,54442649	50,08726	27,38854
No. De Golpes	5	16	30
Promedio de humedad	51,67340719		

LÍMITE LÍQUIDO	51,67
----------------	-------

Fuente: Autoría propia

Según el ensayo de límite líquido el material se comportó de la siguiente manera se plasma en la Gráfica siguiente.



*Gráfica 5. Límite líquido suelo virgen.*

Fuente: Autoría propia.

En el Cuadro siguiente se muestran los datos obtenidos del ensayo límite plástico e índice de plasticidad de un suelo virgen

**Cuadro 7. Limite plástico e índice de plasticidad suelo modificado.**

DESCRIPCION	LÍMITE PLÁSTICO	
	1	2
No. De En sayo	1	2
Peso de Recipiente	7,08	5,94
Peso de Muestra	100	100
Peso de recipiente + Muestra Humeda	10,11	7,54
Peso de recipiente + Muestra Seca	9,37	7,23
Peso del Agua	0,74	0,31
Peso de Muestra Seca	2,29	1,29
Contenido de Humedad	32,3144105	24,0310078
No. De Golpes		
Promedio de humedad	28,17270912	

<b>LÍMITE PLÁSTICO</b>	<b>28,17</b>
------------------------	--------------

Fuente: Autoría propia.

Realizado el ensayo de límite líquido y límite plástico de un suelo con adición de cenizas de cascarilla de arroz, obtuvimos los datos necesarios para poder graficar la carta de plasticidad como se muestra en la cuadro siguiente, donde se determinó que el tipo de suelo es una arcillad de alta plasticidad; a continuación, se observan los datos en los dos cuadros siguientes.

**Cuadro 8. Limite liquido suelo modificado.**

DESCRIPCION	LÍMITE LÍQUIDO+ aditivo		
	1	2	3
No. De En sayo	1	2	3
Peso de Recipiente	16,16	11,24	12,54
Peso de Muestra	100	100	100
Peso de recipiente + Muestra Humeda	21,91	16,98	20,12
Peso de recipiente + Muestra Seca	19,19	14,9	18,18
Peso del Agua	2,72	2,08	1,94
Peso de Muestra Seca	3,03	3,66	5,64
Contenido de Humedad	89,7689769	56,8306	34,39716
No. De Golpes	10	25	33
Promedio de humedad	60,33224704		

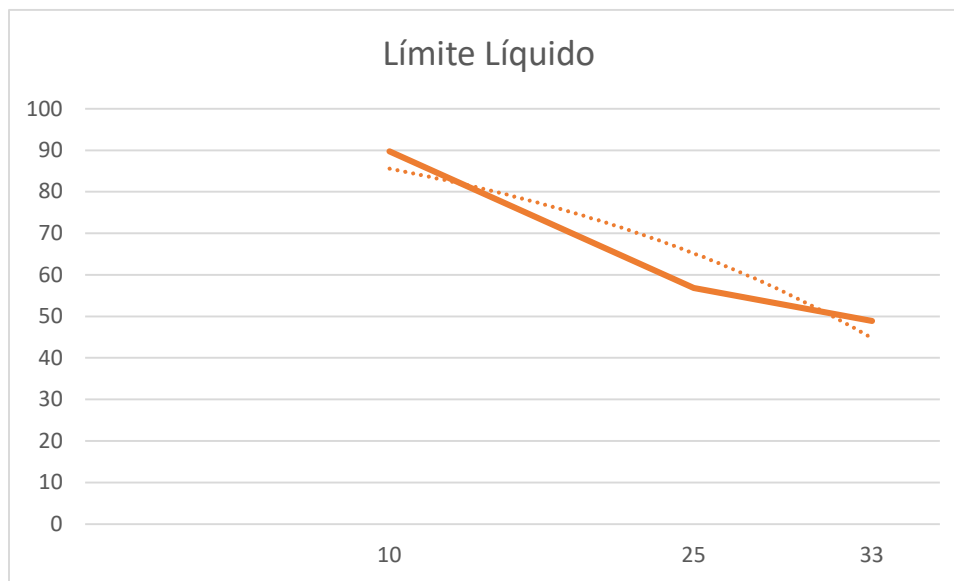
Límite Líquido

60,3322



Fuente: Autoría propia

Según el ensayo de límite líquido el material se comportó de la siguiente manera se plasma en la gráfica siguiente.



Gráfica 6. Límite líquido suelo modificado.

Fuente: Autoría propia.

En el Cuadro siguiente se muestran los datos obtenidos del ensayo límite plástico e índice de plasticidad de un suelo con adición de cenizas de cascarilla de arroz.

**Cuadro 9. Límite plástico e índice de plasticidad suelo modificado.**

Descripción	Límite Plástico+ Aditivo	
	1	2
No. De En sayo	1	2
Peso de Recipiente	14.45	9.95
Peso de Muestra	100	100
Peso de recipiente + Muestra Húmeda	16.68	11.19
Peso de recipiente + Muestra Seca	16.4	10.93

Descripcion	Límite Plástico+ Aditivo	
Peso del Agua	0.28	0.26
Peso de Muestra Seca	1.95	0.98
Contenido de Humedad	14.35897436	26.5306122
Promedio de humedad	20.4447933	
Límite Plástico	20	

Fuente: Autoría propia.

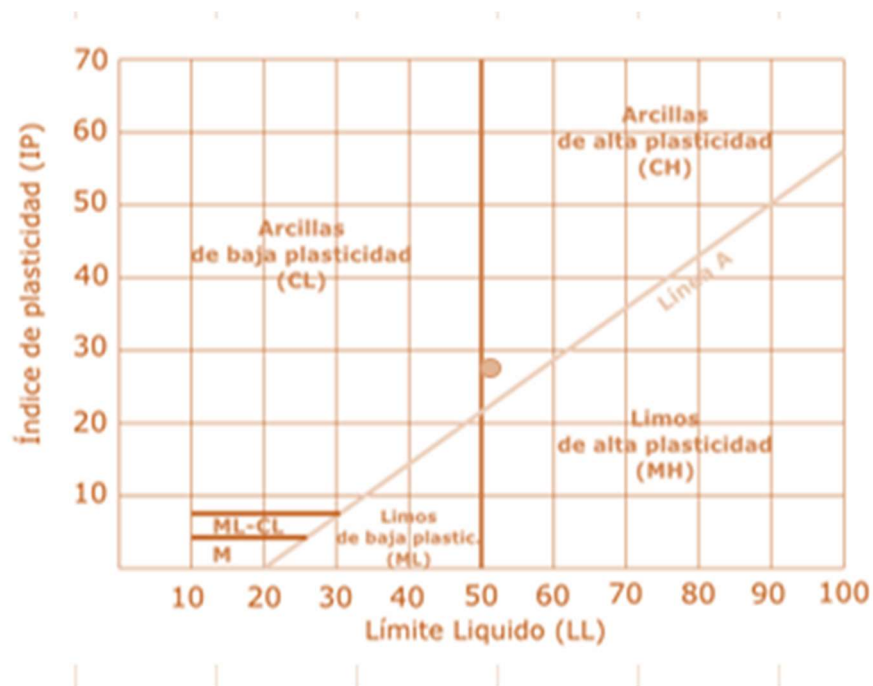
#### 6.4 Norma I.N.V. E – 126 – 13 Límite plástico e índice de plasticidad de los suelos

El cuadro siguiente presenta el resumen del límite líquido plástico e índice de plasticidad las variables para realizarse respectiva carta de plasticidad.

**Cuadro 10. Resultados del límite líquido, limite plástico e índice de plasticidad suelo virgen.**

Límite Líquido	51,6734072
Límite Plástico	28,17
Indice Plasticidad	23,50

Fuente: Autoría propia.



Gráfica 7. Carta de plasticidad suelo virgen

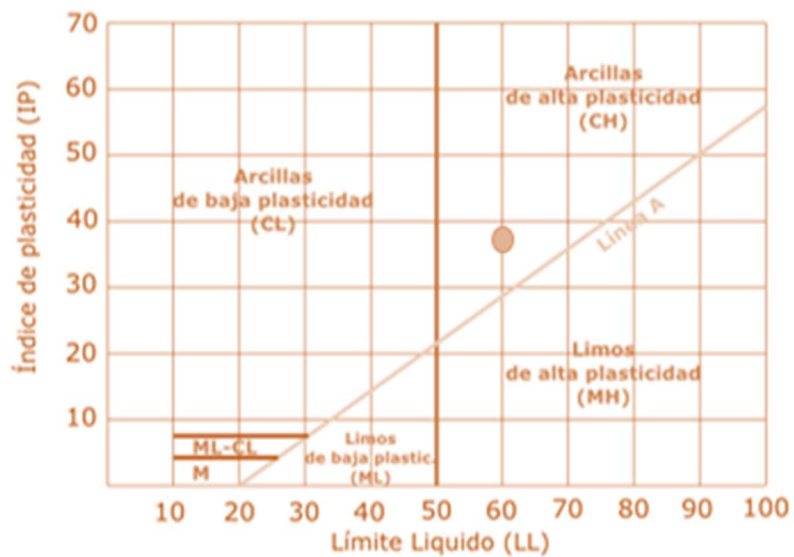
Fuente: Autoría propia.

El Cuadro siguiente presenta el resumen del límite líquido plástico e índice de plasticidad las variables para realizarse respectiva carta de plasticidad.

**Cuadro 11. Resultados del límite líquido, limite plástico e índice de plasticidad suelo modificado.**

Límite Líquido	60,332247
Límite Plástico	20,44
Indice Plasticidad	39,89

Fuente: Autoría propia.



Gráfica 8. Carta de plasticidad suelo modificado.

Fuente: Autoría propia.

Es posible realizar una comparación de los límites de Atterberg (Líquido y Plástico) de ambos tipos de materia, lo cuales difieren en un 8% en el límite líquido y un 8% en el límite plástico, Siendo la muestra virgen más plástica y menos líquida que la alterada con la ceniza de cascarilla de arroz, no obstante, ambos permanecen en el mismo cuadrante dentro de la carta de plasticidad (CH - OH).

## 6.5 Norma I.N.V. E – 152 - 13 Compresión inconfiada en muestras de suelos

❖ 24 golpes suelo natural:

En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se puede ver que la máxima resistencia al corte que es de 0,00976 (kg/ cm<sup>2</sup>) con un suelo natural con una compactación de 24 golpes por capa y con una humedad optima del 16.25%.



*Gráfica 9. Curva de presión inconfiada 24 golpes suelo virgen.*

Fuente: Autoría propia.

En el ensayo de compresión inconfiada de la muestra de suelo modificada con cenizas de cascarilla de arroz, con una compactación de 24 golpes obtuvimos los datos necesarios para poder graficar la curva de compresión inconfiada como se muestra en el Cuadro 20.

**Cuadro 12. Datos y resultado del ensayo de presión inconfiada 24 golpes suelo modificado.**

MODIFICADO								
No	24 GOLPES		DENSIDAD H		DESIDAD SECA			
MUESTRA	4		D INICIAL	5,38		AREA	24,5	
LONGITUD	10,5		PESO	538 gr		VOLUMEN	261,245	
LECTURA DE DIAL (IN)	PENETRACION ( Cm )	DEFORMACION ( Cm )	LECTURA CARGA ( Kg )	DEFORMACION UNITARIA	FACTOR DE CORRECCION	AREA CORREGIDA ( Cm <sup>2</sup> )	ESFUERZO DESVIADOR ( Kg/Cm <sup>2</sup> )	RESISTENCIA AL CORTE ( Kg/Cm <sup>2</sup> )
0,00000	0	10,5	0	0	1	24,5	0	0
0,01900	0,04826	10,45174	0,068	0,00459619	0,99540381	24,61312662	0,002762753	0,001381377
0,04350	0,11049	10,38951	0,1085	0,010522857	0,989477143	24,76055175	0,00438197	0,002190985
0,06550	0,16637	10,33363	0,1445	0,015844762	0,984155238	24,89444658	0,005804507	0,002902254
0,08950	0,22733	10,27267	0,1825	0,021650476	0,978349524	25,04217501	0,007287706	0,003643853
0,11800	0,29972	10,20028	0,221	0,028544762	0,971455238	25,21989592	0,008762923	0,004381461
0,13900	0,35306	10,14694	0,2465	0,033624762	0,966375238	25,35247079	0,009722918	0,004861459
0,16050	0,40767	10,09233	0,273	0,038825714	0,961174286	25,48965402	0,010710228	0,005355114
0,18350	0,46609	10,03391	0,2905	0,044389524	0,955610476	25,63806133	0,01133081	0,005665405
0,20000	0,508	9,992	0,3015	0,048380952	0,951619048	25,74559648	0,011710741	0,00585537
0,21700	0,55118	9,94882	0,3195	0,052493333	0,947506667	25,85733786	0,01235626	0,00617813
0,23600	0,59944	9,90056	0,3445	0,057089524	0,942910476	25,98337872	0,013258476	0,006629238
0,25370	0,644398	9,855602	0,3635	0,061371238	0,938628762	26,10190631	0,013926186	0,006963093
0,27300	0,69342	9,80658	0,3795	0,06604	0,93396	26,23238683	0,01446685	0,007233425
0,28850	0,73279	9,76721	0,3945	0,069789524	0,930210476	26,33812522	0,014978287	0,007489144
0,30600	0,77724	9,72276	0,41	0,074022857	0,925977143	26,45853646	0,015495944	0,007747972
0,32600	0,82804	9,67196	0,418	0,078860952	0,921139048	26,59750454	0,01571576	0,00785788
0,34700	0,88138	9,61862	0,4305	0,083940952	0,916059048	26,74500084	0,016096466	0,008048233
0,36700	0,93218	9,56782	0,434	0,088779048	0,911220952	26,88700247	0,016141628	0,008070814
0,38700	0,98298	9,51702	0,426	0,093617143	0,906382857	27,03052006	0,015759963	0,007879982
0,47500	1,2065	9,2935	0,42	0,114904762	0,885095238	27,680637	0,015173061	0,007586531
0,48620	1,234948	9,265052	0,418	0,117614095	0,882385905	27,76562938	0,015054584	0,007527292

Fuente: Autoría propia.

En el Cuadro siguiente se muestran los datos para poder obtener y analizar las curvas de compresión inconfiada del suelo modificado con cenizas de cascarilla de arroz con una compactación de 24 golpes donde su eje X corresponde al esfuerzo desviador y su eje Y corresponde a la deformación.

**Cuadro 13. Datos grafico de presión inconfiada 24 golpes suelo modificado.**

x	y
0	0
0,002762753	0,04826
0,00438197	0,11049
0,005804507	0,16637
0,007287706	0,22733
0,008762923	0,29972
0,009722918	0,35306
0,010710228	0,40767
0,01133081	0,46609
0,011710741	0,508
0,01235626	0,55118
0,013258476	0,59944
0,013926186	0,644398
0,01446685	0,69342
0,014978287	0,73279
0,015495944	0,77724
0,01571576	0,82804
0,016096466	0,88138
0,016141628	0,93218
0,015759963	0,98298
0,015173061	1,2065
0,015054584	1,234948

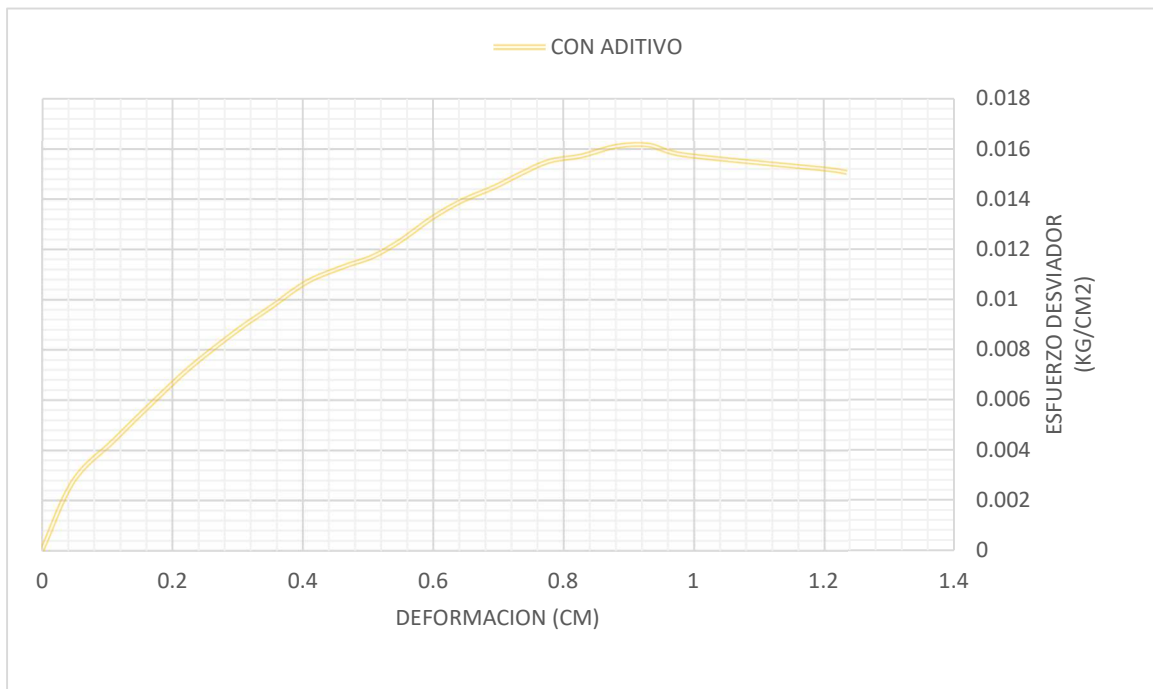
Fuente: Autoría propia.

Esfuerzo desviador: eje X

Deformación: eje y

- ❖ 24 golpes con aditivo de ceniza de cascarilla de arroz (15%):

En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** siguiente podemos ver que la máxima resistencia al corte que es de 0,008071 (kg/ cm<sup>2</sup>) con un suelo modificado, con una compactación de 24 golpes por capa y con una humedad óptima del 13.80%.



Gráfica 10. Curva de presión inconfiada 24 golpes suelo modificado.

Fuente: Autoría propia.

- ❖ 56 golpes

En el ensayo de compresión inconfiada de la muestra de suelo virgen con una compactación de 56 golpes obtuvimos los datos necesarios para poder graficar la curva de compresión inconfiada como se muestra en el Cuadro siguiente.



**Cuadro 14. Datos y resultado del ensayo de presión inconfiada 56 golpes suelo**

virgen.

SUELO VIRGEN								
No	56 GOLPES		DENSIDAD H		DESIDAD SECA			
MUESTRA	5		D INICIAL	5,38		AREA	24,5	
LONGITUD	10,8		PESO	538 gr		VOLUMEN	261,245	
LECTURA DIAL (IN)	PENETRACION ( Cm )	DEFORMACION ( Cm )	LECTURA CARGA ( Kg )	DEFORMACION UNITARIA €	FACTOR DE CORRECCION ( 1-€ )	AREA CORREGIDA ( Cm2 )	ESFUERZO DESVIADOR ( Kg/Cm2 )	RESISTENCIA AL CORTE ( KG/Cm2 )
0,0000	0	10,8	0	0	1	24,5	0	0
0,01300	0,03302	10,76698	0,096	0,003057407	0,996942593	24,5751362	0,003906387	0,001953194
0,03050	0,07747	10,72253	0,1575	0,007173148	0,992826852	24,67701186	0,006382458	0,003191229
0,04850	0,12319	10,67681	0,2125	0,011406481	0,988593519	24,78268322	0,008574536	0,004287268
0,06500	0,1651	10,6349	0,273	0,015287037	0,984712963	24,88034678	0,010972516	0,005486258
0,08350	0,21209	10,58791	0,3285	0,019637963	0,980362037	24,99076777	0,013144854	0,006572427
0,10100	0,25654	10,54346	0,373	0,023753704	0,976246296	25,09612594	0,014862852	0,007431426
0,11800	0,29972	10,50028	0,423	0,027751852	0,972248148	25,19932802	0,016786162	0,008393081
0,13350	0,33909	10,46091	0,465	0,031397222	0,968602778	25,29416657	0,018383685	0,009191843
0,14900	0,37846	10,42154	0,509	0,035042593	0,964957407	25,38972167	0,020047482	0,010023741
0,16600	0,42164	10,37836	0,5309	0,039040741	0,960959259	25,49535765	0,020823399	0,010411699
0,18700	0,47498	10,32502	0,595	0,04397963	0,95602037	25,627069	0,023217638	0,011608819
0,20650	0,52451	10,27549	0,637	0,048565741	0,951434259	25,75059681	0,024737291	0,012368645
0,22950	0,58293	10,21707	0,6545	0,053975	0,946025	25,89783568	0,025272382	0,012636191
0,25250	0,64135	10,15865	0,626	0,059384259	0,940615741	26,04676803	0,024033692	0,012016846
0,27000	0,6858	10,1142	0,611	0,0635	0,9365	26,16123865	0,023355163	0,011677582
0,29000	0,7366	10,0634	0,5915	0,068203704	0,931796296	26,29330047	0,022496225	0,011248112

Fuente: Autoría propia.

En el Cuadro siguiente se muestran los datos para poder obtener y analizar las curvas de compresión inconfiada del suelo virgen con una compactación de 56 golpes donde su eje X corresponde al esfuerzo desviador y su eje Y corresponde a la deformación.

**Cuadro 15. Datos grafico de presión inconfiada 56 golpes suelo virgen.**

x	y
0	0
0,003906387	0,03302
0,006382458	0,07747
0,008574536	0,12319

x	y
0,010972516	0,1651
0,013144854	0,21209
0,014862852	0,25654
0,016786162	0,29972
0,018383685	0,33909
0,020047482	0,37846
0,020823399	0,42164
0,023217638	0,47498
0,024737291	0,52451
0,025272382	0,58293
0,024033692	0,64135
0,023355163	0,6858
0,022496225	0,7366

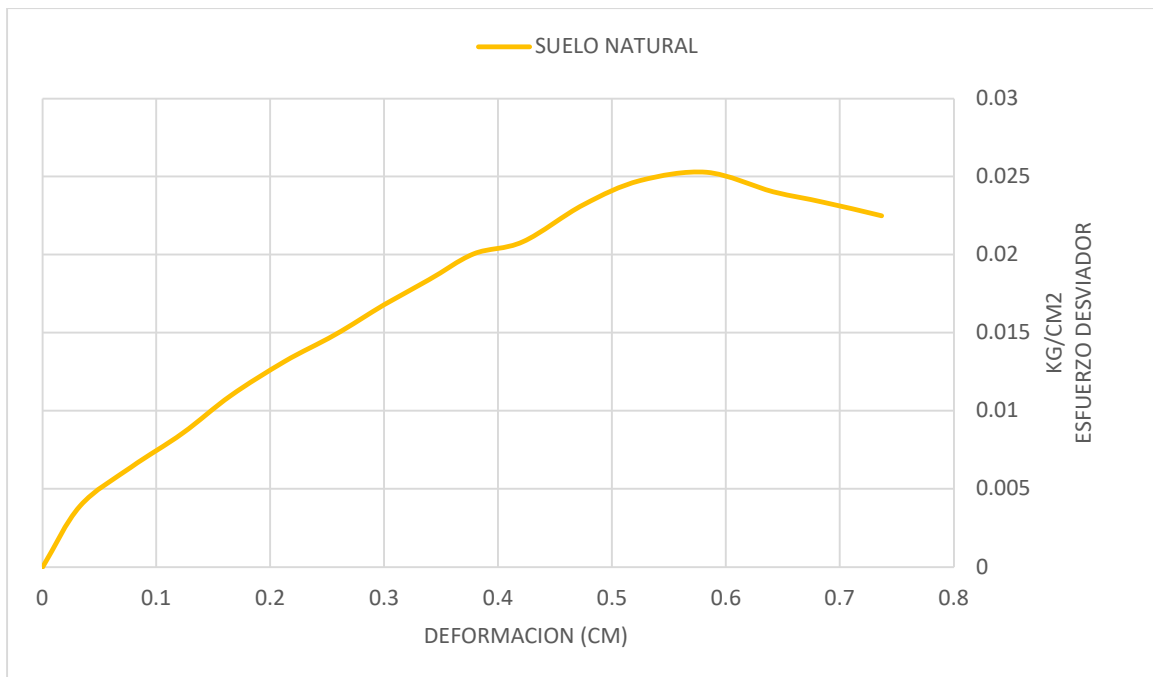
Fuente: Autoría propia.

Esfuerzo desviador: eje X

Deformación: eje y

❖ 56 golpes suelo natural:

En la gráfica siguiente se puede observar que la máxima resistencia al corte es de 0,01263 (kg/ cm<sup>2</sup>) con un suelo natural con una compactación de 56 golpes por capa y con una humedad optima del 16.25%



*Gráfica 11. Curva de presión inconfínada 56 golpes suelo virgen.*

Fuente: Autoría propia.

En el ensayo de compresión inconfínada de la muestra de suelo modificada con ceniza de cascarilla de arroz, con una compactación de 56 golpes obtuvimos los datos necesarios para poder graficar la curva de compresión inconfínada como se muestra en el Cuadro siguiente.

**Cuadro 16. Datos y resultado del ensayo de presión inconfiada 56 golpes suelo modificado.**

MODIFICADO								
No	56 GOLPES		DENSIDAD H			DESIDAD SECA		
MUESTRA	6		D INICIAL	5,38		AREA	24,5	
LONGITUD	10,8		PESO	538 gr		VOLUMEN	261,245	
LECTURA DIAL (IN)	PENETRACION ( Cm )	DEFORMACION ( Cm )	LECTURA CARGA ( Kg )	DEFORMACION UNITARIA	FACTOR DE CORRECCION ( 1-1 )	AREA CORREGIDA ( Cm <sup>2</sup> )	ESFUERZO DESVIADOR ( Kg/Cm <sup>2</sup> )	RESISTENCIA AL CORTE ( KG/Cm <sup>2</sup> )
0,00000	0	10,8	0	0	1	24,5	0	0
0,02250	0,05715	10,74285	0,022	0,005291667	0,994708333	24,63033553	0,000893207	0,000446604
0,04900	0,12446	10,67554	0,1435	0,011524074	0,988475926	24,78563145	0,005789645	0,002894822
0,07250	0,18415	10,61585	0,188	0,017050926	0,982949074	24,92499423	0,00754263	0,003771315
0,09350	0,23749	10,56251	0,2195	0,021989815	0,978010185	25,05086386	0,008762173	0,004381086
0,11650	0,29591	10,50409	0,2485	0,027399074	0,972600926	25,19018782	0,009864952	0,004932476
0,13800	0,35052	10,44948	0,277	0,032455556	0,967544444	25,3218342	0,010939176	0,005469588
0,16000	0,4064	10,3936	0,3045	0,03762963	0,96237037	25,45797414	0,011960889	0,005980444
0,18150	0,46101	10,33899	0,3455	0,042686111	0,957313889	25,59244181	0,01350008	0,00675004
0,20800	0,52832	10,27168	0,368	0,048918519	0,951081481	25,76014829	0,014285632	0,007142816
0,21550	0,54737	10,25263	0,404	0,050682407	0,949317593	25,80801219	0,015654053	0,007827027
0,24100	0,61214	10,18786	0,4365	0,05667963	0,94332037	25,97208835	0,016806504	0,008403252
0,26300	0,66802	10,13198	0,474	0,061853704	0,938146296	26,11532988	0,018150259	0,009075129
0,28700	0,72898	10,07102	0,508	0,067498148	0,932501852	26,27340627	0,01933514	0,00966757
0,30390	0,771906	10,028094	0,516	0,071472778	0,928527222	26,38587153	0,01955592	0,00977796
0,33150	0,84201	9,95799	0,538	0,077963889	0,922036111	26,57162741	0,02024716	0,01012358
0,34900	0,88646	9,91354	0,547	0,08207963	0,91792037	26,69076838	0,020493977	0,010246989
0,37150	0,94361	9,85639	0,5505	0,087371296	0,912628704	26,84552864	0,020506208	0,010253104
0,39000	0,9906	9,8094	0,528	0,091722222	0,908277778	26,97412686	0,019574313	0,009787156
0,40950	1,04013	9,75987	0,495	0,096308333	0,903691667	27,11101685	0,01825826	0,00912913
0,43100	1,09474	9,70526	0,4215	0,101364815	0,898635185	27,26356635	0,015460193	0,007730097

Fuente: Autoría propia.

En el Cuadro siguiente se muestran los datos para poder obtener y analizar las curvas de compresión inconfiada del suelo modificado con cenizas de cascarilla de arroz con una compactación de 56 golpes donde su eje X corresponde al esfuerzo desviador y su eje Y corresponde a la deformación.

**Cuadro 17. Datos grafico de presión inconfiada 56 golpes suelo modificado.**

x	y
	0
0,000893207	0,05715

x	y
0,005789645	0,12446
0,00754263	0,18415
0,008762173	0,23749
0,009864952	0,29591
0,010939176	0,35052
0,011960889	0,4064
0,01350008	0,46101
0,014285632	0,52832
0,015654053	0,54737
0,016806504	0,61214
0,018150259	0,66802
0,01933514	0,72898
0,01955592	0,771906
0,02024716	0,84201
0,020493977	0,88646
0,020506208	0,94361
0,019574313	0,9906
0,01825826	1,04013
0,015460193	1,09474

Fuente: Autoría propia.

Esfuerzo desviador: eje X

Deformación: eje y

❖ 56 golpes con aditivo de ceniza de cascarilla de arroz (15%):

En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** podemos ver que la máxima resistencia al corte que es de 0,01026 (kg/ cm<sup>2</sup>) con un suelo modificado, con una compactación de 56 golpes por capa y con una humedad óptima del 13.80%

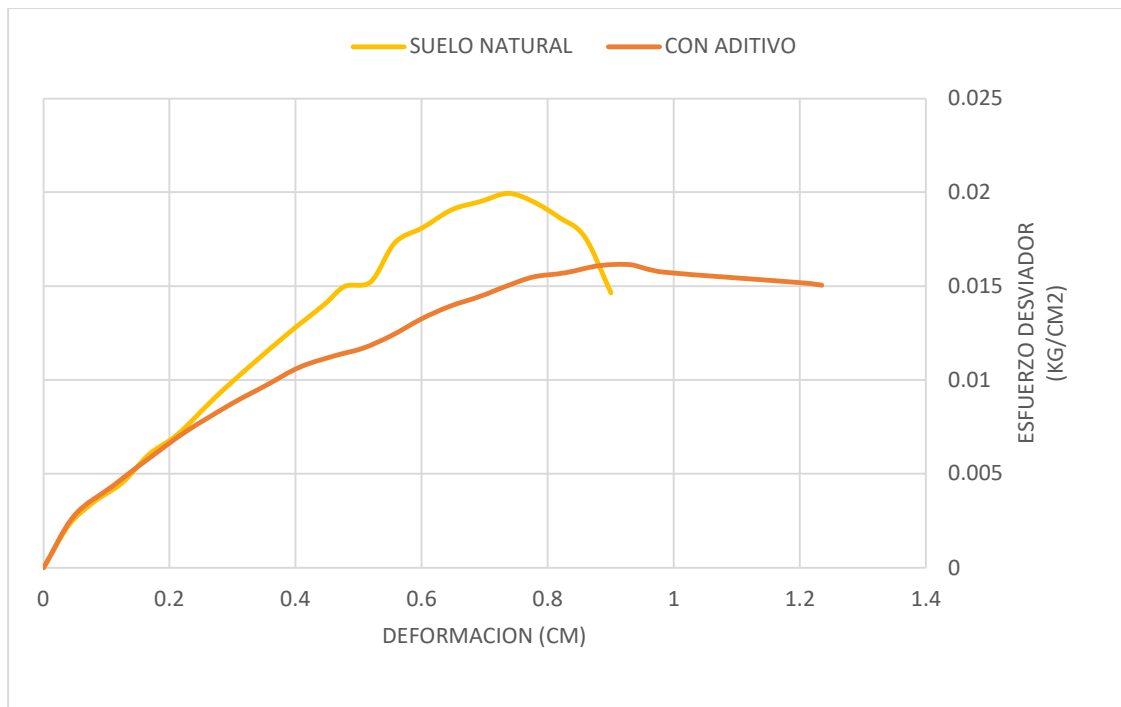


Gráfica 12. Curva de presión inconfiada 56 golpes suelo modificado.

Fuente: Autoría propia.

### 6.5.1 Análisis comparativo del ensayo de compresión inconfinado.

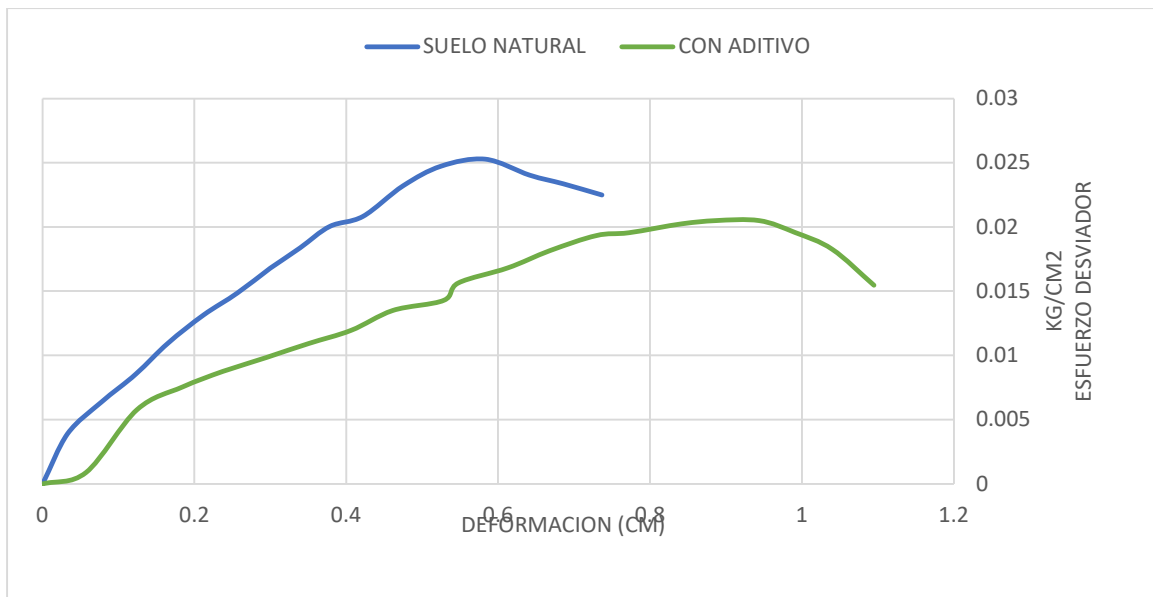
En este ensayo de 24 golpes se presenta una diferencia de resistencia máxima de 0,0019013 (kg /cm<sup>2</sup>) como se puede apreciar en la gráfica siguiente, dando una resistencia al corte mayor en el suelo natural evidenciando que la adición de cascarilla de arroz no mostro un mejoramiento en el suelo.



*Gráfica 13. Comparativo de ensayo inconfinado de 24 golpes.*

Fuente: Autoría propia.

En este ensayo de 56 golpes se presenta una diferencia de resistencia máxima de 0,002383 (kg /cm<sup>2</sup>) como se puede apreciar en la gráfica siguiente, dando una resistencia al corte mayor en el suelo natural evidenciando que la adición de cascarilla de arroz no mostro un mejoramiento en el suelo.



*Gráfica 14. Análisis comparativo de los resultados del comparativo de ensayo inconfinado de 56 golpes.*

Fuente: Autoría propia.



## 7. Costos y recursos

### 7.1 Recursos Humanos

La presente investigación se realizó con la ayuda de dos tutores (técnico y metodológico) los cuales encaminaron el desarrollo de la misma.

❖ Estudiantes:

Karen Julieth Moreno Feria Id: 000547358

Bryam Oswaldo forero barrios Id: 000537477

❖ Asesores:

Juan Pablo Alvarez Velandia

Adicionalmente se realizaron actividades que requerían esfuerzo físico por lo que se contrató por 1 día a un ayudante para cumplir dichas actividades.

### 7.2 Recursos Económicos

En el proceso investigativo se muestran los costos en el cuadro siguiente.

Se ejecutó de una manera con el apoyo del laboratista Pedro Reyes en el municipio de Girardot, Cundinamarca; donde fueron realizados los ensayos con el tipo de muestra tomada por nosotros los estudiantes de la Universidad Uniminuto.

#### **Cuadro 18. Costos de la investigación.**

Descripción	Costo
Tapabocas	\$ 5,000
Guantes	\$ 10,000
Muestra de suelo	\$ 40,000
1 Dia de ayudante de obra	\$ 40,000
Transportes	\$ 100,000

Descripción	Costo
Laboratorios	\$ 700,000
Cascarilla de arroz blanco	\$ 10,000
Total	\$ 905,000

Fuente: Autoría propia.

## 8. Conclusiones

En el proceso investigativo de la muestra con ceniza de cascarilla de arroz podemos obtener los distintos resultados a los ensayos de caracterización del suelo regido a la norma (Instituto Nacional de Vias, 2013):

- ❖ El estudio que se realizó en el ensayo de Granulometría se obtuvieron los siguientes resultados del material: está comprendido por 0,7% de gravas, 16,2% de arena y 83,1% de finos para un total del 100%. La muestra que fue analizada nos arroja los siguientes resultados donde nos identifica que el material que está conformado es de tipo fino.

- ❖ En el proceso realizado en los límites de Atterberg se puede notar que el resultado, es un suelo que contiene arcillas de alto grado de plasticidad (CH – OH).

- ❖ El ensayo de compactación Proctor modificado nos muestra que el suelo virgen tiene su máxima densidad a 1,79 gr/cm<sup>3</sup> en relación con una humedad optima del 16,25%, el suelo modificado con la ceniza de la cascarilla de arroz tiene la humedad optima del 11,8% con una densidad de 1,76 gr/cm<sup>3</sup>.

- ❖ En los ensayos de compresión inconfiada, se identifica que la muestra de suelo virgen con la compactación de 56 golpes se obtuvo una resistencia máxima de corte 0,0126 kg/cm<sup>2</sup> determinando del estudio con la muestra cenizas de cascarilla de arroz teniendo una resistencia máxima al corte de 0,01024 kg/cm<sup>2</sup>.

- ❖ Al observar los resultados de los ensayos podemos determinar la variación en el factor de humedad que presenta el suelo con y sin cascarilla de arroz por tal razón podemos concluir que la cascarilla de arroz en este caso aporta la absorción y drenaje del agua

### 9. Recomendaciones

Luego de realizar este proyecto investigativo y obteniendo los resultados se muestran nuevas sugerencias e ideas para el mejoramiento de sub-rasantes al momento de llevar un proceso de infraestructura vial:

- ❖ El ensayo de compactación Proctor de suelo virgen, se propone usar un 16,25% de humedad en vista de que es una humedad optima, si se llega adherir un poco más o un poco menos, por lo tanto no alcanzará la máxima densidad y resistencia.

- ❖ El ensayo de compactación Proctor de un suelo con cenizas de cascarilla de arroz se sugiere adicionar una humedad de 11,80% para alcanzar una buena densidad en el momento de obtener un tipo de suelos arcillosos con un grado de alta plasticidad.

- ❖ El ensayo de compresión inconfiada en suelos arcillosos se recomienda seguir realizando nuevos estudios para aquietar suelos arcillosos con adición cenizas de cascarilla de arroz, ya que es una técnica de tratamiento y de dosificación no mostraron unos resultados de una buena mejoría.

- ❖ Se recomienda después de la incontinencia del covid 19 realizar unos ensayos de laboratorio mas profundos siguiendo los parámetros de la norma invias 2013

**Referencias Bibliográficas**

Camacho Tauta, J. F., Reyes Ortiz, O. J., Mayorga Antolinez, C., & Mendez G, D. F. (30 de Septiembre de 2006). *Evaluacion De Aditivos Usados En El Tratamiento De Arcillas Expansivas*. Obtenido de <https://revistas.unimilitar.edu.co/index.php/rcin/article/view/1232/962>

Cementos Progresos. (2020). *Cementos Progresos*. Obtenido de

<http://www.cempro.com/index.php/quienes-somos/procesos-de-produccion/proceso-de-produccion-de-cal>

Civilgeeks. (2016). *Ingenieria y Construccion*. Obtenido de

<https://civilgeeks.com/2015/06/27/guia-la-estabilizacion-suelos/>

Díaz Vásquez, F. (2018). *Mejoramiento de la subrasante mediante ceniza de cascara de arroz en la carretera Dv San Martín - Lonya Grande, Amazonas 2018*. Lima, Perú. Obtenido de

[http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/UCV/25951/D%c3%adaz\\_VF.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/UCV/25951/D%c3%adaz_VF.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

DIOS, U. M. (2020). *UNIVERSIDAD MINUTO DE DIOS* . Obtenido de

<http://www.uniminuto.edu/web/pastoral/mision-vision>

DIOS, U. M. (2020). *UNIVERSIDAD MINUTO DE DIOS* . Obtenido de

<http://www.uniminuto.edu/web/pastoral/mision-vision>

Instituto Nacional de Vias. (2013). *INVA*. Obtenido de <https://www.invias.gov.co/>

Instituto Nacional de Vias. (2013). *INVIAS*. Obtenido de

<https://www.invias.gov.co/index.php/informacion-institucional/139-documento-tecnicos>

INVIAS. (s.f.). Obtenido de GOV.CO: <https://www.invias.gov.co/>

INVIAS. (31 de DICIEMBRE de 2019). Obtenido de

<https://www.invias.gov.co/index.php/informacion-institucional/2-principal/57-estado-de-la-red-vial>

J. M.Mejía et al., 2. (2012). *RESEARCHGATE*. Obtenido de RESEARCHGATE:

[https://www.researchgate.net/publication/303267516\\_Ceniza\\_de\\_cascarilla\\_de\\_arroz\\_como\\_fuente\\_de\\_silice\\_en\\_sistemas\\_cementicios\\_de\\_ceniza\\_volante\\_y\\_escoria\\_activados\\_alcalinamente](https://www.researchgate.net/publication/303267516_Ceniza_de_cascarilla_de_arroz_como_fuente_de_silice_en_sistemas_cementicios_de_ceniza_volante_y_escoria_activados_alcalinamente)

Mario Alzate. (2015). *PREZI*. Obtenido de <https://prezi.com/rqa1-j5f4wv5/ceniza-de-cascarilla-de-arroz/>

Prada, A., & E. Cortés, C. (2010). La descomposición térmica de la cascarilla de arroz: una alternativa de aprovechamiento integral. En U. d. Llanos (Ed.), *Revista Orinoquia* (págs. 155-170). Villavicencio, Meta, Colombia: Grupo de investigación: Gestión Ambiental Sostenible - GIGAS. Recuperado el 21 de 03 de 2020, de <http://www.scielo.org.co/pdf/rori/v14s1/v14s1a13.pdf>

Salas Camacho, P. L. (2014). *Pista de prueba con asfalto modificado con ceniza de cascarilla de arroz en una vía con trafico pesado*. Obtenido de *Pista de prueba con asfalto modificado con ceniza de cascarilla de arroz en una vía con trafico pesado*: <http://repository.unipiloto.edu.co/handle/20.500.12277/5618>

*UNIMINUTO* . (s.f.). Obtenido de UNIMINUTO :

<http://www.uniminuto.edu/web/pastoral/mision-vision>

UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA. (7 de 05 de 2016). Obtenido de

<https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/15770/Caama%F1oMurilloIv>

%E1nAlberto2016.pdf.pdf;jsessionid=308C2625D576D645E0B3DFE88F5F5BD4?sequence=1

UNIVERSIDAD MINUTO DE DIOS . (2020). Obtenido de

<http://www.uniminuto.edu/web/pastoral/mision-vision>

UNIVERSIDAD MINUTO DE DIOS. (2020). *Quienes somos*. Recuperado el 20 de 03 de 2020,

de UNIVERSIDAD MINUTO DE DIOS:

<https://sabinap0705.wordpress.com/2015/05/22/resena-historica-corporacion-universitaria-minuto-de-dios/>

Varón CJ. (2005). J. Diseño, construcción y puesta a punto de un prototipo de quemador para la combustión. En *El Hombre y la Máquina* (págs. 128-135). Recuperado el 21 de 03 de 2020