

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERÍA CIVIL

Evaluación de la Resistencia a la Compresión Simple de Suelos orgánicos reconstituidos y
mejorados con fibra de Abacá del sector El Garrochal, sur de Quito.

AUTOR:

CASTRO QUILUMBA EDISON DAVID

SANTILLAN CAJAS SANTIAGO FERNANDO

DIRECTOR: ING. JORGE ALBUJA, M.Sc

QUITO DM, 30 DE JUNIO DEL 2023

ÍNDICE

CAPÍTULO I.....	10
1. GENERALIDADES	10
1.1 INTRODUCCIÓN	10
1.2 JUSTIFICACIÓN	11
1.3 OBJETIVOS.	12
1.3.1 Objetivo General.	12
1.3.2 Objetivo Específico.	12
1.4 ALCANCE.....	12
1.5 MARCO TEÓRICO.....	13
1.5.1 Antecedentes	13
1.5.2 Fundamentación Teórica.....	15
6.1.1.1. Propiedades físicas y mecánicas del Suelo.	15
6.1.1.2. Mejoramiento De Suelos	16
6.1.1.3. Mejoramiento de suelos por compactación	16
CAPÍTULO II	18
DESCRIPCIÓN SUELO ESTUDIADO	18
2.1. ORIGEN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	18
2.2. CONTENIDO DE HUMEDAD.....	19
2.2.1. RESULTADOS.....	19
2.3. GRANULOMETRÍA.....	20
2.3.1. Granulometría por tamizado	20
2.3.1.1. RESULTADOS	20
2.3.2. Granulometría por hidrómetro	23
2.3.2.1. RESULTADOS	23
2.4. LÍMITES DE ATTERBERG	26
2.4.1. Límite Líquido	26

2.4.2.	Límite Plástico	26
2.4.3.	Índice de plasticidad.....	26
2.4.4.	Resultados.	26
2.5.	GRAVEDAD ESPECÍFICA	27
2.5.1.	RESULTADOS.....	27
2.6.	CONTENIDO ORGÁNICO.	28
2.6.1.	RESULTADOS.....	28
2.7.	CLASIFICACIÓN SUCS	29
2.7.1.1.	RESULTADOS	30
CAPÍTULO III.....		33
DESCRIPCIÓN FIBRA DE ABACÁ		33
3.1.	ORIGEN.....	33
3.2.	PLANTA DE ABACÁ.....	33
3.3.	FIBRA DE ABACÁ.....	34
3.3.1.	Características agronómicas del abacá.....	34
3.4.	PROPIEDADES.....	35
3.5.	CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA DEL ABACÁ.....	35
3.6.	DESCRIPCIÓN BOTÁNICA.....	35
3.6.1.	Rizoma o bulbo:	35
3.6.2.	Sistema radicular:.....	36
3.6.3.	Sistema foliar.	36
3.7.	ZONAS DE PRODUCCIÓN EN EL ECUADOR.....	36
3.8.	LABORES POR SIEMBRA	37
3.9.	REQUERIMIENTOS DE CLIMA Y SUELO.....	37
3.10.	PRODUCTIVIDAD	38
3.11.	COSECHA	38
3.12.	USOS.....	39

3.13.	DENSIDAD DE LA FIBRA DE ABACÁ.....	40
3.14.	CONTENIDO DE HUMEDAD.....	40
3.15.	RESISTENCIA A LA TENSIÓN.....	41
3.16.	ELONGACIÓN EN LA ROTURA.....	41
3.17.	MÓDULO ELÁSTICO.....	41
3.18.	COMPOSICIÓN QUÍMICA.....	42
CAPÍTULO IV.....		43
SUELO CON FIBRA DE ABACÁ.....		43
4.1.	TIPOS DE FIBRAS UTILIZADAS PARA MEJORAMIENTO DEL SUELO.....	43
4.1.1.	Fibras sintéticas.....	43
4.2.	COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL SUELO REFORZADO CON FIBRAS.....	44
4.3.	PORCENTAJE Y LONGITUDES DE FIBRA UTILIZADA.....	44
4.4.	EFFECTO DE LA FIBRA SOBRE EL SUELO.....	44
4.4.1.	Humedad óptima y densidad seca máxima.....	44
4.5.	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE.....	45
4.6.	MECANISMO DE INTERACCIÓN SUELO /FIBRA.....	45
4.7.	POTENCIALES APLICACIONES DEL SUELO MEJORADO CON FIBRA DE ABACÁ.....	46
CAPÍTULO V.....		48
5.1.	COMPACTACIÓN MODIFICADA: DENSIDAD SECA MÁXIMA Y CONTENIDO DE HUMEDAD.....	48
5.2.	PREPARACIÓN DE LA MUESTRA DEL SUELO NATURAL.....	48
5.2.1.	ENSAYO DE COMPACTACIÓN MODIFICADA.....	48
5.3.	PREPARACIÓN DE LA MEZCLA SUELO-FIBRA.....	48
5.4.	CURVAS DE COMPACTACIÓN.....	49
5.4.1.	Suelo Natural – 0% de fibra.....	49
5.4.1.1.	Proctor 1.....	49

5.4.1.2.	Proctor 2.....	49
5.4.1.3.	Proctor 3.....	50
5.4.1.4.	Curvas combinadas Proctor	50
5.4.2.	Longitud de fibra: 15 mm	51
5.4.2.1.	Suelo – 2.0% de fibra.....	51
5.4.2.1.1.	Proctor 1.	51
5.4.2.1.2.	Proctor 2.	51
5.4.2.1.3.	Muestra 3.	52
5.4.2.1.4.	Curvas combinadas Proctor 2.0 % de fibra.	52
5.4.2.2.	Suelo – 3.0% de fibra.....	53
5.4.2.2.1.	Muestra 1.....	53
5.4.2.2.2.	Muestra 2.....	53
5.4.2.2.3.	Muestra 3.....	54
5.4.2.2.4.	Curvas combinadas Proctor 3.0 % de fibra.	54
5.5.	DISCUSIÓN Y RESULTADOS.....	55
5.5.1	Resultados.....	55
5.5.2.	Discusión.....	55
CAPÍTULO VI.....		56
ENSAYOS A COMPRESIÓN SIMPLE		56
6.1.2.	MÉTODO DE PRUEBA ESTANDAR PARA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE EN SUELOS ORGÁNICOS.....	56
6.1.3.	Equipo Necesario para el ensayo	57
6.1.4.	Preparación de probetas.	57
6.1.5.	Procedimientos del ensayo.....	59
6.1.6.	RESULTADOS DEL ENSAYO DE COMPRESION SIMPLE NO CONFINADA.....	60
6.1.6.1.	Muestra 1 Suelo natural profundidad 0.55 m a 1.00.....	60
6.1.6.2.	Muestra 2 Suelo natural profundidad 0.55 m a 1.00 m.....	61

6.1.6.3.	Curvas combinadas Suelo natural profundidad 0.55 m a 1.00 m	62
6.1.7.	Suelos Reconstituidos – 0% de fibra.....	63
6.1.7.1.	Muestra 1.	63
6.1.7.2.	Muestra 2.	64
6.1.7.3.	Muestra 3.	65
6.1.7.4.	Curvas combinadas.	66
6.1.8.	Longitud de Fibra: 15 mm.....	67
6.1.8.1.	Suelo Reconstituidos – 2.0 % de fibra.	67
6.1.8.1.1.	Muestra 1.	67
6.1.8.1.2.	Muestra 2.	68
6.1.8.1.3.	Muestra 3.	69
6.1.8.1.4.	Curvas combinadas 2.0% de fibra.	70
6.1.8.2.	Suelos Reconstituidos – 3.0 % de fibra.	71
6.1.8.2.1.	Muestra 1	71
6.1.8.2.2.	Muestra 2	72
6.1.8.2.3.	Curvas combinadas 3.0% de fibra.	73
6.1.8.3.	Curvas Finales.....	74
6.1.9.	DISCUSIÓN Y RESULTADOS	75
6.1.9.1.	Resultados.....	75
6.1.9.2.	Discusión.	76
CAPÍTULO VII	77
6.1.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	77
6.1.1.	CONCLUSIONES.	77
BIBLIOGRAFÍA	80

Tabla de ilustraciones

Ilustración 1 Mapa de ubicación de área de estudio.	18
Ilustración 2 Ubicación del suelo de estudio.....	18
Ilustración 3 Ubicación del nivel freático	19
Ilustración 4 Granulometría por Tamizado. Muestra 1.....	22
Ilustración 5. Granulometría por tamizado. Muestra 2.	22
Ilustración 6 Curva granulométrica por Hidrómetro. Muestra 1.....	24
Ilustración 7. Curva granulométrica por hidrómetro. Muestra 2.	25
Ilustración 8 Curva Granulométrica combinada por tamizado e hidrometría. Muestra 1...25	
Ilustración 9. Curva granulométrica combinada por tamizado e hidrometría. Muestra 2...26	
Ilustración 10. Rango de contenido orgánico según ASTM D4427.	28
Ilustración 11 Simbología SUCS	29
Ilustración 12 Tipología SUCS	30
Ilustración 13 Carta de plasticidad	30
Ilustración 14. Asignación de símbolo y nombre de grupo.	31
Ilustración 15. Diagrama para clasificación de suelos de granulometría fina. (50% pasa el tamiz #200).....	32
Ilustración 16 Diagrama de Flujo para la Clasificación de Suelos Orgánicos de Grano Fino (50 % o Más Pasa el Tamiz No. 200.....	32
Ilustración 17 Ubicación extracción de la fibra de abacá	33
Ilustración 18 Planta del ábaca.....	34
Ilustración 19 Fibra de Abacá	34
Ilustración 20 Producción del abacá.	37
Ilustración 21. Resistencia a la tensión de la fibra.	41
Ilustración 22. Módulo elástico de la fibra.....	42
Ilustración 23 Estructura molecular de la celulosa	42
Ilustración 24. Composición química de la fibra.	42
Ilustración 25 Curva de humedad vs densidad. Proctor 1. (suelo natural).....	49
Ilustración 26. Curva de humedad vs densidad. Proctor 2. (suelo natural).....	49
Ilustración 27. Curva de humedad vs densidad. Proctor 3. (suelo natural).....	50
Ilustración 28. Curvas combinadas Proctor (suelo natural).	50
Ilustración 29. Curva de humedad vs densidad. Proctor 1. (fibra 2%)	51
Ilustración 30. Curva de humedad vs densidad. Proctor 2. (fibra 2%).	51
Ilustración 31. Curva de humedad vs densidad. Proctor 3. (fibra 2%)	52

Ilustración 32. Curvas combinadas de humedad vs densidad. (fibra 2%).....	52
Ilustración 33. Curva de humedad vs densidad. Proctor 1. (fibra 3%).	53
Ilustración 34. Curva de humedad vs densidad. Proctor 2. (fibra 3%).	53
Ilustración 35. Curva de humedad vs densidad. Proctor 3. (fibra 3%).	54
Ilustración 36. Curvas combinadas de humedad vs densidad. (fibra 3%).....	54
Ilustración 37. Porcentajes de humedades	55
Ilustración 38. Densidades secas máximas	55
Ilustración 39. Esfuerzo vs deformación. Muestra 1. Suelo inalterado.	60
Ilustración 40. Esfuerzo vs deformación. Muestra 2. Suelo inalterado	61
Ilustración 41. Esfuerzo vs deformación. Muestras combinadas. Suelo inalterado.	62
Ilustración 42. Esfuerzo vs deformación. Muestra 1 Reconstituido sin fibra	63
Ilustración 43. Esfuerzo vs deformación. Muestra 2 Reconstituido sin fibra	64
Ilustración 44. Esfuerzo vs deformación. Muestra 3 Reconstituido sin fibra	65
Ilustración 45. Esfuerzo vs deformación. Curvas combinadas suelos reconstituidos sin fibra	66
Ilustración 46. Esfuerzo vs deformación. Suelo reconstituido con fibra al 2%. (Muestra 1).	67
Ilustración 47. Esfuerzo vs deformación. Suelo reconstituido con fibra al 2%. (Muestra 2).	68
Ilustración 48. Esfuerzo vs deformación. Suelo reconstituido con fibra al 2%. (Muestra 3).	69
Ilustración 49. Esfuerzo vs deformación. Curvas combinadas suelos reconstituidos (fibra 2%).	70
Ilustración 50. Esfuerzo vs deformación. Suelo reconstituido con fibra al 3%. (Muestra 1).	71
Ilustración 51. Ilustración 45. Esfuerzo vs deformación. Suelo reconstituido con fibra al 3%. (Muestra 2).	72
Ilustración 52. Esfuerzo vs deformación. Curvas combinadas suelos reconstituidos (fibra 3%).	73
Ilustración 53. Esfuerzo vs deformación. Curvas totales.	74
Ilustración 54. Diagrama de barras de Esfuerzos	75
Ilustración 55. Diagrama de barras de porcentaje de deformación axial	76

Índice de tablas

Tabla 1	Contenido de Humedad.....	20
Tabla 2	Granulometría por Tamizado. Muestra 1.....	21
Tabla 3.	Granulometría por tamizado. Muestra 2	21
Tabla 4	Granulometría por hidrómetro y tamizado. Muestra 1.	23
Tabla 5.	Granulometría por hidrómetro y tamizado. Muestra 2.	24
Tabla 6	Índice Líquido, plástico y plasticidad	27
Tabla 7	Resultado Gravedad Específica	27
Tabla 8	porcentaje de contenido orgánico.	28
Tabla 9.	Relación límite líquido secado al horno vs límite líquido no secado.....	31
Tabla 10.	Información. Compresión simple de muestra 1. Suelo inalterado.	60
Tabla 11.	Información. Compresión simple de muestra 2. Suelo inalterado.	61
Tabla 12.	Resumen de información de muestras. Compresión simple. Suelo inalterado. ..	62
Tabla 13.	Información. Compresión simple. Muestra 1 Sin fibra.....	63
Tabla 14.	Información. Compresión simple. Muestra 2 sin fibra.	64
Tabla 15.	Información. Compresión simple. Muestra 3 sin fibra.	65
Tabla 16.	Resumen de información de muestras. Compresión simple. Suelos sin fibra. ...	66
Tabla 17.	Información. Compresión simple. Muestra 1 con fibra 2%	67
Tabla 18.	Información. Compresión simple. Muestra 2 con fibra 2%.....	68
Tabla 19.	información. Compresión simple. Muestra 3 con fibra 2%	69
Tabla 20.	Resumen de información demuestras. Compresión simple. 2% de fibra.....	70
Tabla 21.	Información. Compresión simple. Muestra 1 con fibra 3%	71
Tabla 22.	Información. Compresión simple. Muestra 2 con fibra 3%	72
Tabla 23.	Resumen de información de muestras. Compresión simple. Fibra 3%.	73
Tabla 24.	Resumen de resultados. Compresión simple.....	75

CAPÍTULO I

1. GENERALIDADES

1.1 INTRODUCCIÓN

En la actualidad, se han ido desarrollando diferentes métodos para el mejoramiento de suelos, el cual consiste en adicionar diferentes materiales para poder mejorar el suelo, el cual tendría como objetivo incrementar la estabilidad, aumentar la capacidad de carga y poder reducir los asentamientos del suelo a reforzar, se sabe que el refuerzo de suelos mediante la adición de fibras es una técnica bastante antigua (un ejemplo de ello es el adobe), su estudio ha llamado el interés recién en los últimos 20 años. Si bien es cierto, que distintas investigaciones han realizado diferentes estudios donde se adiciona fibras naturales y sintéticas al suelo con el fin de mejorar sus propiedades físico-mecánicas. Ciertos autores han comparado el efecto de las fibras con el de las raíces de plantas, que permiten distribuir esfuerzos en una superficie mayor de suelo. Mediante ensayos in situ de carga realizados sobre una arena con y sin refuerzo de fibras observaron que el refuerzo de fibras se convierte en una mejora en la relación carga asentamiento. (Vettorelo & Clariá, 2014)

El producto del abacá se producía en Filipinas hasta finales de la segunda guerra mundial, sin embargo, al estar en problemas bastantes difíciles por causa de la guerra se buscó otro país que fuera fértil en referencia al suelo y al clima necesarios para el cultivo de abacá, después de la búsqueda se pudo encontrar en Ecuador. (Hang Alvarado & Montero Bernabé, 2015)

El área utilizada en la producción de abacá es de aproximadamente 14.000 hectáreas las cuales están distribuidas en 5 provincias que son: Pichincha (80%), Esmeraldas, Manabí, Los ríos y Cotopaxi. (Leatham, De Pareja, Salazar, & Bocardo, 2000)

La intención de mantener y proseguir con estos procesos de investigación resulta muy beneficioso, dado que brindan valiosa información para dar continuidad a estos estudios y contribuir al fortalecimiento de las investigaciones sobre la mejora de las propiedades mecánicas del suelo a través de la implementación de tecnologías más sostenibles, como es el caso de la fibra de abacá. (Aguirre Fuelantala & Fuel Valencia, 2020)

A pesar de la existencia de investigaciones que respaldan la viabilidad de mejorar suelos utilizando fibras, no se han llevado a cabo estudios previos utilizando fibra de abacá en suelos de baja capacidad de carga, como en suelos orgánicos. Por lo tanto, el propósito de esta investigación es abordar esa falta de conocimiento y proporcionar información pertinente sobre la viabilidad y aplicabilidad de la fibra de abacá.

1.2 JUSTIFICACIÓN

El presente trabajo de integración curricular tiene como objetivo evaluar el comportamiento del suelo usando la fibra de abacá como un material de mejoramiento, que en este caso emplearemos para la investigación el suelo del sector del Garrochal parroquia Turubamba, sur de Quito. (FAO, 2023)

El propósito de usar esta fibra es por la gran facilidad de cosecha, su bajo costo, a su gran resistencia mecánica, su resistencia al daño por agua salada, y por su longitud de fibra, que puede ser hasta de 3 metros. (FAO, 2023)

La fibra de abacá ha adquirido una significativa relevancia a nivel global, ya que se destaca entre las fibras naturales por su excepcional resistencia, posicionándose como una de las fibras de mayor fortaleza en su categoría. Hasta el momento, no se ha encontrado otra fibra con estas características. Asimismo, dentro de las fibras artificiales, el abacá ha ganado un lugar destacado debido a su estabilidad y durabilidad. Esto se debe a la composición del abacá, que incluye celulosa, lignina y pectina. (Hang Alvarado & Montero Bernabé, 2015)

Las fibras naturales tienen grandes ventajas en comparación con las otras fibras convencionales debido a que tienen: bajo costo, baja densidad y mínimo de consumo de energía. Asimismo, las fibras naturales ofrecen la posibilidad a países como Colombia, Perú y Ecuador a utilizar sus propios recursos naturales para la producción de esta planta. (Castro Leiva, 2019)

Al adicionar la fibra de abacá a un suelo se podría encontrar muy buenos resultados, gracias a que el suelo mejora su resistencia a la compresión y a las características de nuestro suelo a estudiar, ya que en este tipo de suelos existen grandes asentamientos. De esta manera se tendría una mejora del suelo, aunque se debería controlar otros factores que generan asentamientos en el suelo como la cohesión, fricción, porosidad, densidad, etc. (FAO, 2023)

La ingeniería civil hoy en día se encuentra en un proceso constante de aprendizaje y en la actualización de los procesos constructivos que se llevan a cabo cada día, teniendo en cuenta que tenemos diferentes áreas de las cuales se debe considerar las necesidades que se han ido teniendo diariamente en la sociedad y de la misma manera poder mitigar los problemas que afectan al hombre y al medio ambiente, teniendo en cuenta un desarrollo sostenible. (Castro Leiva, 2019)

El mejoramiento de suelos con fibras naturales como el abacá es una solución que tiene ventajas como el aumento de la resistencia y estabilidad del suelo, además son resistentes a los microorganismos, rayos UV y a la intemperie, cuentan con una firmeza suficiente y mayor a la resistencia que deben soportar. (Castro Leiva, 2019)

1.3 OBJETIVOS.

1.3.1 Objetivo General.

- Evaluar la resistencia a la compresión simple de suelo orgánico reconstituido y mejorados con fibra de abacá.

1.3.2 Objetivo Específico.

- Realizar la caracterización de la muestra de suelo obtenida mediante los ensayos de clasificación SUCS.
- Determinar la resistencia a la compresión simple en probetas de suelo mejorado para cada una de las dosificaciones a realizar.
- Comparar la resistencia a la compresión simple del suelo mejorado con la del suelo sin adición de fibra de abacá
- Determinar posibles aplicaciones de suelos mejorados con fibras de abacá.

1.4 ALCANCE.

A través de este trabajo se evaluará el comportamiento de un suelo orgánico incluyendo fibra de abacá como un reforzamiento. Este suelo fue extraído del sur de Quito del sector el Garrochal, parroquia de Turubamba.

El trabajo es fundamentalmente de estudio tipo exploratorio, ya que se realiza la investigación buscando un mejoramiento de suelo junto con fibras naturales como la fibra de abacá sin tratar.

Una vez extraído el suelo, en el laboratorio procederemos a realizar los ensayos de humedad, densidad, granulometría, límites de Atterberg, contenido orgánico para conocer sus características y clasificar el suelo mediante SUCS, con material recolectado entre 0,5 metros y 1,0 metros de profundidad.

También se extraerá muestras inalteradas mediante el uso de un tubo shelby a la misma profundidad y se realizará el ensayo de compresión simple para conocer la capacidad en su estado natural.

Se realizará las pruebas de Proctor modificado para encontrar la humedad óptima y su densidad seca máxima las cuales nos servirá para realizar las muestras sin fibra y con fibra al 2% y 3% en relación con la masa del suelo, estas serán sometidas a compresión simple para conocer su capacidad.

Finalmente se realizará el análisis de resultados y se comparará su comportamiento al adicionar la fibra y determinar si existe un mejoramiento de este.

1.5 MARCO TEÓRICO.

1.5.1 Antecedentes

Las fibras naturales han alcanzado una posición de importancia en su uso en muchos procesos, materiales como las fibras naturales han sido estudiados por su idoneidad en diversos campos; En cuanto a la tecnología de la construcción, se investigó los materiales geotextiles añadiéndolos en mezclas de pavimentos para conocer su funcionalidad; También se investigó si la tela de las fibras naturales puede ser parte del tratamiento superficial con un revestimiento rígido. (Aguirre Fuelantala & Fuel Valencia, 2020)

Otro estudio analizó la durabilidad de los geotextiles y geomallas cuando se utilizan en la capa granular de la subrasante, lo que proporcionó una mayor durabilidad; Estos y otros trabajos dieron buenos resultados; lo que motiva a esta investigación, que tiene como objetivo: averiguar cómo mejorar las propiedades mecánicas de los suelos finos mediante la adición de material vegetal residual. (Aguirre Fuelantala & Fuel Valencia, 2020)

El refuerzo de suelos con fibras naturales es una solución que tiene la ventaja de la biodegradación y se utiliza solo cuando esta condición es necesaria, son resistentes a los microorganismos, a la radiación UV y a la intemperie, son lo suficientemente fuertes y siempre superiores a la resistencia, que debe soportar. (David, 2014)

En comparación con los geosintéticos convencionales (geomallas, geotextiles, etc.), algunas de las ventajas de usar fibras son:

- Fibras discretas que simplemente no se pegan y se mezclan con el suelo como cualquier mezcla de suelo con cemento, cal u otros aditivos.
- Las fibras distribuidas aleatoriamente limitan los posibles niveles de debilidad que se pueden producir en paralelo con el refuerzo horizontal convencional
- La adición de fibras solo cambia las propiedades físicas del suelo y no tiene ningún efecto sobre el medio ambiente. (David, 2014)

El suelo es uno de los materiales de construcción más abundantes en la construcción, soportando las propias estructuras, como edificios, puentes, carreteras, etc. Se sabe que se utiliza en materiales para terraplenes de carreteras, rellenos, muros, etc. Por lo tanto, es necesario poder estudiar el suelo desde diferentes perspectivas y necesidades de la práctica de la ingeniería civil. (Gonzalo & Escobar Potes, 2016)

Por otro lado, Quito en las últimas décadas presentó un fuerte crecimiento poblacional, lo que de igual manera provocó un aumento en la demanda de infraestructura (INEC, 2010), donde se construyeron viviendas en lugares donde antes eran fincas, tales como: Hacienda El Carmen, finca La Mena, que hoy forma parte de los distritos del sur de Quito.

La presencia de estos tipos de suelo fue utilizada originalmente en la agricultura y la ganadería muestra la incompetencia de las capas del suelo para su uso en la construcción de ciertos tipos de estructuras. (Peñañiel Rosales & Reascos Armas, 2021).

Existe un subsuelo con bajas capacidades portantes al sur del DMQ, el cual podría afectar la construcción existente, además, podría afectar la construcción futura si no se da solución a esto. Se sabe que el sur de Quito tiene una aparente heterogeneidad compleja. (Peñañiel Rosales & Reascos Armas, 2021)

En general, diversos estudios coinciden en que la resistencia al corte del suelo aumenta con la introducción de fibras. Sin embargo, no hay consenso sobre cómo la adición de fibras afecta la rigidez de los pisos reforzados. Las diferencias en las conclusiones de los diferentes estudios pueden explicarse por las diferentes variables involucradas en los estudios de suelos

reforzados con fibra y los diferentes enfoques mediante los cuales se realizaron los estudios. (Cabezas Chavez & Serrato Chaguala, 2019)

Las fibras naturales han demostrado ser altamente efectivas en el proceso de revegetación, ofreciendo resultados sobresalientes en este aspecto. Los estudios de laboratorio han comprobado que las fibras naturales contribuyen a mejorar la ductilidad del suelo, aumentan la conductividad hidráulica y fortalecen la resistencia a la compresión del suelo en proceso de mejora. La combinación de fibras naturales con la técnica de hidrosiembra resulta más económica para lograr la estabilidad de taludes en comparación con métodos tradicionales como el concreto lanzado, los gaviones o las fibras sintéticas. (Hernandez , Perdomo, & Rincon, 2015)

El control de la erosión y la restauración de la biodiversidad pueden promoverse cuando el abacá se ubica entre las plantaciones de monocultivos y en bosques tropicales húmedos, especialmente de la palma de coco. La plantación de abacá también puede minimizar los problemas de erosión y sedimentación en áreas costeras importantes para la piscicultura marina. Se mejora la capacidad de retención de agua del suelo y se previenen inundaciones y deslizamientos de tierra. (FAO, 2023)

Desafortunadamente, el desconocimiento sobre el efecto de las fibras naturales en la mejora de las propiedades mecánicas de los suelos finos hace que se sigan sustituyendo buenos materiales en las obras de construcción sin posibilidad de contar con alternativas técnicas que los procesos de ensayo ayuden a la estabilidad en la toma de decisiones. trabajo, su economía y por supuesto muy poco impacto ambiental. (Aguirre Fuelantala & Fuel Valencia, 2020)

1.5.2 Fundamentación Teórica

6.1.1.1. Propiedades físicas y mecánicas del Suelo.

La consolidación, de acuerdo con la definición de Terzaghi, se refiere al proceso gradual y continuo de deformación de un suelo saturado cuando se somete a cargas, debido a la expulsión del agua de los poros. Durante este proceso, el agua es expulsada de los espacios porosos del suelo, lo que conlleva una reducción del volumen del suelo y un aumento de la presión de poro. La consolidación es un fenómeno relevante en la ingeniería de suelos, ya que puede generar asentamientos en estructuras y afectar su estabilidad. (Terzagui, Ralph, & Peck, 1949)

En las propiedades físicas del suelo incluyen la permeabilidad, el cual se refiere a la capacidad de un suelo determinado para poder facilitar el movimiento del agua, está relacionada con el grado de viscosidad del agua, la ubicación, el tamaño de las zonas porosas, y los vacíos que estos también disminuyen dependiendo el espesor, las partículas de diferentes minerales son y por supuesto el factor de saturación del suelo. (Aguirre Fuelantala & Fuel Valencia, 2020)

6.1.1.2. Mejoramiento De Suelos

El suelo sobre el que se construye cualquier tipo de estructura puede no tener siempre las condiciones adecuadas para soportar las cargas transferidas desde la estructura al suelo. Por ejemplo, el suelo granular puede ser muy suelto y causar muchos asentamientos, en cuyo caso se debe encontrar la manera de compactar el suelo y así poder aumentar su resistencia. (López Martínez, 2017)

Por lo general los mejoramientos de suelo se realizan con los siguientes objetivos:

- Mejorar la resistencia a corte general del suelo y así conseguir aumentar su capacidad de carga.
- Disminuir los asentamientos de las diferentes estructuras.
- Controlar la permeabilidad del suelo.

Cualquier tipo de mejoramiento del suelo depende del tipo de suelo y del tipo de la estructura que se construirá en el lugar. Existen varios métodos de mejoramiento del suelo, como la compactación, la pre-compactación, el reemplazo de suelo, la vibro flotación, la estabilización con distintos aditivos, la eliminación de arena, etc. A continuación, se describen varios métodos comunes de mejoramiento del suelo. (López Martínez, 2017)

6.1.1.3. Mejoramiento de suelos por compactación

El suelo compactado tiene una mayor densidad y mejor resistencia al corte que el suelo suelto, por lo que la compactación del suelo in situ es uno de los métodos de mejora del suelo más utilizados, especialmente en la construcción de terraplenes y carreteras. El principio básico de la compactación es la compactación con la humedad del suelo. (López Martínez, 2017)

Este método también es posible para suelos granulares finos y orgánicos, aunque el resultado es más desafiante por lo que estos suelos contienen partículas más pequeñas que los suelos granulares gruesos, por esta razón tienden a ser más cohesivos.

Además, los suelos orgánicos son ricos en contener materia orgánica por lo que son más compresibles, estos aspectos dificultan la compactación, sin embargo, se debe recalcar que en la compactación de este tipo de suelos es de gran ayuda considerar diferentes alternativas de estabilización o refuerzo como fibras naturales.

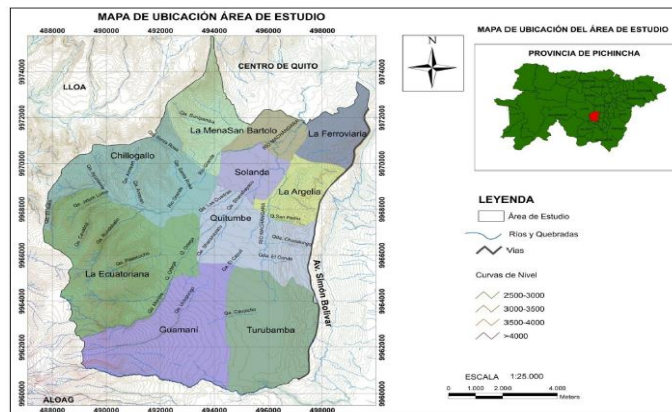
CAPÍTULO II

DESCRIPCIÓN SUELO ESTUDIADO

2.1.ORIGEN DEL ÁREA DE ESTUDIO

2.1.1. PARROQUIA TURUBAMBA

Ilustración 1 Mapa de ubicación de área de estudio.



Fuente: (Avilés Ponce, 2013)

Turubamba tiene como significado un valle de lodo, fue fundada el 17 de febrero de 1986, su historia trasciende desde que los primeros pobladores llegaron a colonizar simplemente era un “montón de potreros cruzados por dos grandes quebradas y un par de Ciénegas” (Vizuet C. , 2010) son las palabras de los antiguos moradores de esta conocida parroquia asentada en el sur de Quito, la cual está delimitada por las parroquias Quitumbe y Guamaní: (Peñafiel Rosales & Reascos Armas, 2021)

Ilustración 2 Ubicación del suelo de estudio



FUENTE: Google Earth Pro

El sector de Garrochal solía tener un uso agrícola, debido a q el suelo es rico en materia orgánica; teniendo como consecuencia el aumento de los asentamientos en el sector. El Garrochal de Quito fue utilizado como basurero y papelera, creando una superficie

regular con compactación continua de dichos materiales. (Andino Zumárrago & Bedon Noguera, 2017)

Un suelo rico en materia orgánica provoca una mala calidad del suelo lo cual trae como consecuencias, pérdidas de capacidad de carga del suelo para cimientos, la resistencia del material no es suficiente para mantener la estabilidad al realizar excavaciones superficiales o subterráneas por lo que se irán formando pantanos. (Avilés Ponce, 2013)

Al sur de la ciudad de Quito en la ubicación del estudio con coordenadas: Latitud: -0°20'24'', Longitud -78°31'57'', se encontró el nivel freático en la superficie a 50 cm. Además, que se pudo observar que el suelo era blando y poco estable. (Castro, Santillán)

Ilustración 3 Ubicación del nivel freático



Fuente: Elaboración propia

2.2. CONTENIDO DE HUMEDAD

Se refiere a la cantidad de agua que presenta una muestra de suelo. Es un método estándar que se utiliza para determinar la humedad en porcentaje mediante el secado en horno. (ASTM D2216-19, 2019).

El contenido de humedad de un suelo se define como la relación entre el peso del agua contenida en el suelo y el peso del suelo seco, y se expresa comúnmente en porcentaje. (Terzagui, Ralph, & Peck, 1949).

2.2.1. RESULTADOS

El contenido de humedad en estado natural del suelo es del 54.65% en promedio de las dos muestras tomadas. Este valor está relacionado a la exposición de material con las condiciones climáticas, puesto que esta muestra se extrajo a una profundidad menor a un

metro. El valor obtenido para la investigación fue realizado al momento de realizar la clasificación SUCS en el laboratorio.

Tabla 1 Contenido de Humedad

RESUME DE RESULTADOS		
Muestra 1	53.55	%
Muestra 2	55.75	%
Promedio	54.65	%

Fuente: Elaboración Propia

2.3. GRANULOMETRÍA

2.3.1. Granulometría por tamizado

La granulometría es un método que se utiliza para establecer la distribución del tamaño de la partícula del suelo mediante la utilización de tamices con aberturas de malla de distintos tamaños para separar las partículas de una muestra de suelo por medio del tamizado. Acorde a esta conceptualización la granulometría nos ayudará a conocer qué tipo de suelo estamos tratando y aquellos tamaños de agregados que va a tener este suelo. (ASTM D6913, 2017)

2.3.1.1. RESULTADOS

Acorde al proceso realizado a las 2 muestras tomadas de suelos, se analizó que las muestras ensayadas son consideradas como suelo fino, debido a que más del 50 % del material pasa por el tamiz N.º 200. No se obtuvo presencia de gravas en el análisis granulométrico puesto que ninguna partícula se retuvo en el tamiz N.º 4. A su vez las partículas de arenas tienen un porcentaje de 16.58% y 16.65% respectivamente en cada muestra. El último porcentaje se compone principalmente de arena fina que representa el 14.61% y 14.77% respectivamente en cada muestra con respecto a toda la muestra.

Tabla 2 Granulometría por Tamizado. Muestra 1.

MUESTRA 1			
TAMIZ N°	DIÁMETRO (mm)	PESO RETENIDO	% QUE PASA
3"	75	0	100
2"	50	0	100
1 1/2"	37.5	0	100
1"	25	0	100
3/4"	19	0	100
3/8"	9.5	0	100
4	4.75	0	100
10	2	0	100
40	0.425	2.85	98.03
200	0.075	21.11	83.42

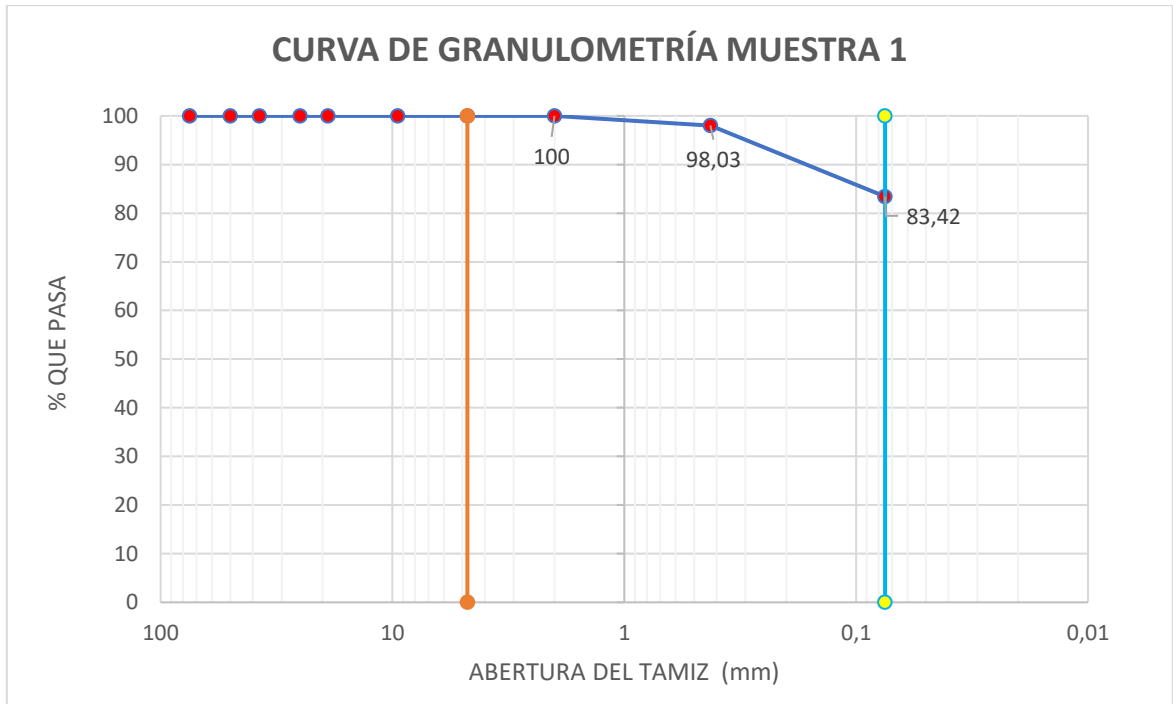
Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 3. Granulometría por tamizado. Muestra 2

MUESTRA 2			
TAMIZ N°	DIÁMETRO (mm)	PESO RETENIDO	% QUE PASA
3"	75	0	100
2"	50	0	100
1 1/2"	37.5	0	100
1"	25	0	100
3/4"	19	0	100
3/8"	9.5	0	100
4	4.75	0	100
10	2	0	100
40	0.425	2.53	98.12
200	0.075	19.92	83.35

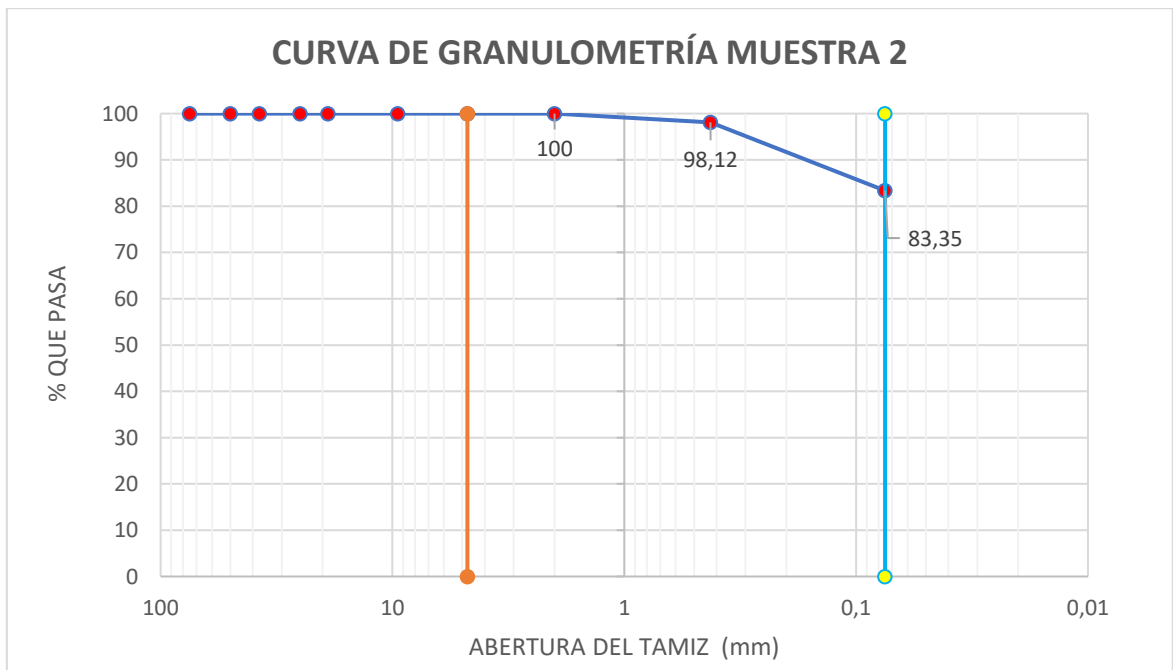
Fuente: Elaboración Propia.

Ilustración 4 Granulometría por Tamizado. Muestra 1.



Fuente: Elaboración Propia.

Ilustración 5. Granulometría por tamizado. Muestra 2.



Fuente: Elaboración Propia.

2.3.2. Granulometría por hidrómetro

El análisis de hidrómetro es un método ampliamente utilizado para obtener un estimado de la distribución granulométrica de suelos cuyas partículas se encuentran desde el tamiz No. 200(0.075 mm) hasta alrededor de 0.001 mm. (Bowles, 2019)

2.3.2.1.RESULTADOS

Tabla 4 Granulometría por hidrómetro y tamizado. Muestra 1.

MUESTRA 1	
% QUE PASA	DIAMETRO
100.00	2
98.03	0.425
83.28	0.075
81.41	0.075132
79.38	0.061943
73.27	0.044841
67.16	0.031997
61.06	0.022727
54.95	0.016284
48.85	0.012349
40.71	0.008906
34.60	0.006443
28.49	0.004606
24.42	0.003315
20.35	0.002361
18.32	0.001363
18.32	0.000964

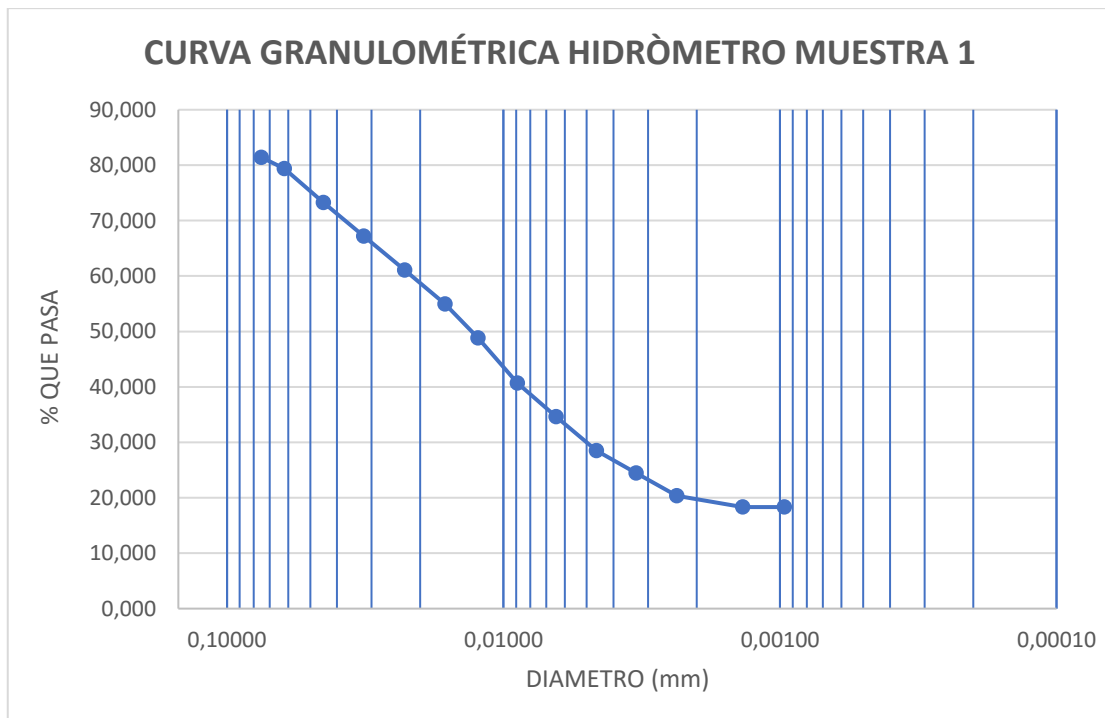
Fuente: Elaboración propia

Tabla 5. Granulometría por hidrómetro y tamizado. Muestra 2.

MUESTRA 2	
% QUE PASA	DIAMETRO
100	2
97.85	0.425
83.28	0.075
83.447	0.075132
79.376	0.061943
75.306	0.044841
69.200	0.031997
63.094	0.022727
56.988	0.016284
50.882	0.012349
42.741	0.008906
36.635	0.006443
30.529	0.004606
26.459	0.003315
22.388	0.002361
18.318	0.001363
16.282	0.000964

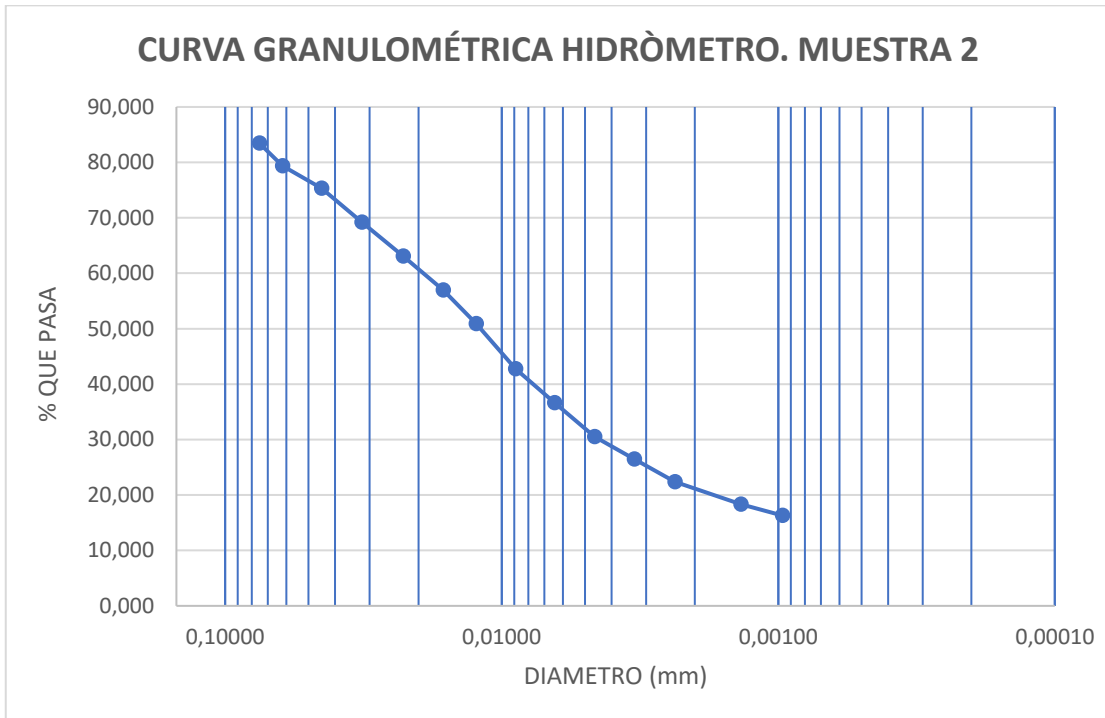
Fuente: Elaboración propia

Ilustración 6 Curva granulométrica por Hidrómetro. Muestra 1.



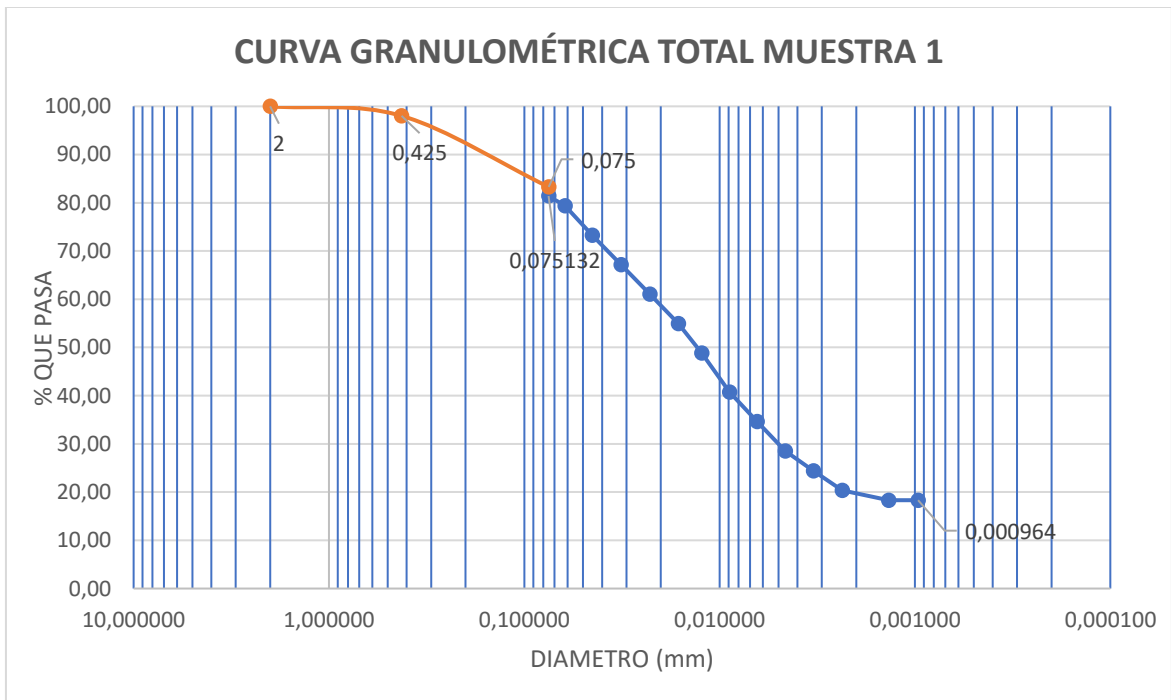
Fuente: Elaboración Propia

Ilustración 7. Curva granulométrica por hidrómetro. Muestra 2.



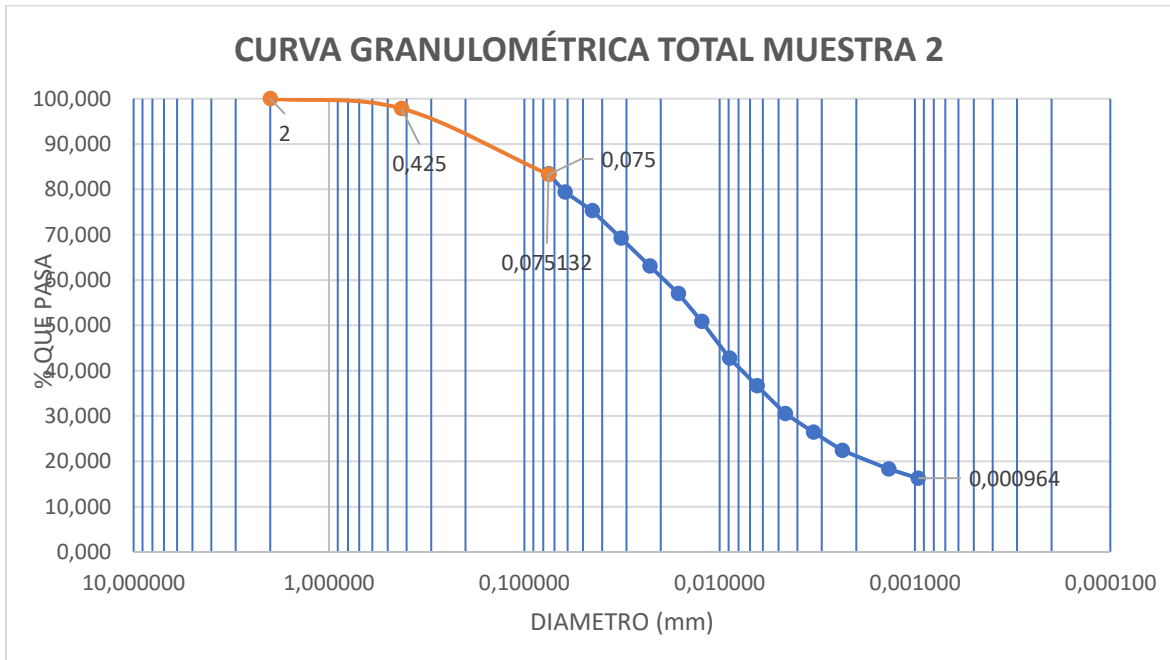
Fuente: Elaboración Propia

Ilustración 8 Curva Granulométrica combinada por tamizado e hidrometría. Muestra 1.



Fuente: Elaboración Propia

Ilustración 9. Curva granulométrica combinada por tamizado e hidrometría. Muestra 2.



Fuente: Elaboración Propia

2.4. LÍMITES DE ATTERBERG

2.4.1. Límite Líquido

El límite líquido se define como el contenido de humedad con el que un suelo cambia de estado plástico a líquido. (Villacís Troncoso, y otros, 2022).

2.4.2. Límite Plástico

El límite plástico es el contenido de humedad con el que un suelo cambia de estado semisólido a plástico. (Villacís Troncoso, y otros, 2022)

2.4.3. Índice de plasticidad

La diferencia entre el Límite Líquido y el Límite plástico se denomina índice de plasticidad. (Villacís Troncoso, y otros, 2022)

2.4.4. Resultados.

Al realizar el ensayo de límite líquido se obtuvo un valor promedio de 51.19% así como el límite plástico de 40.98% con estos datos obtuvimos un índice de plasticidad del 10.71% esto nos ayuda a conocer el tipo de suelo que estamos realizando.

Tabla 6 Índice Líquido, plástico y plasticidad

	M1	M2	PROMEDIO
LÍMITE LÍQUIDO (1)	50.95	51.42	51.19
LÍMITE PLÁSTICO	40.22	41.73	40.98
ÍNDICE DE PLASTICIDAD	11.73	9.69	10.71
LÍMITE LÍQUIDO (SSH) (2)	69.93	69.53	69.73
LL (1) /LL (2)	0.729	0.74	0.734

Fuente: Elaboración Propia.

2.5.GRAVEDAD ESPECÍFICA

La gravedad específica del suelo se define como la relación entre la masa de una cantidad determinada de sólidos del suelo y la masa equivalente de agua destilada sin presencia de gases a una temperatura específica. (ASTM D854-14, 2014)

El procedimiento para determinar la gravedad específica está dado por la norma ASTM D854-14: Standard Test Methods for Specific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometer. Esta norma ayuda a determinar la gravedad específica para suelos pasantes del tamiz N°4 (4,75 mm). (ASTM D854-14, 2014)

2.5.1. RESULTADOS

Tabla 7 Resultado Gravedad Específica

Prueba N.º	1	2	3
Matraz	VPS05	VPS01	VPS04
Masa suelo natural (gr)	74,29	77,3	75,78
Masa del Matraz (gr)	95,37	144,08	96,32
Masa matraz + agua (gr)	649,98	642,72	642,31
Maza matraz +agua+suelo (gr)	678,2	672,83	671,91
Temperatura (Cº)	23,5	24	23
Capsula de evaporación			
Masa de la capsula (gr)	244,06	244	322,56
Masa capsula +suelo seco (gr)	291,34	294,27	371,96
k (corrección)	0,998	0,998	0,998
	47,28	50,27	49,4
Gs (Gravedad Específica)	2,48	2,49	2,49
Gs (Gravedad Específica) promedio	2,48		

Fuente: Elaboración Propia.

2.6. CONTENIDO ORGÁNICO.

Para determinar el contenido orgánico en muestras, se ha empleado la norma ASTM D 2974 como referencia. Según esta norma, se recomienda tomar muestras de 10 gramos y colocarlas en un recipiente de porcelana. Este procedimiento permite realizar el análisis y cuantificar el contenido de materia orgánica presente en la muestra. La norma ASTM D 2974 proporciona pautas estandarizadas para garantizar la consistencia y precisión en la determinación del contenido orgánico en diferentes tipos de muestras. (ASTM D2974, 2020)

Ilustración 10. Rango de contenido orgánico según ASTM D4427.

Rango de contenido orgánico (ASTM D4427)		
Tipo de suelo básico	Descripción	Contenido orgánico (%)
arcilla, limo, arena	ligeramente orgánico	2-20
suelo orgánico		25-75
Turba		>75

Fuente. (ASTM D4427-23)

2.6.1. RESULTADOS.

Tabla 8 porcentaje de contenido orgánico.

	1	2	2
Masa del contenedor	109,3276	109,381	124,4815
Masa del contenedor +Suelo seco	171,2369	164,2766	176,565
Masa del contenedor + suelo seco (Después de quemado)	168,2551	161,5904	173,9791
Masa de Suelo seco	61,9093	54,8956	52,0835
Masa de suelo calcinado	58,9275	52,2094	49,4976
Porcentaje de contenido de ceniza	95,183599	95,106712	95,035088
Porcentaje de materia orgánica	4,8164008	4,8932884	4,9649121
Promedio	4,891533743		

Fuente: Elaboración Propia.

2.7. CLASIFICACIÓN SUCS

El sistema unificado de clasificación de suelos se basa en la norma ASTM-D2487, este sistema clasifica el suelo en 3 grandes grupos: Suelos gruesos, suelos finos y turbas. (ASTM D2487-17, 2023)

Las partículas que se retienen en el tamiz N°200 -0,075 mm son denominados suelos gruesos, en este grupo podemos encontrar las gravas (G) y las arenas (S). (Terzagui, Ralph, & Peck, 1949)

Las partículas que pasan el tamiz N° 200 son denominados suelos finos. En este grupo podemos encontrar los limos M, las arcillas C, las arcillas o limos orgánicos O. Estos suelos finos pueden tener baja de plasticidad L o alta plasticidad H. (Terzagui, Ralph, & Peck, 1949)

Las turbas al tener un gran alto contenido de materia orgánica y olor fuerte a causa de su descomposición son muy fáciles de poder reconocerlas. (Terzagui, Ralph, & Peck, 1949)

La clasificación por SUCS corresponde a dos elementos, primero su símbolo y segundo su descripción conocida como el nombre del grupo, el símbolo está conformado por dos letras en donde la primera corresponde a su característica principal y la segunda corresponde a su curva granulométrica, como podemos observar en la ilustración 6. (Peñañiel Rosales & Reascos Armas, 2021)

Ilustración 11 Simbología SUCS

SIMBOLOGÍA SUCS			
TIPOS DE SUELO	PREFIJO	SUBGRUPO	SUBFIJO
GRAVA	G	Bien graduada	W
ARENA	S	Probemente graduada	P
LIMO	M	Limoso	L
ARCILLA	C	Arcilloso	M
ORGÁNICO	O	Baja Plasticidad	L
TURBA	PT	Alta plasticidad	H

Fuente: (Peñañiel Rosales & Reascos Armas, 2021)

En la siguiente ilustración podremos observar las diferentes combinaciones mediante la simbología principal de los suelos según SUCS. (Peñañiel Rosales & Reascos Armas, 2021)

Ilustración 12 Tipología SUCS

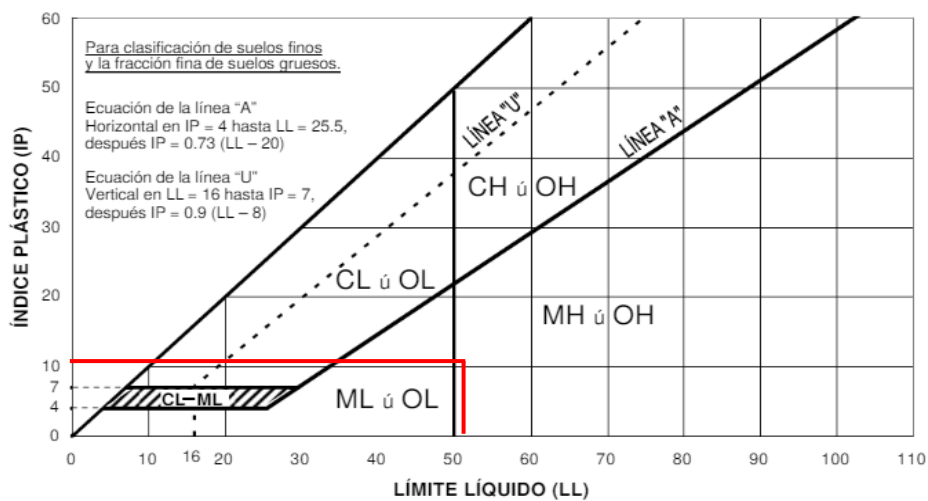
TIPOLOGÍA SUCS			
SIMBOLO	Características Generales		
GW	GRAVAS (>50% en Tamiz #4)	Limpias (Finos <5%)	Bien graduada
GP			Pobremente Graduada
GM		Con Finos (Finos >12%)	Componente Limoso
GC			Componente Arcilloso
SW	ARENAS(<50% en Tamiz #4)	Limpias (Finos <5%)	Bien graduada
SP			Pobremente Graduada
SM		Con Finos (Finos >12%)	Componente Limoso
SC			Componente Arcilloso
ML	LIMOS	Baja Plasticidad (LL<50)	
MH		Alta plasticidad (LL>50)	
CL	ARCILLAS	Baja Plasticidad (LL<50)	
CH		Alta plasticidad (LL>50)	
OL	SUELOS ORGANICOS	Baja Plasticidad (LL<50)	
OH		Alta plasticidad (LL>50)	
PT	TURBAS	Suelos Altamente Orgánicos	

Fuente: (Peñañiel Rosales & Reascos Armas, 2021)

2.7.1.1.RESULTADOS

Al tener los resultados del límite líquido y el límite plástico, nos ubicamos en la carta de plasticidad con los siguientes datos: límite líquido tenemos 51.19% y con el índice de plasticidad de 10.71% como se puede observar en la ilustración 10.

Ilustración 13 Carta de plasticidad



Fuente: (ASTM D2487-17, 2023)

Luego de obtener los datos del índice de plasticidad y límite líquido, se observa que el suelo estudiado está dentro del tipo, MH u OH. Con este resultado nos dirigimos a la carta de clasificación del suelo que se encuentra en la ilustración 14, y según nuestra granulometría, sabemos que el suelo pasa más del 50% el tamiz #200.

Verificamos el suelo en la siguiente tabla de Carta de clasificación del suelo obtenido de la norma ASTM D2487, 17 según la granulometría previamente realizada y con los resultados de la relación de límite líquido secado al horno sobre límite líquido no secado se puede observar que el suelo pertenece al tipo OH.

Tabla 9. Relación límite líquido secado al horno vs límite líquido no secado

Promedio Límite Líquido secado al horno	51.19 %
Promedio Límite líquido no secado	69.73 %
Relación	0.734

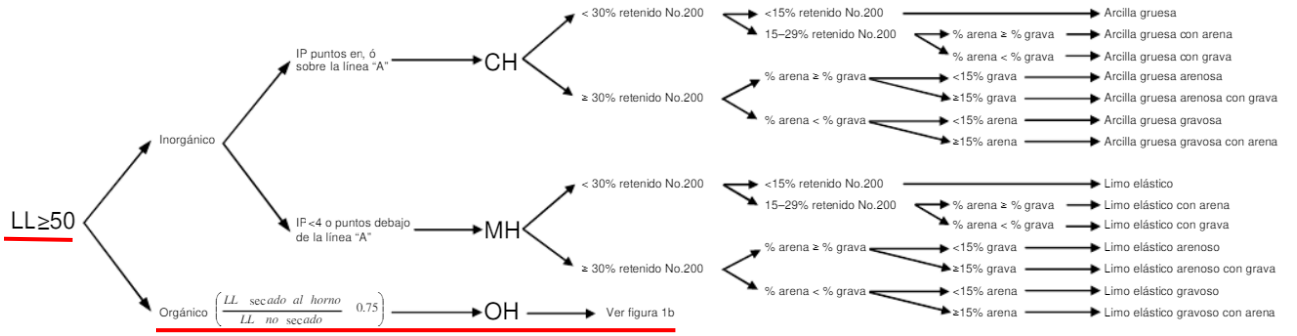
Fuente: Elaboración Propia.

Ilustración 14. Asignación de símbolo y nombre de grupo.

Criterio para asignación de Símbolo de Grupo y Nombre de Grupo utilizando Pruebas de Laboratorio ^A				Clasificación del Suelo	
				Símbolo del Grupo	Nombre del Grupo ^B
SUELOS DE GRANULOMETRIA GRUESA Más del 50% es retenido en la malla No. 200	Gravas Más del 50% de la fracción gruesa es retenida en la malla No.4	Gravas Limpias	$Cu \geq 4$ y $1 \leq Cc \leq 3^E$	GW	Grava bien graduada ^F
		Menos del 5% de finos ^C	$Cu < 4$ y/ó $1 > Cc > 3^E$	GP	Grava mal graduada ^F
		Gravas con Finos Más del 12% de finos ^C	Finos clasificados como ML ó MH Finos clasificados como CL ó CH	GM GC	Grava limosa ^{F,G,H} Grava arcillosa ^{F,G,H}
	Arenas 50% ó más de la fracción gruesa pasa la malla No.4	Arenas Limpias	$Cu \geq 4$ y $1 \leq Cc \leq 3^E$	SW	Arena bien graduada ^I
		Menos del 5% de finos ^D	$Cu < 4$ y/ó $1 > Cc > 3^E$	SP	Arena mal graduada ^I
		Arenas con Finos Más del 12% de finos ^D	Finos clasificados como ML ó MH Finos clasificados como CL ó CH	SM SC	Arena limosa ^{F,G,H} Arena arcillosa ^{F,G,H}
SUELOS DE GRANULOMETRIA FINA 50% ó más pasa la malla No. 200	Arcillas y Limos Límite líquido menor a 50	Inorgánico	$IP > 7$ y puntos en ó sobre la línea "A" ^J	CL	Arcilla magra ^{K,L,M}
		Orgánico	Límite líquido - secado al horno <0.75 Límite líquido - no secado	OL	Arcilla orgánica ^{K,L,M,N} Limo orgánico ^{K,L,M,O}
		Arcillas y Limos Límite líquido de 50 o más	Inorgánico	IP puntos en ó sobre la línea "A" IP puntos debajo de la línea "A"	CH MH
	Orgánico		Límite líquido - secado al horno <0.75 Límite líquido - no secado	OH	Arcilla orgánica ^{K,L,M,P} Limo orgánico ^{K,L,M,O}
	SUELOS ALTAMENTE ORGÁNICOS		Sobre todo materia orgánica, color negro, y olor orgánico	PT	Turba

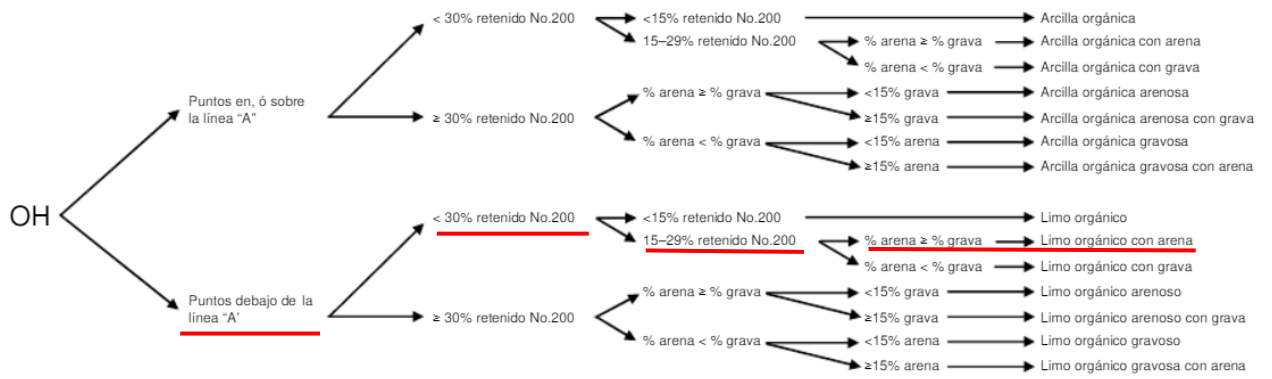
Fuente: Elaboración Propia.

Ilustración 15. Diagrama para clasificación de suelos de granulometría fina. (50% pasa el tamiz #200)



Fuente: Elaboración Propia.

Ilustración 16 Diagrama de Flujo para la Clasificación de Suelos Orgánicos de Grano Fino (50 % o Más Pasa el Tamiz No. 200)



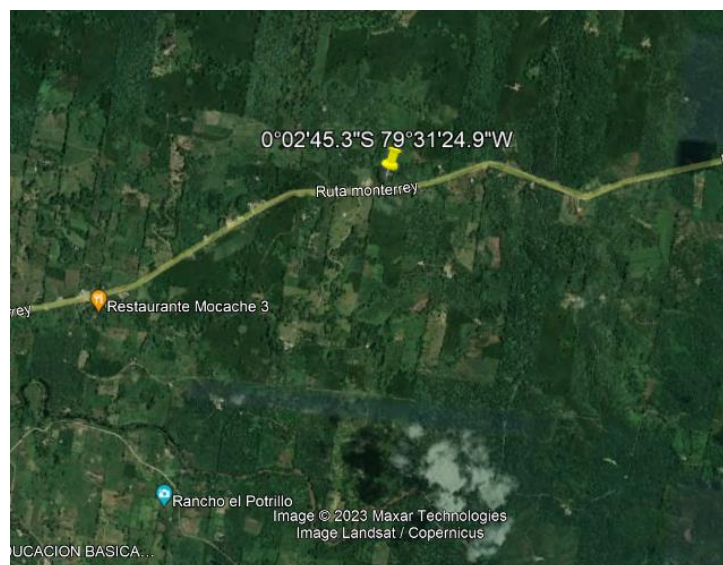
Fuente: (ASTM D2487-17, 2023)

CAPÍTULO III

DESCRIPCIÓN FIBRA DE ABACÁ

3.1. ORIGEN

Ilustración 17 Ubicación extracción de la fibra de abacá



FUENTE: Google Earth Pro

La fibra utilizada en nuestra investigación fue extraída de la parroquia de Monterrey del cantón la concordia provincia de Santo Domingo, obtenido de finca S/N donde se encuentra identificado por coordenadas.

3.2. PLANTA DE ABACÁ

El abacá, también llamado "cañamo de Manila", se obtiene de la vaina de la hoja que rodea el cuerpo del abacá, un pariente cercano del banano. Originario de Filipinas y muy extendido en los trópicos húmedos. La cosecha de abacá requiere mucha mano de obra, ya que cada tallo debe cortarse en tiras, que se raspan para quitar la pulpa. (Ponce Molina, 2015)

Abacá (*Musa textiles*) es una gran planta herbácea de la familia de las musáceas, originaria de Filipinas. Su altura puede alcanzar los 5 metros y crece en lugares cálidos y lluviosos. Es bastante similar a la planta del plátano (*Musa paradisiaca*), las cuales pertenecen a la misma familia, pero se diferencia en que su fruto no es comestible y su follaje es más vertical y angosto. (Ponce Molina, 2015)

Ilustración 18 Planta del abaca



Fuente: (ASOCAE O.N.G.D, 2011)

3.3.FIBRA DE ABACÁ

Fibra de hoja, compuesta por células largas y delgadas que forman parte de la estructura de soporte de la hoja, está compuesta mayormente por 77% de celulosa y 9% de lignina. El abacá es valorado por sus magníficas propiedades (resistencia, longitud, brillo), lo cual detallaremos en el informe más adelante. (Jácome Gómez, Cristina Martínez, De La Cruz Chicaiza, Chica Solórzano, & Valencia Enriquez, 2023)

Ilustración 19 Fibra de Abacá



Fuente: (Zambrano, 2013)

3.3.1. Características agronómicas del abacá.

La producción promedio anual de abacá en Filipinas es de 650 kg/ha y en Ecuador es de aproximadamente 1800 kg/ha. De las cuales solo se cultivan 3 variedades como son:

- **Bungalanón:** Es un tipo de variedad precoz, presentan un menor desarrollo como planta, tienen tallos pequeños y delgados, su base es de un color café y su parte

posterior verde brillante, este presenta fibras blancas y suaves. Su producción es de 5 a 6 años desde su plantación.

- Tangongón: su característica es que produce fibras normales, pero con una gran fuerza; sus Tallos son de diámetro y longitud grande, y producen hijuelos muy limitados, sus raíces no poseen un anclaje correcto.
- Maguindanao: Se caracterizan por tener tallos largos y fibras muy fácil de extraer. Su producción es de aproximadamente de 15 años. (Pontón Bravo, 2009)

3.4.PROPIEDADES

La fibra de abacá es valorada por su alta resistencia mecánica, flotabilidad, resistencia al daño causado por el agua salada, presenta cierta acidez cuando se usa como núcleo de cable y por la longitud de su fibra que mide más de 3 metros, en la parte transversal a las fibras son poligonales y sus paredes son tipo celulares y muy delgadas. (Ponce Molina, 2015)

3.5.CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA DEL ABACÁ.

- Reino: plantae
- Filo: magnoliophyta
- Clase liliopsida
- Orden: zingiberales
- Familia: musaceae
- Género: musa
- Especie: m. textilis. (Larico Larico, 2009)

3.6.DESCRIPCIÓN BOTÁNICA.

3.6.1. Rizoma o bulbo:

Comúnmente se lo conoce como cepa similar a una enredadera, produce una yema vegetativa que emerge de la planta madre y sufre un cambio anatómico y morfológico en sus tejidos y creciendo en sentido del diámetro forma el rizoma que alcanza una altura considerable grande. (El Agrónomo orgánico, 2012)

El origen de nuevas plantas da en la zona interior donde se originan raíces y yemas vegetativas, que se convierten en nuevos brotes o hijos. Cada planta nace en forma de cogollo y crece en la raíz de la planta madre o tallo principal del que se alimenta hasta producir hojas anchas y autosuficientes. (El Agrónomo orgánico, 2012)

3.6.2. Sistema radicular:

Su sistema radicular se caracteriza por tener raíces superficiales las cuales se distribuyen en una capa de 30 a 40 cm. y existe una mayor concentración de raíces en la capa de 15 a 20 cm. (El Agrónomo orgánico, 2012)

Las raíces son blancas, blandas durante la germinación y luego estas se vuelven amarillentas y duras, tiene medidas de 5-8 mm de diámetro, longitud variable y pueden tener 2,5-3 m de crecimiento lateral y hasta 1,5 m de profundidad. La penetración de las raíces del abacá es débil, la dispersión de sus raíces está relacionada con la composición y estructura del suelo. (El Agrónomo orgánico, 2012)

3.6.3. Sistema foliar.

Las hojas de abacá se originan en un punto de crecimiento central o meristemo en la punta del bulbo. En este caso, se observa tempranamente la formación de un tallo temprano y una nervadura central que termina en un filamento, que luego se convierte en vaina. La parte de la nervadura se alarga y el borde izquierdo comienza a cubrir el borde derecho, que crece en altura y forman los semi limbos. La hoja se forma en la parte interna del pseudo tallo. (El Agrónomo orgánico, 2012)

La hoja crece y se desarrolla en forma enrollada en forma de cigarro. Cuando ha salido la tercera parte de la longitud, se puede apreciar la coloración verde brillante o pigmentación clorofílica que se hace inmediatamente. (El Agrónomo orgánico, 2012)

3.7. ZONAS DE PRODUCCIÓN EN EL ECUADOR

De acuerdo con la información que se obtuvo en el III Censo Nacional Agropecuario, geográficamente el abacá se encuentra concentrado en un triángulo comprendido por las provincias de Pichincha, Esmeraldas y Manabí. (Ponce Molina, 2015)

De igual manera podemos encontrar distintas fincas en la provincia de Los Ríos. Pero realmente las principales zonas productoras son La Concordia y Santo Domingo. En La Concordia se encuentra el 39% y en Santo Domingo, el 36% de la superficie plantada. (Ponce Molina, 2015)

Ilustración 20 Producción del abacá.

	EFECTIVA		PREVISTA	Y	
	Promedio	Promedio	2010	1988-90 a 1998-2000	1998-2000 a 2010
	1988-1990	1998-2000			
	<i>miles de toneladas</i>			<i>porcentaje anual</i>	
ABACÁ					
Mundo	74	87	86	2,0	-0,5
Ecuador	10	13	12	2,8	-0,6
Filipinas	61	72	71	1,9	-0,5

Fuente: (Ponce Molina, 2015)

3.8. LABORES POR SIEMBRA

Coronas: Después de plantar el abacó, es necesario hacer una corona de hacha de esta manera, eliminando los pequeños troncos que no han sido destruidos y que luego pueden impedir que la planta se desarrolle por completo. Este procedimiento debe repetirse cada 3 meses. (Quiñonez Intriago, 2021)

Deshije: Esta práctica tiene varios criterios; para algunas, el deshije reduce la producción, por lo que mantienen una densidad de 20 a 25 tallos por planta, lo que da como resultado un tallo muy delgado. En cambio, algunas dejan 6-8 tallos por planta, por lo que encontrarás tallos más grandes y con mayor porcentaje de fibra. (Ponce Molina, 2015)

El primer deshije se realiza a los 6 meses. Se deben realizar dos o tres deshije más entre los 6 y los 18 meses, época en la que realiza el primer corte. Este deshije debe hacerse de manera que se deje un despejado un sitio o abertura por donde se cosechará en el futuro del tallo principal. (Ponce Molina, 2015)

Deshoje: Al mismo tiempo de realizar la labor de deshije, se debe realizar también el deshoje, que consiste en eliminar todo el material que se considera indeseable, para que la plantación puede tener más luz y ventilación. (Ponce Molina, 2015)

3.9. REQUERIMIENTOS DE CLIMA Y SUELO

El abacá se puede cultivar en ubicaciones óptimas para obtener mejores resultados.

3.9.1. Temperatura:

Las mejores zonas de cultivo para el abacá son los climas tropicales húmedos con temperaturas entre 22 y 28 °C. Además, la precipitación fluvial es muy importante. (El Agrónomo orgánico, 2012)

3.9.2. Lluvia:

Esta placa tiene que recibir de 1,800 mm a 2,500 mm de agua (100 a 160 pulgadas) las cuales deben estar distribuidas perfectamente durante todo el año. La humedad y la luz del sol son dos factores muy importantes para la producción de abacá. (El Agrónomo orgánico, 2012)

3.9.3. Luminosidad:

Demasiada luz solar combinada con falta de humedad puede afectar negativamente el desarrollo de una planta normal hasta el punto de destruir el valor de producción. En un entorno de crecimiento adecuado, la temporada de producción de una plantación de abaco puede ser de 15 a 20 años. (El Agrónomo orgánico, 2012)

3.9.4. Época:

El momento más favorable para la siembra es al comienzo de la temporada de invierno; sin embargo, también se puede sembrar en otras épocas si hay suficiente humedad en el suelo. (El Agrónomo orgánico, 2012)

3.9.5. Densidad de siembra:

En cuanto a la densidad de siembra esta dependerá de las condiciones del terreno; se han obtenido buenos resultados sembrados a distancias de 3x3, 3.5x3.5 y 4x4 metros. (El Agrónomo orgánico, 2012)

3.10. PRODUCTIVIDAD

La duración de la siembra depende principalmente de la naturaleza de la tierra y de lo bien que se cuide. Se cree que la planta de abacá produce comercialmente hasta por 15 o 25 años. (Ponce Molina, 2015).

3.11. COSECHA

El tiempo de cosecha del abacá depende de la variedad plantada, que depende de otros factores como las condiciones climáticas, el trabajo cultural, pero por lo general la primera cosecha se realiza 18-24 meses después de la siembra y se conoce como el momento ideal para la siembra. comienza a formarse la inflorescencia, por lo que no se recomienda antes ni después de la formación, porque reduce la calidad de la fibra. (Quiñonez Intriago, 2021)

El proceso de cosecha tiene diferentes operaciones hasta obtener la fibra los cuales tenemos:

- Sunkeo o deshoje: El objetivo es cortar los tallos listos para cosechar.
- Corte de tallos: Los tallos seleccionados se cortan a 10 cm del suelo con el corte inclinado hacia afuera para evitar que la podredumbre y las enfermedades entren a través de la sección cortada.
- Tuxeado: El tallo cortado al suelo debe separarse de los trozos circundantes con un cuchillo, cortado en tiras o penachos de 5-8 cm de ancho y 2-4 cm de espesor., la longitud es una función del tamaño del tallo. Transporte de tuxie: Los tuxes se agrupan y amarran formando los denominados tongos o bultos, los cuales son transportados por lo general en burros, mulas, caballos o animales de trabajo de carga.
- Desfibrado: Este procedimiento es de vital importancia para obtener una fibra de buena calidad por lo cual se lo debe realizar antes de 8 a 12 horas a partir del corte, caso contrario este cambiará el color de la fibra a uno descolorido, disminuyendo la calidad, este procedimiento se lo realiza mediante una máquina que se compone del rodillo, cuchillas y un sistema de embargo.
- Secado: La fibra cortada contiene un gran porcentaje de humedad por lo cual se necesita secar en tendedores contruidos principalmente por material como el pambil o caña guadua, el tiempo de secado está en función de las condiciones climáticas, mientras se realiza este paso de secado también se va separando las fibras según el color que presente. (Quiñonez Intriago, 2021)

3.12. USOS

La fibra de abacá en el siglo XIX, su uso fue bastante importante para abastecer a los barcos y su pulpa se usaba para fabricar cajas de manila resistentes.

Además, la pulpa del abacá es usada para elaborar el papel estampado, los filtros de cigarrillos, las bolsitas de té y la envoltura de las salchichas, y también es usado como papel moneda (hay hasta 30 abacá en un yen japonés). (los billetes del yen japoneses contienen hasta un 30% de abacá). (Larico Larico, 2009)

Esta fibra también se emplea para la elaboración de varias sogas, cordones, cordeles, líneas de pesca y redes, así como tela basta para sacos. Además, actualmente está creciendo el nicho de mercado especializado en ropa, cortinas, pantallas y tapicería de abacá. (Larico Larico, 2009)

Se puede describir a él Abacá como un elemento decorativo de color natural, el cual se puede aplicar a distintos diseños, que se utiliza acorde a la composición y estilo que se desee dar dependiendo el lugar o el ambiente. Se ha podido visualizar que los muebles confeccionados por este material han sido protagonistas de ambientes relajados y frescos, que inspiran a tener la combinación de lo rústico y lo clásico. (Larico Larico, 2009)

3.13. DENSIDAD DE LA FIBRA DE ABACÁ

Como ocurre con todas las fibras naturales, la fibra de abacá presenta una baja densidad debido a la estructura hueca de sus células. Esta característica la convierte en un material ideal para la fabricación de productos ligeros. Según la literatura consultada, su densidad varía entre 1,3 g/cm³ y 1,5 g/cm³, lo que representa aproximadamente la mitad de la densidad de la fibra de vidrio. (Álcivar Zambrano & Escobar León, 2019)

Es común utilizar la densidad lineal o fineza de los hilos y fibras, lo cual indica la masa por unidad de longitud. Esta propiedad se determina mediante la aplicación de la norma estándar ASTM D1577. (Álcivar Zambrano & Escobar León, 2019).

La densidad de la fibra de abacá tiene un promedio lineal de 4,85 tex con una desviación estándar de 7,41 tex, estos datos fueron obtenidos de (Álcivar Zambrano & Escobar León, 2019).

3.14. CONTENIDO DE HUMEDAD

El porcentaje de humedad en fibras naturales es fundamental para tratamientos posteriores que ayudan al desarrollo de varios sectores industriales donde su regulación mejora la adherencia y procesamiento debido a la influencia en la elasticidad, flexibilidad y resistencia mecánica. (Lopez, Sarmiento, Fajardo, Valarezo, & Zuluaga)

Al cosechar la fibra de abacá se obtiene una humedad natural de 45%, luego al exponerle al sol en un rango de 2 a 4 horas, la humedad se reduce aproximadamente al 8%. (Álcivar Zambrano & Escobar León, 2019).

Para este estudio se tomó como referencia la humedad para la fibra de 6.11%, datos obtenidos de la investigación realizada por (Álcivar Zambrano & Escobar León, 2019).

3.15. RESISTENCIA A LA TENSIÓN

La resistencia a la tensión se define como el punto de mayor esfuerzo registrado en el gráfico de esfuerzo versus deformación. El esfuerzo se refiere a la carga aplicada por unidad de área, mientras que la deformación o elongación representa el porcentaje de extensión dividido por la longitud inicial de la fibra sometida a prueba. (Álcivar Zambrano & Escobar León, 2019).

Para este estudio se tomó como referencia los siguientes datos:

Ilustración 21. Resistencia a la tensión de la fibra.

Tenacidad promedio	52,54 cN/tex	Carga de rotura promedio	21,4 N
Desviación estandar	8,15 cN/tex	Desviación estandar	4,7 N

Fuente: Datos obtenidos de (Álcivar Zambrano & Escobar León, 2019)

3.16. ELONGACIÓN EN LA ROTURA

Según se mencionó previamente, la elongación en la rotura se obtiene a partir del gráfico de esfuerzo versus deformación y se calcula dividiendo la longitud de deformación por la longitud inicial de la fibra, expresado como un porcentaje. En el caso específico de la fibra de abacá, suele tener una elongación a la rotura aproximada de alrededor del 2,7%.

La longitud inicial de una fibra se refiere a la longitud original de la muestra de fibra antes de que se le aplique cualquier carga o tensión. Es la medida de la longitud de la fibra sin ninguna deformación o estiramiento causado por fuerzas externas.

Los sistemas de mordazas son utilizados para sujetar las muestras de fibra durante las pruebas de elongación y rotura. Sin embargo, es importante tener en cuenta que estos sistemas pueden tener impactos en las mediciones de elongación y rotura de las fibras debido a la forma en que sujetan las muestras. Algunos de los efectos habituales que pueden ocurrir son: efectos de sujeción, efecto de longitud efectiva y efecto de concentración de tensiones.

Se tomó como dato para la elongación en la rotura de la fibra el promedio de 1,74% con una baja dispersión de aproximadamente 0,16 y con un tiempo promedio de rotura de 20,09 segundos.

3.17. MÓDULO ELÁSTICO

El módulo elástico se define como el esfuerzo requerido para alcanzar una determinada deformación en el material. En otras palabras, se refiere a la pendiente de la curva de esfuerzo/deformación en la región proporcional de dicha curva. El módulo elástico es una

propiedad muy útil de la fibra, ya que permite evaluar su calidad. (Álcivar Zambrano & Escobar León, 2019).

La medición directa del área transversal de una fibra implica el uso de técnicas de microscopía o análisis de imagen. Se realiza un corte transversal de la fibra y se observa detalladamente la sección transversal mediante un microscopio o cámara de alta resolución. Luego, el área se calcula mediante software de análisis de imágenes o mediciones manuales. Este enfoque garantiza una medida precisa del área de la fibra.

Ilustración 22. Módulo elástico de la fibra.

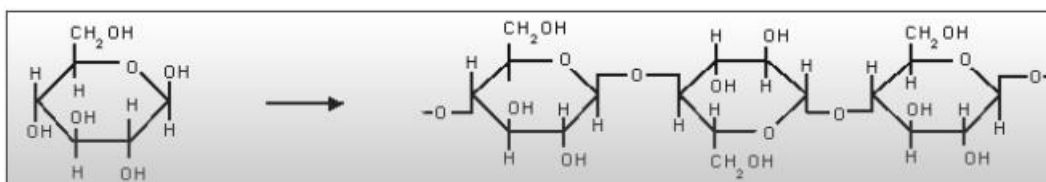
Diámetro (μm)	Diámetro (m)	Elongación (mm/mm)	Fuerza de rotura (N)	Esfuerzo (Mpa)	Elástico (Gpa)
205	0,000205	0,01738	21,4	648,36	37,3

Fuente: Datos obtenidos de (Álcivar Zambrano & Escobar León, 2019)

3.18. COMPOSICIÓN QUÍMICA

La fibra de abacá tiene la siguiente composición: 10% humedad, 63,2% celulosa, 19,6% hemicelulosa, 0,5% pectina, 1,4% extracto aceroso, 0,2% grasa y cera, y 5,1% lignina. (Salas Balseca , 2009)

Ilustración 23 Estructura molecular de la celulosa



Fuente. (Salas Balseca , 2009)

La celulosa de la fibra de abacá cuenta con un alto grado de polimerización. Lo cual le otorga a la fibra muy buenas propiedades mecánicas, es por eso que a esta fibra se le considera como una fibra dura. (Salas Balseca , 2009)

En cuanto a resultados de la composición química se tomaron los siguientes datos:

Ilustración 24. Composición química de la fibra.

	Celulosa (%)		Hemicelulosa (%)		Lignina (%)		Grasas y ceras (%)		Cenizas (%)	
	62,5	64,2	20,4	16,2	6,4	6,2	0,85	0,67	1,26	1,22
Promedio	63,35		18,3		6,3		0,76		1,24	

Fuente: Datos obtenidos de (Álcivar Zambrano & Escobar León, 2019)

CAPÍTULO IV

SUELO CON FIBRA DE ABACÁ

4.1. TIPOS DE FIBRAS UTILIZADAS PARA MEJORAMIENTO DEL SUELO

4.1.1. Fibras sintéticas.

Existen diversas opciones al seleccionar el tipo de fibra para suelos reforzados. En general, se busca utilizar materiales sintéticos que sean altamente resistentes y duraderos desde el punto de vista mecánico. (Vettorelo & Clariá, 2014)

Las fibras de polipropileno son ampliamente utilizadas en suelos reforzados debido a sus propiedades favorables. También se emplean fibras de monofilamento de poliamida, que ofrecen características adecuadas para este tipo de aplicación. (Vettorelo & Clariá, 2014)

Además, se han realizado numerosos estudios que exploran el uso de otros materiales sintéticos provenientes de la reutilización de desechos. Entre ellos se incluyen fibras de polietileno tereftalato (PET), polietileno de alta densidad y fibras de gomas de neumático. (Vettorelo & Clariá, 2014)

En resumen, la selección de la fibra adecuada para suelos reforzados ofrece una amplia variedad de opciones, incluyendo materiales sintéticos como el polipropileno y la poliamida, así como alternativas derivadas de la reutilización de desechos, como el PET y las fibras de gomas de neumático. (Vettorelo & Clariá, 2014)

4.1.2. Fibras naturales

Se han publicado investigaciones que sugieren la utilización de fibras de origen orgánico para el mejoramiento de suelos. Esta técnica ecológica y de bajo costo de mejora de suelos se ha considerado especialmente apropiada en países en desarrollo, donde se pueden obtener fibras naturales a partir de residuos de frutas y plantas utilizados en la industria alimentaria. (Vettorelo & Clariá, 2014)

Por ejemplo, se han llevado a cabo estudios en los que se emplearon fibras de sisal, coco y palmera como refuerzo en suelos. Asimismo, se han utilizado fibras de celulosa procesada en estas investigaciones. (Vettorelo & Clariá, 2014)

En resumen, se ha propuesto el uso de fibras naturales de origen orgánico en la técnica de refuerzo de suelos, lo que resulta beneficioso tanto desde una perspectiva ecológica como

económica. Se han investigado distintos tipos de fibras, como las de sisal, coco, palmera y celulosa procesada, para mejorar las propiedades de los suelos. (Vettorelo & Clariá, 2014)

4.2.COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL SUELO REFORZADO CON FIBRAS.

Existen diversos enfoques para analizar el comportamiento de suelos reforzados con fibras. Sin embargo, en este estudio se empleará el enfoque que considera al suelo mejorado con fibras como un material compuesto. En este enfoque, se considera que el suelo reforzado está compuesto por una matriz de suelo y un material de refuerzo disperso, que es la fibra. En este caso, tanto el suelo como la fibra se consideran materiales sólidos. Esta aproximación permite realizar comparaciones entre diferentes mezclas de suelo/fibra que tengan la misma relación de espacios vacíos, pero con diferentes contenidos de fibra. Esto, a su vez, proporciona una variedad de configuraciones entre las partículas del suelo. (Vettorelo & Clariá, 2014)

Varios autores han comparado el efecto de las fibras con el de las raíces de las plantas, ya que ambos permiten distribuir los esfuerzos en una superficie más amplia del suelo. Se han llevado a cabo ensayos de plato de carga en los que se ha utilizado diferentes tipos de suelos tanto con refuerzo de fibras como sin él. En estos ensayos, se han evaluado las diferencias en la capacidad de carga y el comportamiento del suelo con y sin la presencia de fibra. (Vettorelo & Clariá, 2014)

4.3.PORCENTAJE Y LONGITUDES DE FIBRA UTILIZADA.

En diversas investigaciones sobre mejoramiento de suelos con fibras, se ha determinado un porcentaje óptimo de fibra que oscilan entre el 0,25% y el 3% versus el peso seco del suelo. Estos estudios consideran que fuera de este rango, el efecto de mejora es insignificante. Asimismo, la longitud más común de las fibras utilizadas en este tipo de investigaciones varía entre 10 mm y 60 mm, lo cual está directamente relacionado con el tamaño de las partículas del suelo. (Vettorelo & Clariá, 2014)

4.4. EFECTO DE LA FIBRA SOBRE EL SUELO.

4.4.1. Humedad óptima y densidad seca máxima.

Cuando los contenidos de fibra alcanzan el 2%, se observa un aumento en el punto óptimo de humedad y una reducción en la densidad máxima en condiciones secas. Esto se debe a que las fibras presentes en la matriz se agrupan formando grumos, lo que genera

áreas de baja densidad y aumenta los espacios vacíos en la matriz. (Álcivar Zambrano & Escobar León, 2019)

Además, se afirma que tanto los grumos como las fibras absorben agua, lo que provoca un aumento en el contenido de humedad óptimo. (Álcivar Zambrano & Escobar León, 2019)

La existencia de fibra en el suelo genera una cierta oposición a la compactación, lo cual implica que se vuelve más desafiante compactar a medida que aumenta la cantidad de fibra presente. Como resultado, se observa una disminución en la máxima densidad seca a medida que se incrementa el porcentaje de fibra en el suelo, llegando incluso a ser inferior a la densidad seca del suelo sin fibra. (Vettorelo & Clariá, 2014)

4.5.RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE.

En el estudio, se investigó el esfuerzo máximo a la compresión simple en muestras con diferentes porcentajes de fibra y variando los niveles de humedad. Los resultados indicaron que a medida que aumentaba el contenido de fibra, también se incrementaba el esfuerzo máximo alcanzado. Además, se observó que los mayores esfuerzos se registraron en las muestras con diferentes porcentajes de fibra cuando estas se moldearon cerca de la humedad óptima, la cual se determinó durante el ensayo de compactación. (Álcivar Zambrano & Escobar León, 2019)

4.6.MECANISMO DE INTERACCIÓN SUELO /FIBRA.

En la actualidad, existe una tendencia en el campo del mejoramiento de suelos hacia la exploración de diversos materiales que, cuando se añaden a las mezclas tradicionales, ofrecen nuevas propiedades mecánicas y mejoran la capacidad de soportar cargas, resistencia a la tensión, durabilidad y reducción de la contaminación. (Vettorelo & Clariá, 2014)

Se ha demostrado que estas adiciones benefician y mejoran las propiedades de los materiales base. Un ejemplo de ello es la incorporación de adiciones en la construcción de adobe, práctica que se ha llevado a cabo desde tiempos antiguos y que actualmente ha adquirido una gran relevancia debido a su enfoque en la sostenibilidad y la mitigación de los impactos negativos en el medio ambiente. (Vettorelo & Clariá, 2014)

4.7.POTENCIALES APLICACIONES DEL SUELO MEJORADO CON FIBRA DE ABACÁ.

El uso de fibras de abacá en suelos reforzados es ampliamente reconocido debido a las características que poseen, al igual que otras fibras naturales. Estas fibras son especialmente útiles para estabilizar taludes, reforzar y construir terraplenes, así como mejorar las propiedades de suelos. (Álcivar Zambrano & Escobar León, 2019)

Su incorporación en estos contextos ayuda a aumentar la resistencia y la capacidad de carga de los suelos, reducir la deformación y la erosión, y mejorar la estabilidad en general. Las fibras de abacá son valoradas por sus propiedades mecánicas y su capacidad para mejorar la ingeniería geotécnica de los suelos en diversas aplicaciones. (Álcivar Zambrano & Escobar León, 2019)

La reparación de taludes fallidos presenta desafíos, especialmente cuando se trata de la colocación de refuerzos planos continuos. Sin embargo, las fibras de abacá ofrecen una solución efectiva en estas circunstancias. Estas fibras pueden ser utilizadas para crear refuerzos tridimensionales en los taludes, proporcionando estabilidad adicional. (Álcivar Zambrano & Escobar León, 2019)

La combinación de fibras de abacá con el suelo produce un efecto de refuerzo que previene el deslizamiento y colapso de los taludes. Estas fibras se dispersan en el suelo actuando como refuerzos, lo que simplifica su colocación y distribución en áreas donde la implementación de refuerzos planos continuos es difícil. Por lo tanto, las fibras de abacá ofrecen una solución válida para la reparación de taludes con falla. (Vettorelo & Clariá, 2014)

Indudablemente, el uso de suelos reforzados con fibras como capa superficial en terraplenes y taludes es una estrategia efectiva para prevenir fallas superficiales y preservar la integridad del pavimento a largo plazo. La adición de fibras al suelo fortalece su resistencia y capacidad de carga, lo que disminuye la probabilidad de deformaciones. De esta manera, se evita la formación de grietas y baches en el pavimento, los cuales podrían ocasionar fallas más graves en el futuro. (Álcivar Zambrano & Escobar León, 2019)

La incorporación de fibras al suelo fortalece su resistencia y capacidad de carga al brindar refuerzo y mejorar la cohesión interna. Como resultado, el suelo reforzado con fibras

puede soportar cargas y esfuerzos cíclicos de manera más eficiente, disminuyendo así la probabilidad de fallas y deformaciones excesivas. La utilización de fibras como método de estabilización en una amplia gama de materiales utilizados como subrasantes ha demostrado ser efectiva. Las fibras mejoran la resistencia del suelo y la estabilidad en general. Esto, a su vez, contribuye a la durabilidad y rendimiento de las estructuras construidas sobre el suelo reforzado con fibras. (Álcivar Zambrano & Escobar León, 2019)

CAPÍTULO V

5.1. COMPACTACIÓN MODIFICADA: DENSIDAD SECA MÁXIMA Y CONTENIDO DE HUMEDAD.

El ensayo de compactación modificada nos sirve para obtener la densidad seca máxima y el contenido de humedad óptima de un suelo, para nuestro estudio estos dos valores nos sirven para poder reconstruir los especímenes para ensayar a compresión simple. El propósito principal es la mejora de características mecánicas de los suelos. Este proceso se rige en su procedimiento mediante la norma ASTM D1557.

5.2. PREPARACIÓN DE LA MUESTRA DEL SUELO NATURAL

5.2.1. ENSAYO DE COMPACTACIÓN MODIFICADA

Para la presente investigación, el suelo obtenido en el sector del Garrochal fue preparado con anterioridad para poder ser ensayado mediante compresión simple.

La preparación del suelo constó en dejar secar el material a temperatura ambiente una vez que pasó por el tamiz #4 para esparcir en bandejas y ser homogenizadas hasta que el suelo tenga un estado seco visualmente ya que es recomendable trabajarlo con humedades bajas para tener un mejor resultado en los ensayos de compactación.

5.3. PREPARACIÓN DE LA MEZCLA SUELO-FIBRA

Para la preparación de la mezcla del suelo con la fibra de abacá se prepara el suelo y se corta la fibra a la longitud que se realizará el análisis. En el suelo se realizará el mismo proceso como se detalla en el apartado 5.2.1. Este suelo se homogenizará de manera uniforme con la fibra y se procederá a realizar el ensayo de compactación.

En lo que se refiere a la fibra se cortó a una longitud de 15 mm y se procedió a secar en el horno por un tiempo de 4 horas antes de ser mezclado con el suelo.

Para la realización de las muestras de suelo con fibra se realizaron fundas de 1500 gr, estas fundas fueron colocadas en bandejas para su respectiva homogenización con la fibra, con lo que se refiere a la fibra se tomará porcentajes de fibra con respecto a la masa del suelo con su humedad óptima, los porcentajes de fibra fueron del 2% y 3% respectivamente.

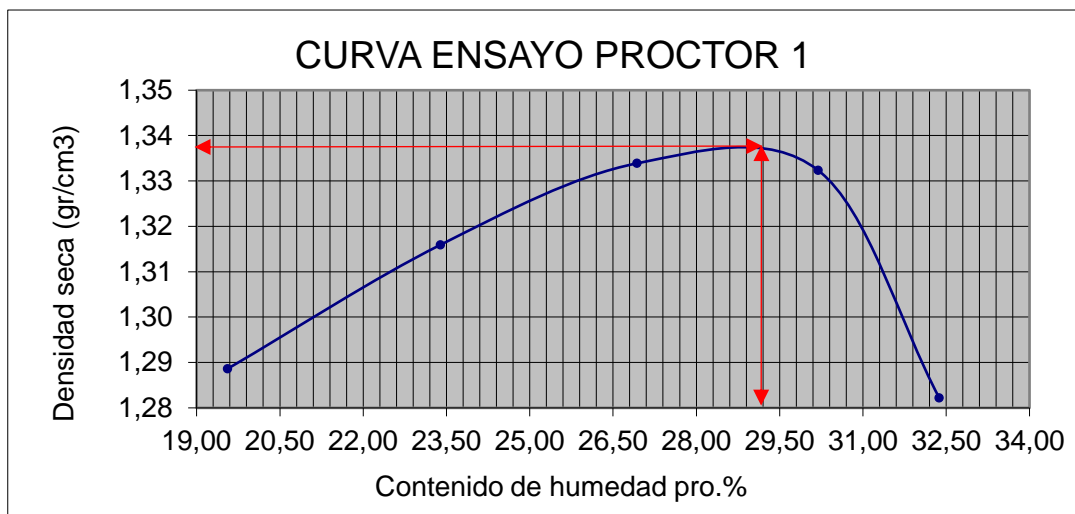
Se debe de tomar a consideración la forma de usar el martillo y la forma de la aplicación de las capas para realizaron un ensayo correcto y obtener resultados útiles para la investigación.

5.4.CURVAS DE COMPACTACIÓN

5.4.1. Suelo – 0% de fibra.

5.4.1.1.Proctor 1

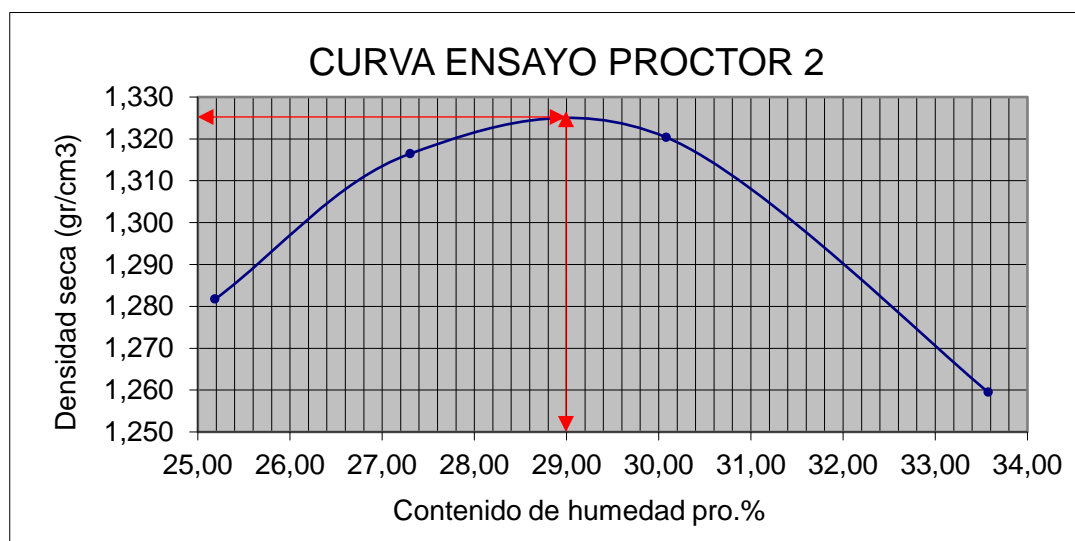
Ilustración 25 Curva de humedad vs densidad. Proctor 1. (suelo natural).



Fuente: Elaboración propia

5.4.1.2.Proctor 2

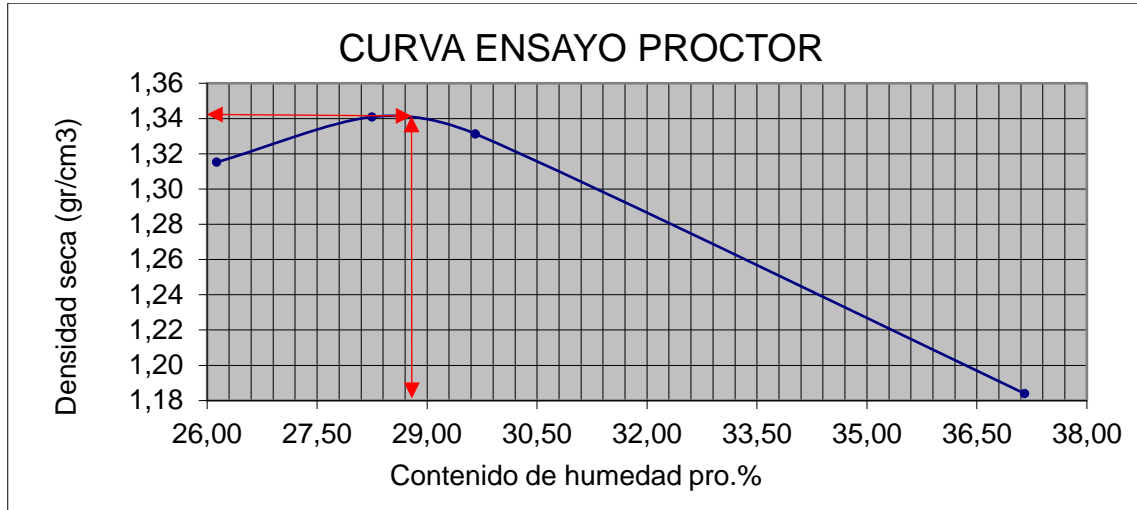
Ilustración 26. Curva de humedad vs densidad. Proctor 2. (suelo natural).



Fuente: Elaboración propia

5.4.1.3. Proctor 3

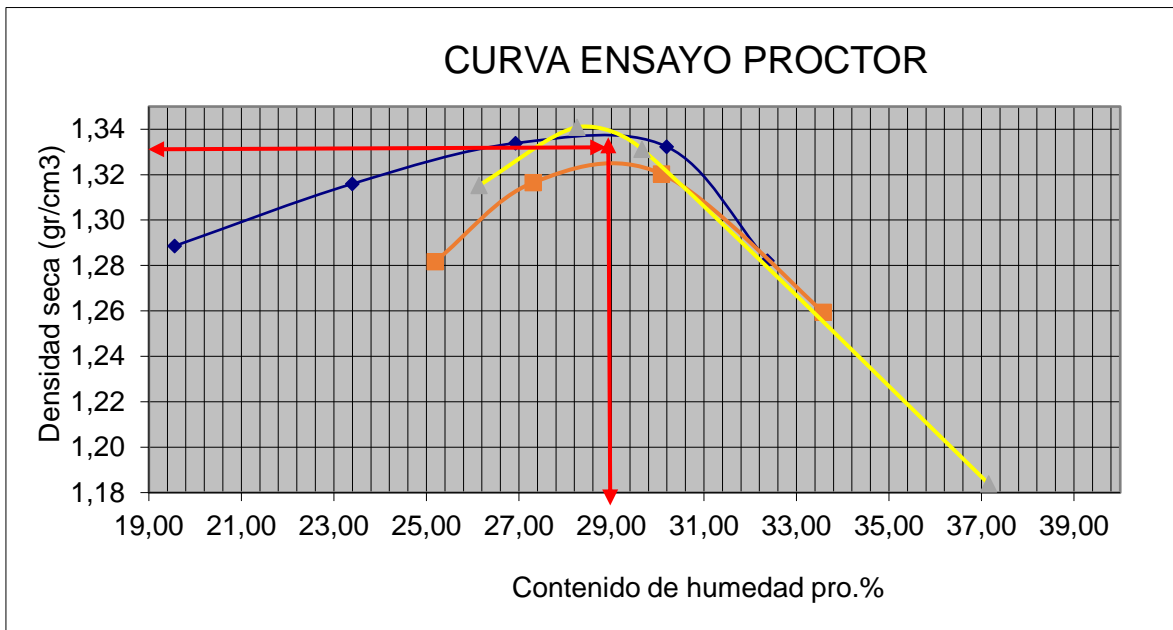
Ilustración 27. Curva de humedad vs densidad. Proctor 3. (suelo natural).



Fuente: Elaboración propia

5.4.1.4. Curvas combinadas Proctor

Ilustración 28. Curvas combinadas Proctor (suelo natural).



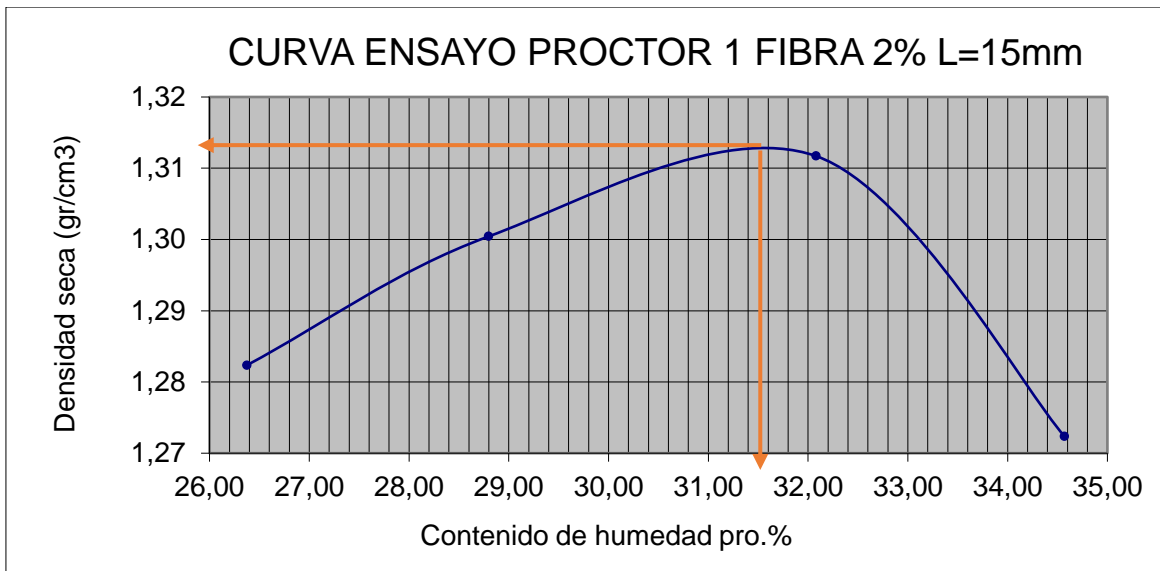
Fuente: Elaboración propia

5.4.2. Longitud de fibra: 15 mm

5.4.2.1. Suelo – 2.0% de fibra

5.4.2.1.1. Proctor 1.

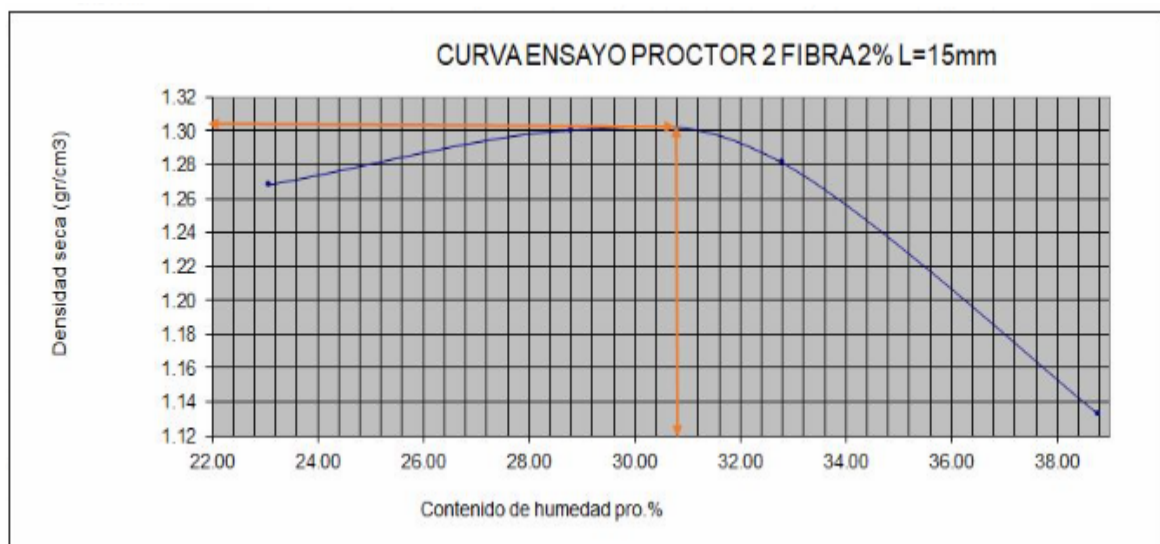
Ilustración 29. Curva de humedad vs densidad. Proctor 1. (fibra 2%)



Fuente: Elaboración propia

5.4.2.1.2. Proctor 2.

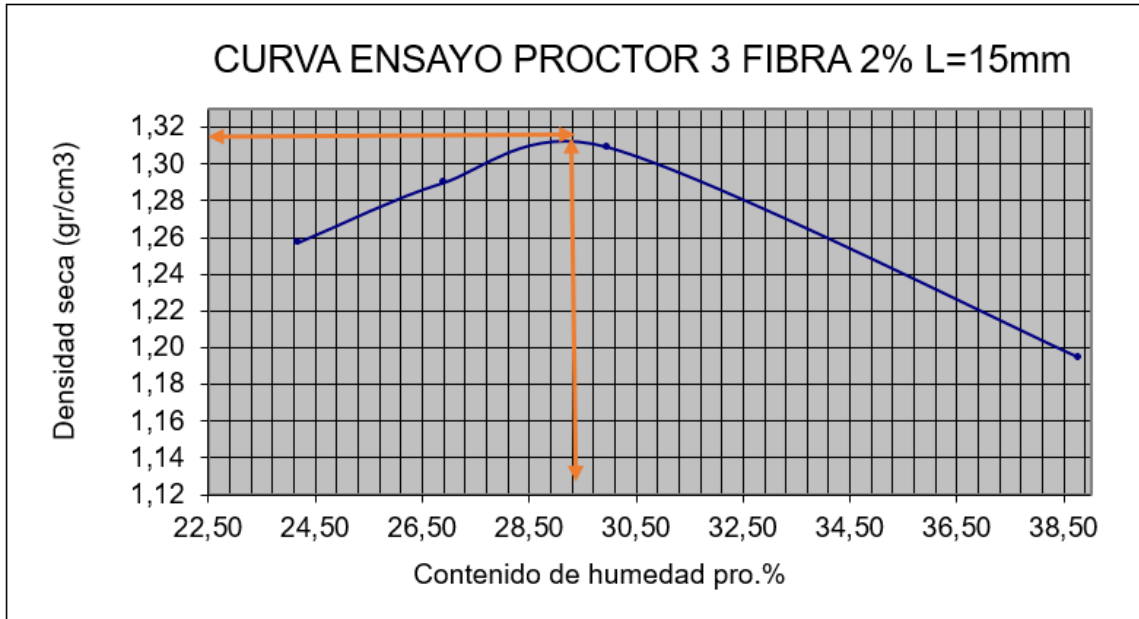
Ilustración 30. Curva de humedad vs densidad. Proctor 2. (fibra 2%).



Fuente: Elaboración propia

5.4.2.1.3. Muestra 3.

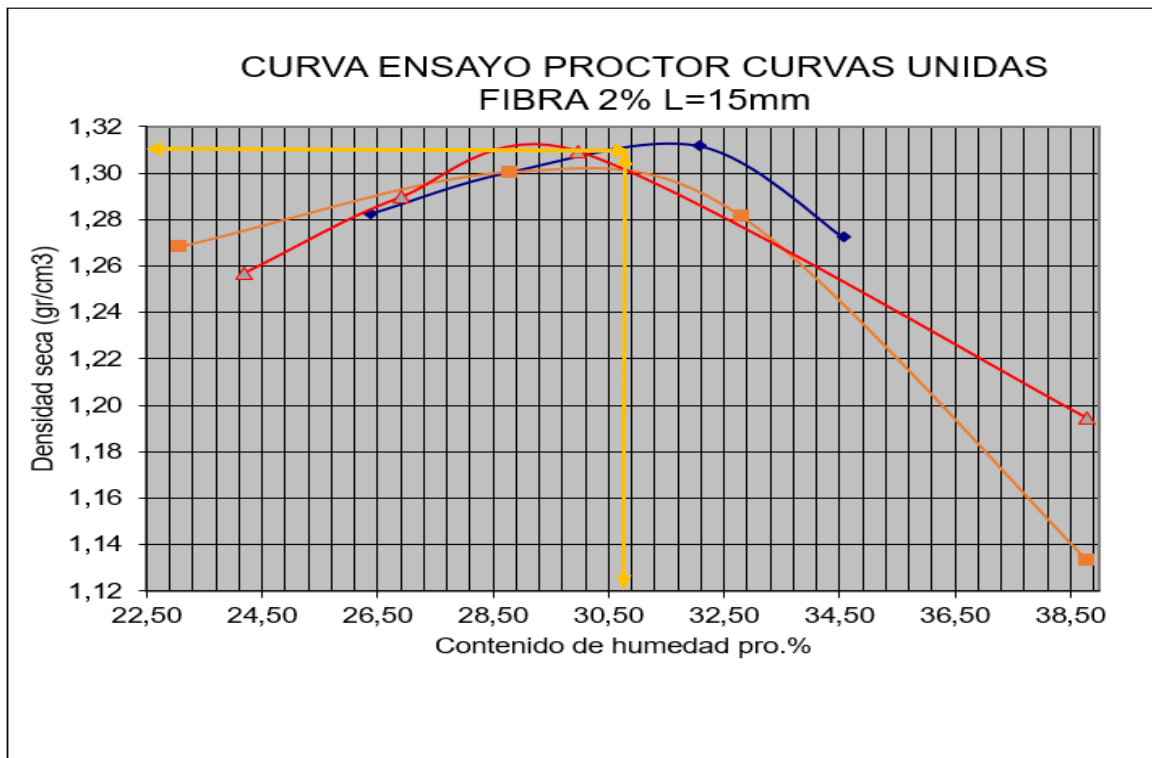
Ilustración 31. Curva de humedad vs densidad. Proctor 3. (fibra 2%)



Fuente: Elaboración propia

5.4.2.1.4. Curvas combinadas Proctor 2.0 % de fibra.

Ilustración 32. Curvas combinadas de humedad vs densidad. (fibra 2%).

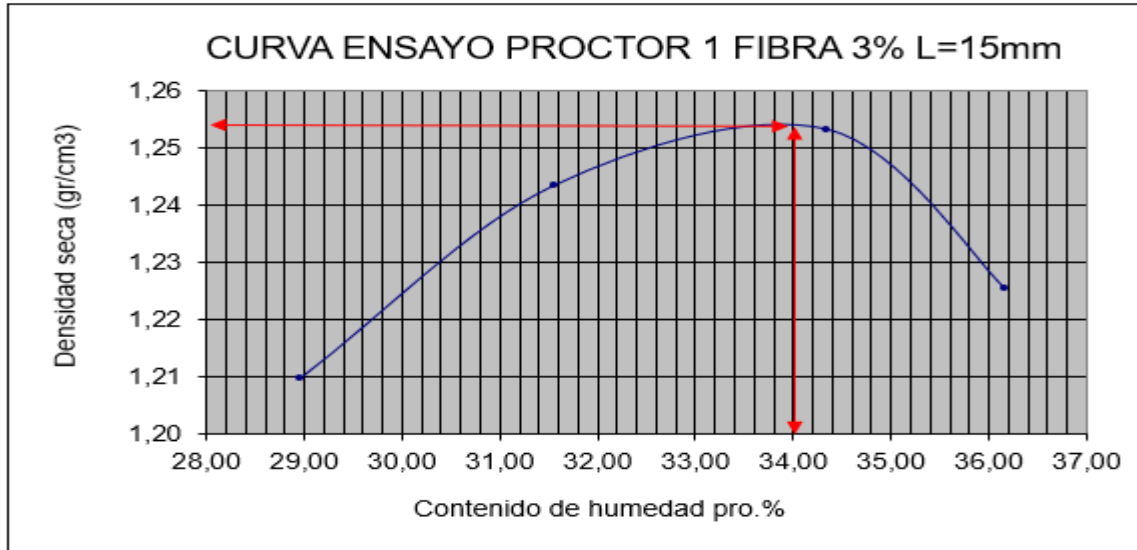


Fuente: Elaboración propia

5.4.2.2.Suelo – 3.0% de fibra

5.4.2.2.1. Muestra 1.

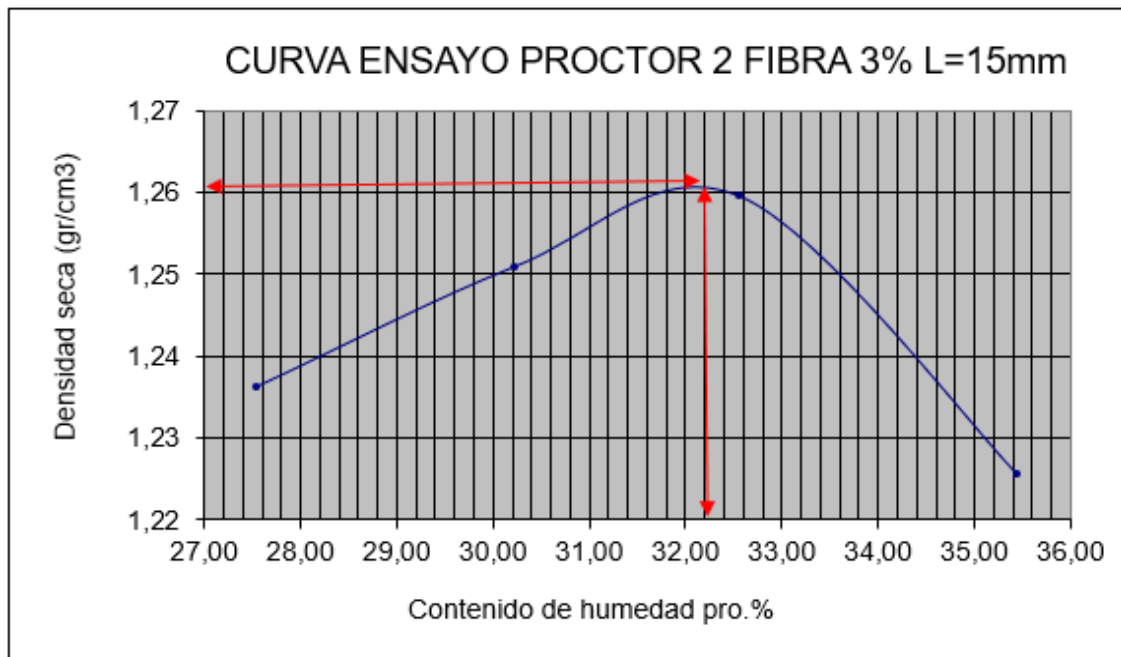
Ilustración 33. Curva de humedad vs densidad. Proctor 1. (fibra 3%).



Fuente: Elaboración propia

5.4.2.2.2. Muestra 2.

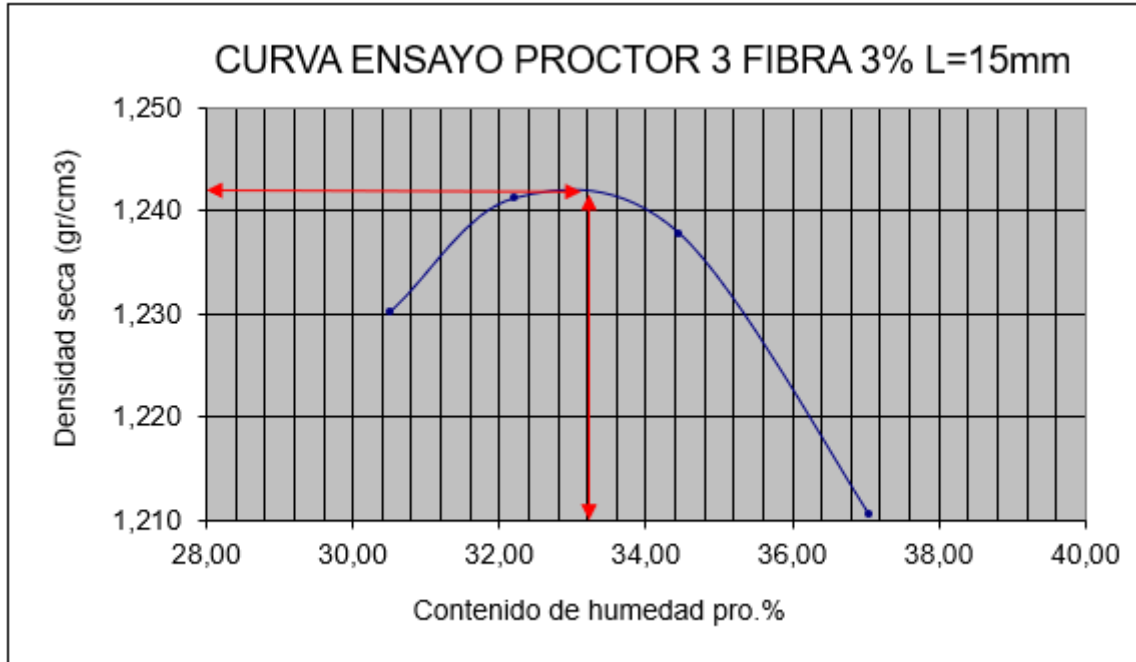
Ilustración 34. Curva de humedad vs densidad. Proctor 2. (fibra 3%).



Fuente: Elaboración propia

5.4.2.2.3. Muestra 3.

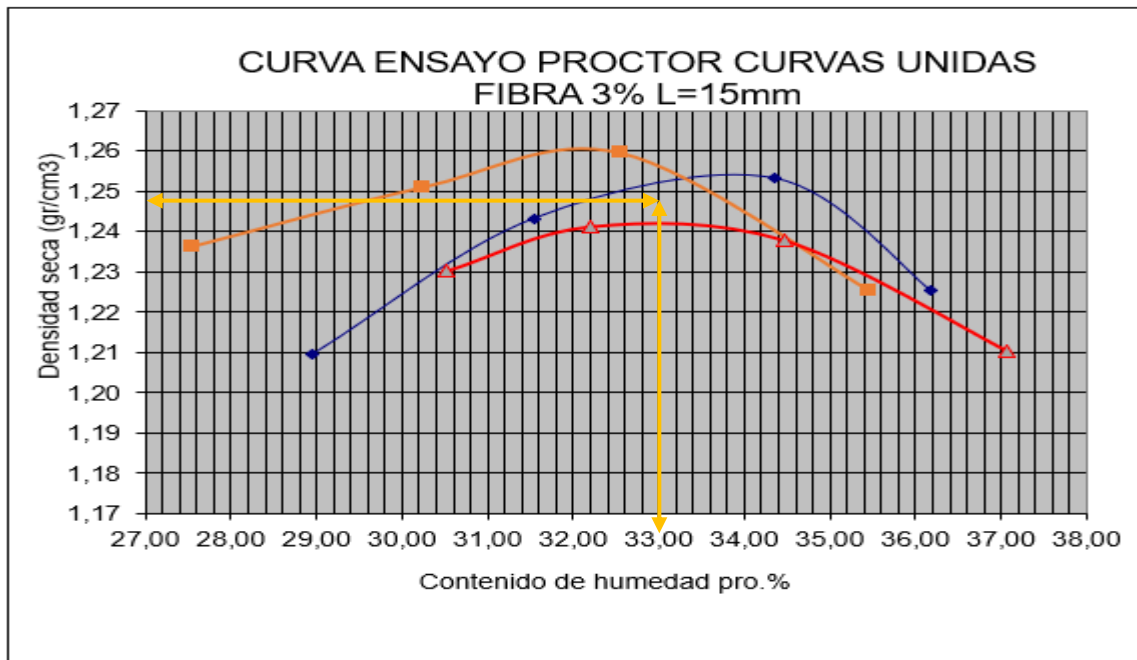
Ilustración 35. Curva de humedad vs densidad. Proctor 3. (fibra 3%).



Fuente: Elaboración propia

5.4.2.2.4. Curvas combinadas Proctor 3.0 % de fibra.

Ilustración 36. Curvas combinadas de humedad vs densidad. (fibra 3%)

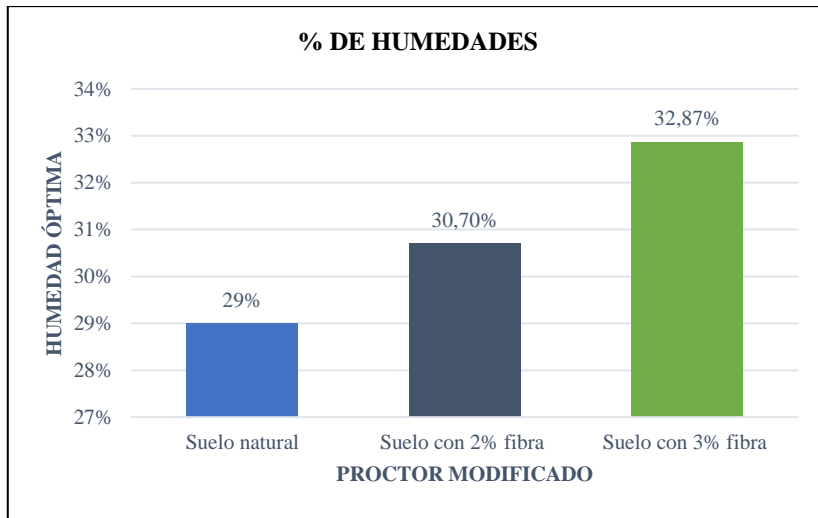


Fuente: Elaboración propia

5.5.DISCUSIÓN Y RESULTADOS

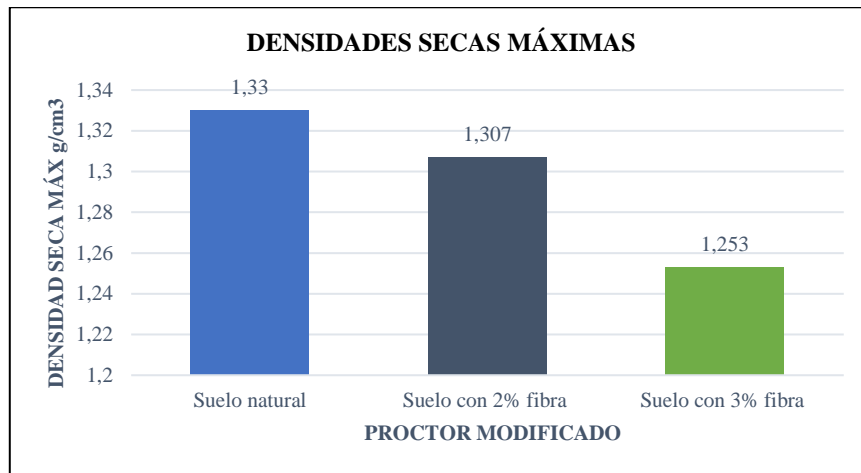
5.5.1 Resultados.

Ilustración 37. Porcentajes de humedades



Fuente: Elaboración Propia.

Ilustración 38. Densidades secas máximas



Fuente: Elaboración Propia.

5.5.2. Discusión.

Acorde a los ensayos de compactación modificada la humedad en los especímenes aumenta con adición de la fibra en los diferentes porcentajes usados. Podemos notar que en suelo natural es de 29%, en suelo con 2% de fibra de 30.70% y en suelo con fibra al 3% de 32.87%. Con respecto a la densidad seca obtenida con el ensayo del Proctor modificado se analizó que existe una reducción de la densidad, esto se produce al aumento de la fibra en cada espécimen respectivamente como se muestra en la figura. De suelo natural. De 1.33, suelo con fibra 2% de 1.307 y suelo con fibra 3% de 1.253.

CAPÍTULO VI

ENSAYOS A COMPRESIÓN SIMPLE

El ensayo de compresión simple se realiza aplicando una carga axial sobre una muestra cilíndrica con una relación de esbeltez de 2:1 hasta que ocurra la falla. Este tipo de ensayo es comúnmente utilizado en suelos cohesivos y se lleva a cabo en condiciones no drenadas, lo que implica que los resultados se expresan en términos de esfuerzos totales. Este método de ensayo es simple, económico y proporciona una buena aproximación para determinar parámetros relevantes. (Mouhsine, 2020)

6.1.2. MÉTODO DE PRUEBA ESTANDAR PARA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE EN SUELOS ORGÁNICOS.

El estándar ASTM D2166/D2166M-16 es el método de prueba normalizado utilizado para determinar la resistencia a la compresión no confinada de suelos cohesivos. Este método es aplicable a suelos que no presentan escurrimiento y puede utilizarse tanto en muestras de suelo intactas como en aquellas que han sido remoldeadas o reconstituidas. (Álcivar Zambrano & Escobar León, 2019)

Este estándar establece los procedimientos y requisitos para llevar a cabo el ensayo de resistencia a la compresión no confinada de manera estandarizada y consistente. Proporciona pautas claras sobre las condiciones de preparación de las muestras, los parámetros de carga y las mediciones necesarias. (Álcivar Zambrano & Escobar León, 2019)

La aplicación de este método permite obtener resultados confiables y comparables entre diferentes laboratorios, lo que facilita la evaluación de la resistencia de los suelos cohesivos y su uso en diferentes aplicaciones ingenieriles. Es importante seguir las instrucciones detalladas en el estándar ASTM D2166/D2166M-16 para realizar correctamente el ensayo de resistencia a la compresión no confinada y garantizar la calidad y precisión de los resultados obtenidos. (Álcivar Zambrano & Escobar León, 2019)

6.1.3. Equipo Necesario para el ensayo

Para llevar a cabo el ensayo de compresión, se requiere un equipo específico que cumpla con ciertos requisitos. En primer lugar, se necesita un dispositivo de compresión con capacidad y control adecuados para aplicar la carga a la velocidad especificada en la norma. Este dispositivo debe ser capaz de medir hasta 1 KPa o el esfuerzo máximo, con una precisión de tres dígitos significativos. (ASTM D2166/D2166M-16, 2016)

- Se necesita un indicador de deformación que esté graduado a 0,03 mm o tenga un rango de al menos el 20% de la longitud de la probeta. Este indicador permite medir con precisión los desplazamientos verticales y horizontales durante el ensayo.
- Se requiere un dispositivo para medir las dimensiones de la muestra con una precisión del 0,1% de la dimensión medida. Esto garantiza que se obtengan medidas exactas de la altura y el diámetro de la probeta.
- Es necesario contar con un temporizador que indique el tiempo transcurrido del ensayo con una precisión al segundo más cercano. Esto permite realizar un seguimiento preciso de la duración del ensayo.
- Se necesita una balanza con capacidad para determinar la masa de las muestras con una precisión del 0,1% de la masa total. Esto asegura que se obtengan mediciones precisas de la masa de las muestras.
- Para la preparación de las probetas, se requieren aparatos para tallar y cortar las muestras de suelo de acuerdo con las especificaciones de tamaño requeridas. En el caso de muestras inalteradas, se necesita una extrusora de muestras para obtener una muestra cilíndrica sin alteraciones. (Álcivar Zambrano & Escobar León, 2019)

En resumen, el equipo necesario para realizar el ensayo de compresión incluye un dispositivo de compresión, un indicador de deformación, un medidor de dimensiones, un temporizador, una balanza, aparatos de tallado y corte, y en caso de muestras inalteradas, una extrusora de muestras. Estos instrumentos y dispositivos garantizan la precisión y confiabilidad de los resultados obtenidos durante el ensayo. (Álcivar Zambrano & Escobar León, 2019)

6.1.4. Preparación de probetas.

La norma para la preparación de las muestras indica que la relación entre altura y el diámetro debe ser de 2 a 2.5, tomando en cuenta el diámetro mínimo de 30 mm con el

tamaño máximo de partícula menor a un décimo del diámetro del espécimen. (Álcivar Zambrano & Escobar León, 2019)

Para el ensayo se realizó moldes reconstituidos que se compactaron utilizando el instrumento de Harvard miniatura. Este se utiliza para establecer la relación del contenido de humedad entre la densidad. El instrumento tiene una capacidad volumétrica de 129 centímetros cúbicos y está formado por su base, anillo y un martillo con un resorte en su interior de capacidad de 15 lb-6,8 Kg. (Álcivar Zambrano & Escobar León, 2019)



El suelo utilizado para la preparación de las muestras es el material que pasa por el tamiz #4 previo al secado natural (temperatura ambiental) luego se procedió a homogenizar el suelo para especímenes reconstituidos sin fibra con su respectiva humedad óptima antes calculadas mediante curvas de proctor modificado. (Álcivar Zambrano & Escobar León, 2019)

De la misma manera se realizó el proceso de homogenización para la preparación de los moldes reconstituidos con fibra al 2% y 3% con su respectiva humedad óptima antes calculada mediante curvas de proctor modificado.

Para determinar el número de capas necesarios y los golpes con el martillo manual, se realizaron ensayos de prueba y error hasta ubicar la cantidad de capas y golpes óptimos que lleguen a relacionarse con humedades y densidades secas realizadas mediante proctor modificado. (Álcivar Zambrano & Escobar León, 2019)

En conclusión, se determinaron 8 capas de 45 golpes en cada una, tomando en cuenta que por cada capa se debe realizar una escarificación del suelo para que este tenga una mejor adherencia con la siguiente capa que será sometida a los 45 golpes posteriores. (Álcivar Zambrano & Escobar León, 2019)

Para garantizar una correcta preparación de la probeta, es importante realizar los golpes de manera vertical para no alterar su compactación, de igual manera la compactación se lo realiza únicamente por la misma persona durante todos los moldes, asegurando que las capas tengan la misma dimensión de altura entre ellas.

Se toman medidas precisas de la altura, diámetro y peso de la probeta. Luego, la probeta se coloca en el equipo de ensayo de manera ajustada, asegurándose de que la platina superior no ejerza fuerza sobre ella. Este proceso garantiza que la probeta esté adecuadamente preparada para el ensayo y que los resultados obtenidos sean confiables. (Mouhsine, 2020)

6.1.5. Procedimientos del ensayo.

Durante el ensayo de compresión:

La muestra se comprime a una velocidad de entre el 0.5% y el 2% de la altura de la probeta por minuto. Se registran la carga aplicada y el desplazamiento vertical, así como el tiempo transcurrido durante la compresión. (Mouhsine, 2020)

Las condiciones de rotura se consideran alcanzadas cuando se observa una tensión pico en el ensayo. En caso de que no se produzca esta tensión pico, se considera que la rotura ocurre al alcanzar una deformación del 15% de la probeta. (Mouhsine, 2020)

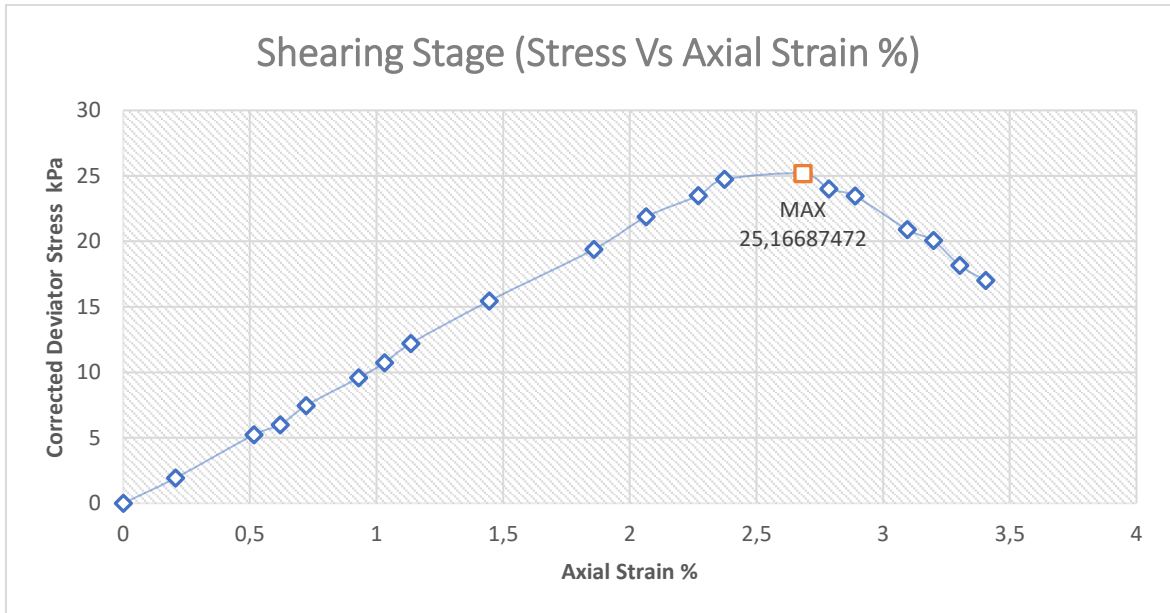
Después de la rotura de la muestra, se retira del equipo de ensayo y se toma una fotografía. A continuación, se abre la muestra por la mitad para inspeccionar su interior y verificar que no haya partículas cuyo tamaño exceda $1/6$ del diámetro de la probeta. (Mouhsine, 2020)

Por último, se procede a determinar la humedad y la densidad específica de la muestra, completando así el análisis del ensayo de compresión. Estos parámetros adicionales permiten obtener información relevante sobre las características y propiedades del suelo ensayado. (Mouhsine, 2020)

6.1.6. RESULTADOS DEL ENSAYO DE COMPRESION SIMPLE NO CONFINADA.

6.1.6.1. Muestra 1 Suelo natural profundidad 0.55 m a 1.00

Ilustración 39. Esfuerzo vs deformación. Muestra 1. Suelo inalterado.



Fuente: Elaboración Propia.

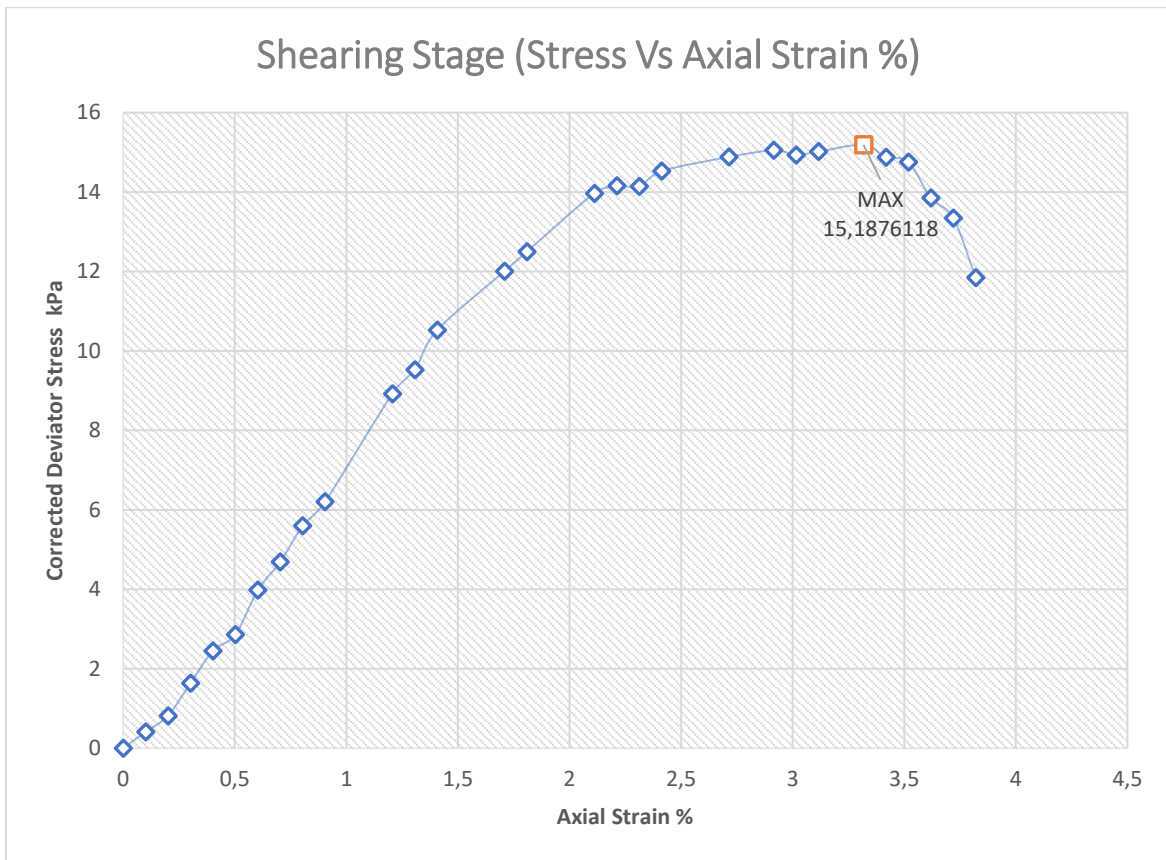
Tabla 10. Información. Compresión simple de muestra 1. Suelo inalterado.

Densidad g/cm³	0,53
Porcentaje de humedad %	68,42%
Grado de saturación. %	91,11%
Relación de vacíos.	1,99
Resistencia a la compresión.	25,2 kPa
Deformación unitaria	3,643
Deformación Axial %	2.683
Módulo de elasticidad	10,54 kPa
Cohesión	12,58 kPa
Criterio de falla.	Deformación

Fuente: Elaboración Propia.

6.1.6.2. Muestra 2 Suelo natural profundidad 0.55 m a 1.00 m

Ilustración 40. Esfuerzo vs deformación. Muestra 2. Suelo inalterado



Fuente: Elaboración Propia.

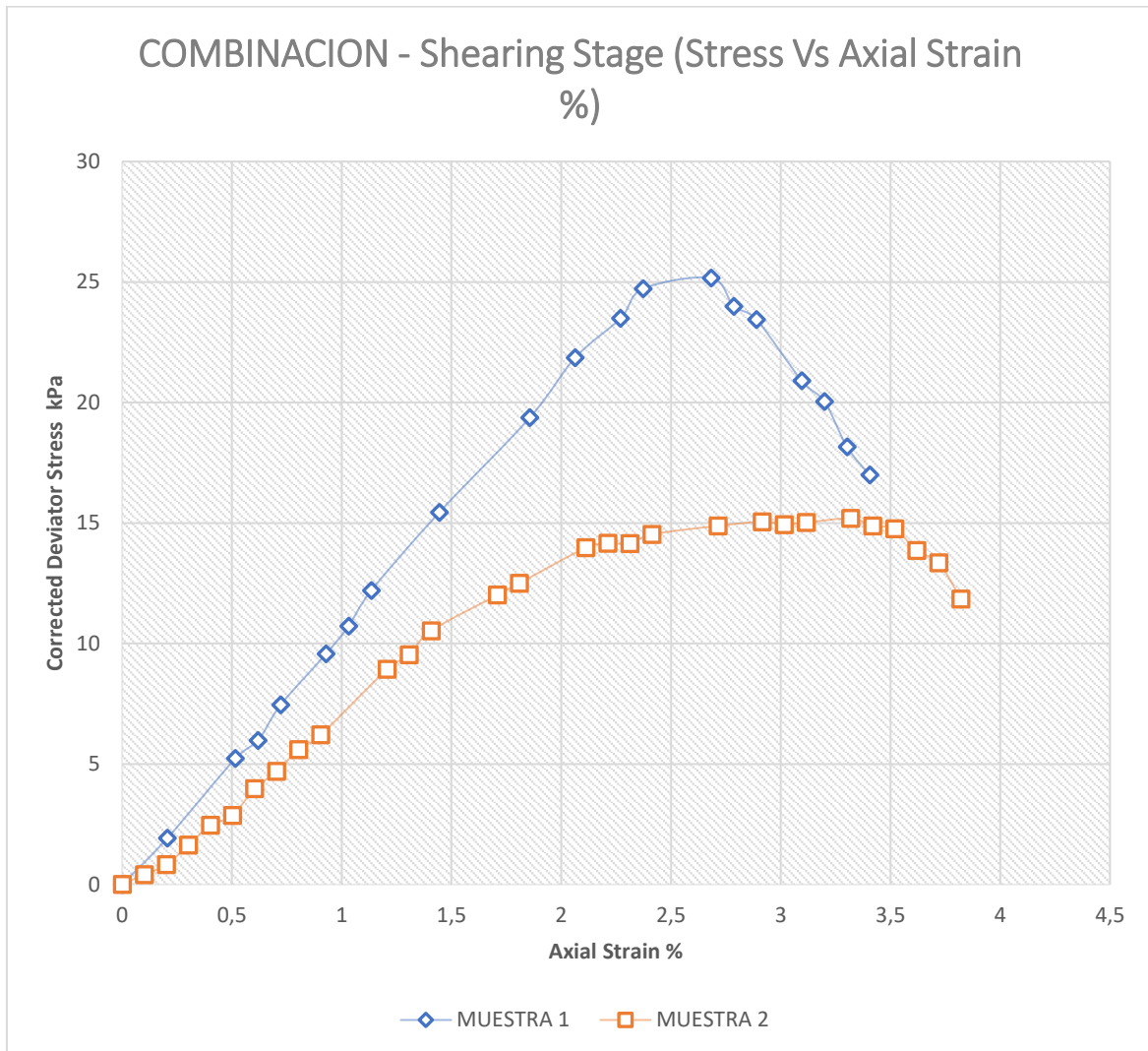
Tabla 11. Información. Compresión simple de muestra 2. Suelo inalterado.

Densidad g/cm³	0,55
Porcentaje de humedad %	43,35%
Grado de saturación. %	89,00%
Relación de vacíos.	1,29
Resistencia a la compresión.	15,2 Kpa
Deformación unitaria	4,624
Deformación Axial %	3.318
Módulo de elasticidad	7,73 kPa
Cohesión	7,594 kPa
Criterio de falla.	Deformación

Fuente: Elaboración Propia.

6.1.6.3. Curvas combinadas Suelo natural profundidad 0.55 m a 1.00 m

Ilustración 41. Esfuerzo vs deformación. Muestras combinadas. Suelo inalterado.



Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 12. Resumen de información de muestras. Compresión simple. Suelo inalterado.

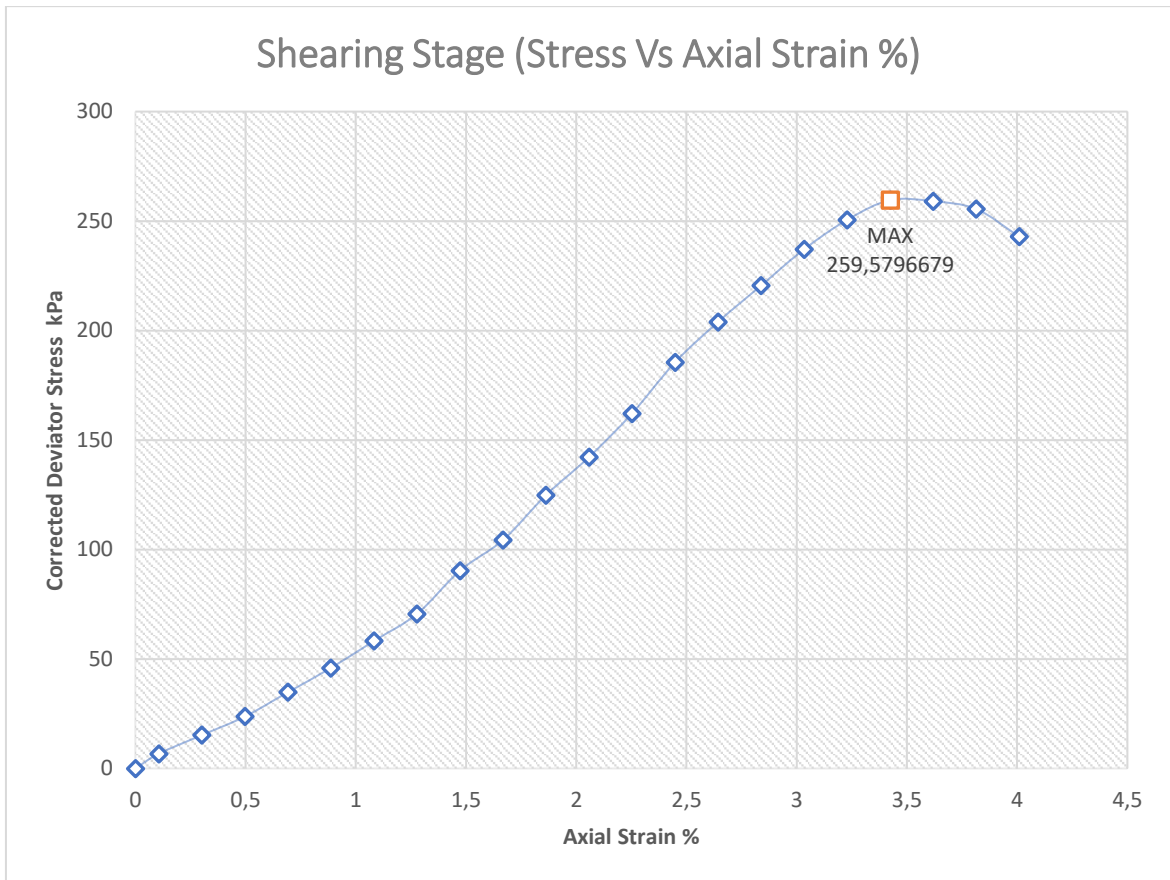
	M1	M2
Deformación Unitaria (mm)	3,643	4,624
Esfuerzo Ultimo [kPa]	25,167	15,188
Deformación axial %	2,683	3,318
Mod. de Elasticidad [kPa]	10,539	7,73
Cohesión [kpa]	12,583	7,594

Fuente: Elaboración Propia.

6.1.7. Suelos Reconstituidos – 0% de fibra.

6.1.7.1. Muestra 1.

Ilustración 42 Esfuerzo vs deformación. Muestra 1 Reconstituido sin fibra



Fuente: Elaboración Propia.

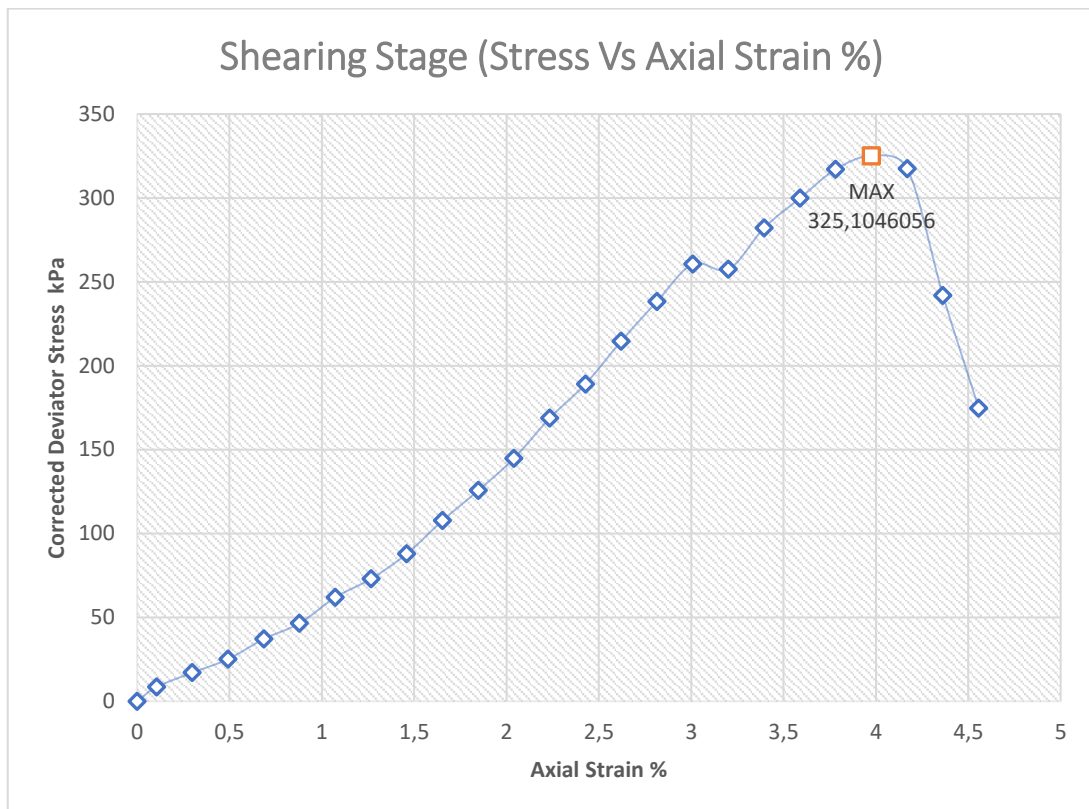
Tabla 13. Información. Compresión simple. Muestra 1 Sin fibra

Densidad g/cm3	1,70
Porcentaje de humedad %	29,94%
Grado de saturación. %	77,36%
Relación de vacíos.	1,03
Resistencia a la compresión.	259,6 kPa
Deformación unitaria	2,459
Deformación Axial %	3,424
Módulo de elasticidad (1)	58,323 kPa
Módulo de elasticidad (2)	98,893 kPa
Cohesión	129,80 kPa
Criterio de falla.	Deformación

Fuente: Elaboración Propia.

6.1.7.2.Muestra 2.

Ilustración 43. Esfuerzo vs deformación. Muestra 2 Reconstituido sin fibra



Fuente: Elaboración Propia.

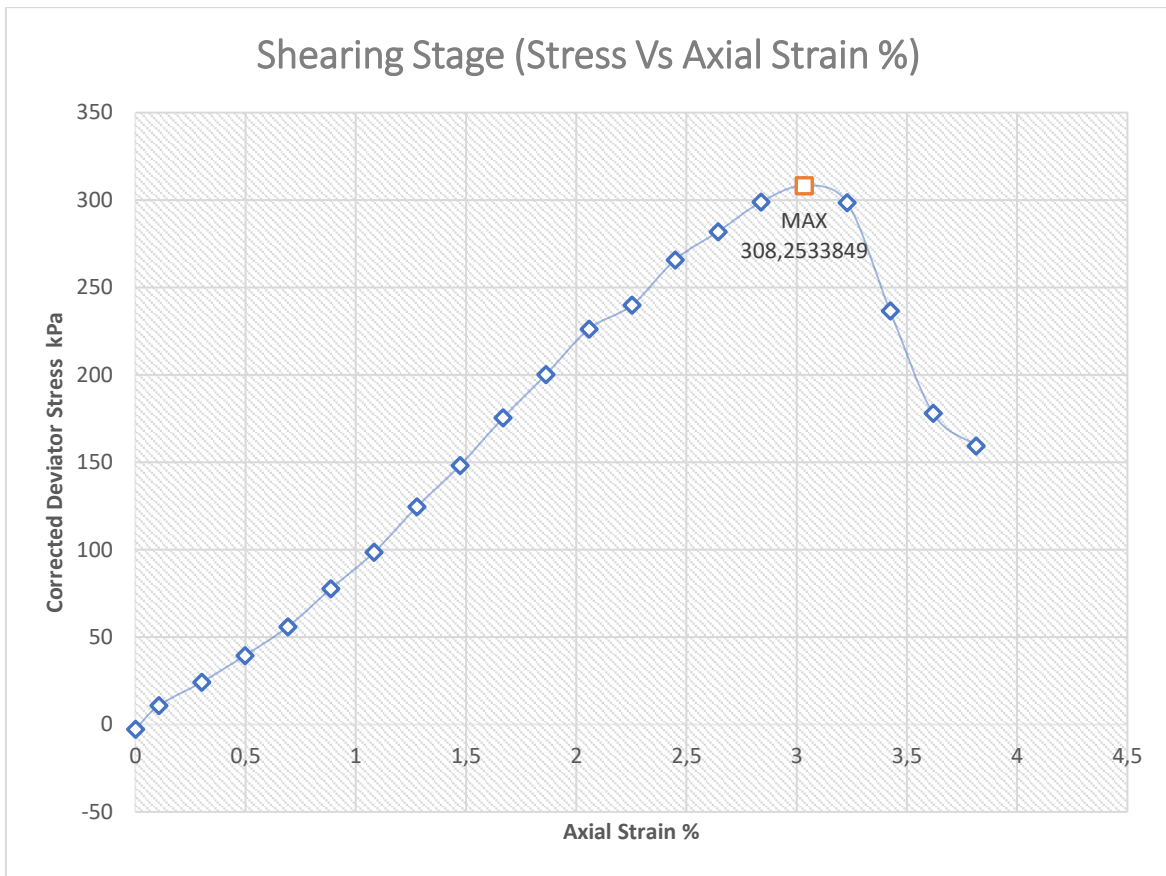
Tabla 14. Información. Compresión simple. Muestra 2 sin fibra.

Densidad g/cm3	1,70
Porcentaje de humedad %	30,02%
Grado de saturación. %	77,83%
Relación de vacíos.	1,02
Resistencia a la compresión.	325,1 Kpa
Deformación unitaria	2,879
Deformación Axial %	3,589
Módulo de elasticidad (1)	58,328 kPa
Módulo de elasticidad (2)	102,732
Cohesión	162,55 kPa
Criterio de falla.	Rotura.

Fuente: Elaboración Propia.

6.1.7.3.Muestra 3.

Ilustración 44. Esfuerzo vs deformación. Muestra 3 Reconstituido sin fibra



Fuente: Elaboración Propia.

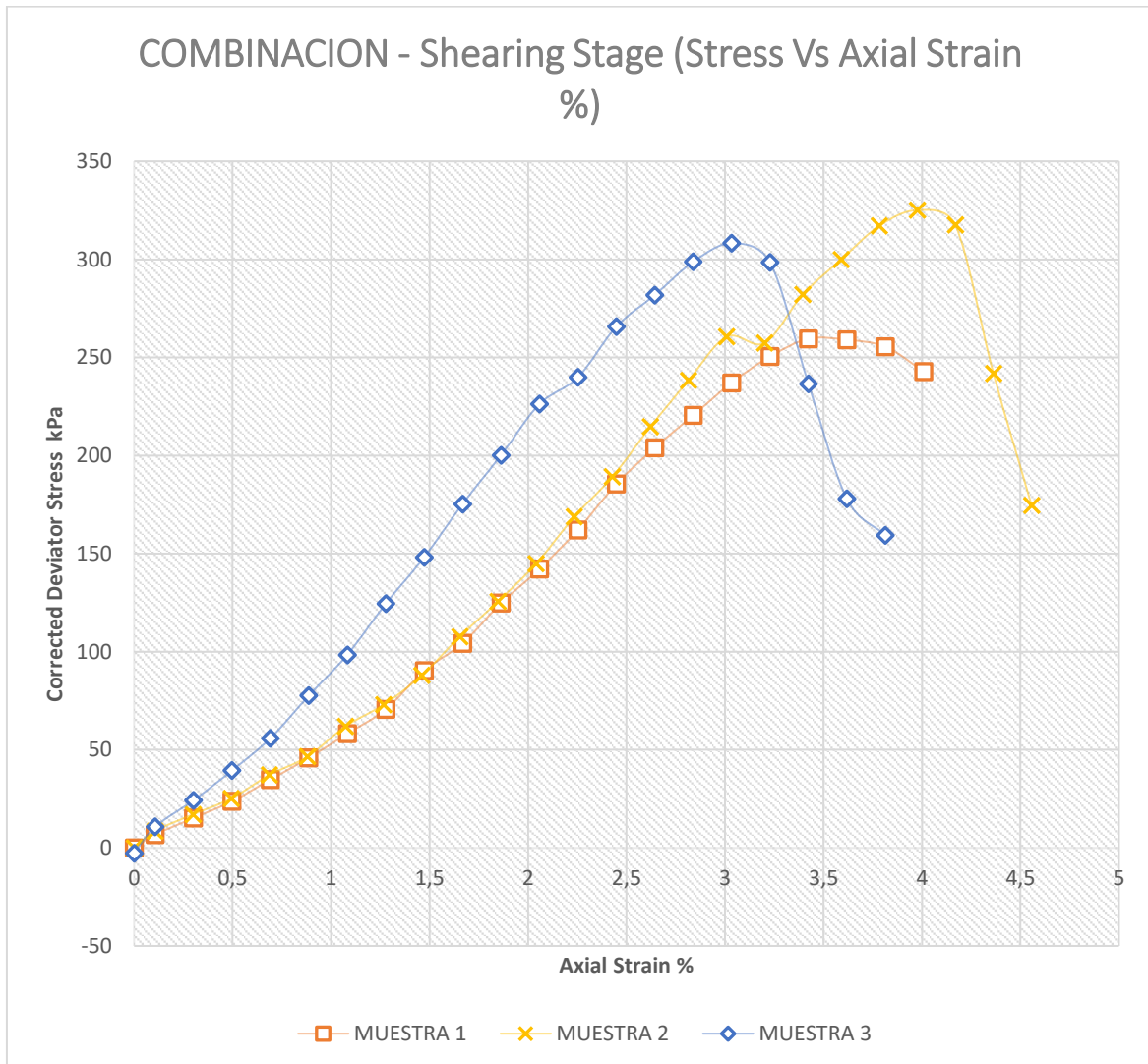
Tabla 15. Información. Compresión simple. Muestra 3 sin fibra.

Densidad g/cm3	1,72
Porcentaje de humedad %	29,35%
Grado de saturación. %	77,96%
Relación de vacíos.	1
Resistencia a la compresión.	308,03 Kpa
Deformación unitaria	2,178
Deformación Axial %	3,424
Módulo de elasticidad (1)	99,76 kPa
Módulo de elasticidad (2)	109,658 kPa
Cohesión	154,13 kPa
Criterio de falla.	Deformación

Fuente: Elaboración Propia.

6.1.7.4. Curvas combinadas.

Ilustración 45. Esfuerzo vs deformación. Curvas combinadas suelos reconstituídos sin fibra



Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 16. Resumen de información de muestras. Compresión simple. Suelos sin fibra.

	M1	M2	M3	M2-M1	M2-M3
Deformación Unitaria	2,459	2,879	2,178	0,420	0,701
Esfuerzo Ultimo [kPa]	259,580	325,105	308,253	65,525	16,851
Deformación Axial %	3,424	3,589	3,424	0,165	0,165
Mod. de Elasticidad [kPa]	58,323	58,328	99,760		
Mod. de Elasticidad [kPa]	98,893	102,732	109,658		
Cohesión [kpa]	129,790	162,552	154,127		

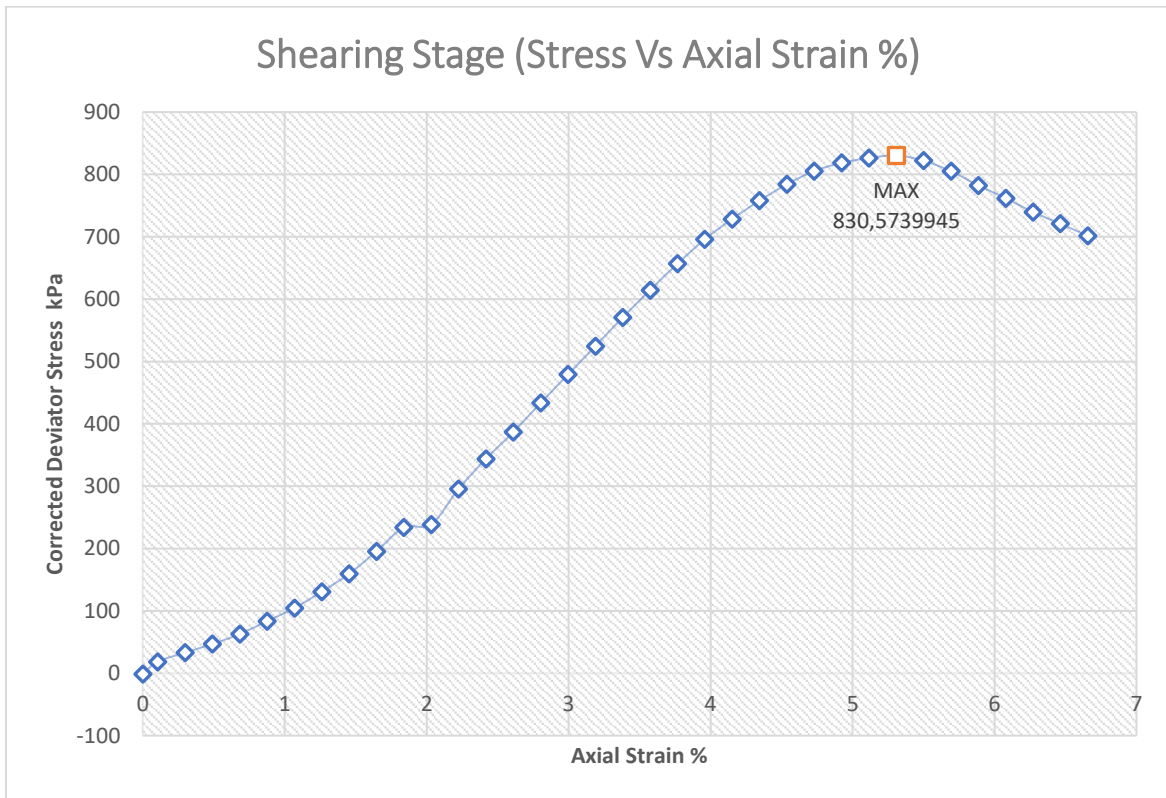
Fuente: Elaboración Propia.

6.1.8. Longitud de Fibra: 15 mm

6.1.8.1. Suelo Reconstituidos – 2.0 % de fibra.

6.1.8.1.1. Muestra 1.

Ilustración 46. Esfuerzo vs deformación. Suelo reconstituido con fibra al 2%. (Muestra 1).



Fuente: Elaboración Propia.

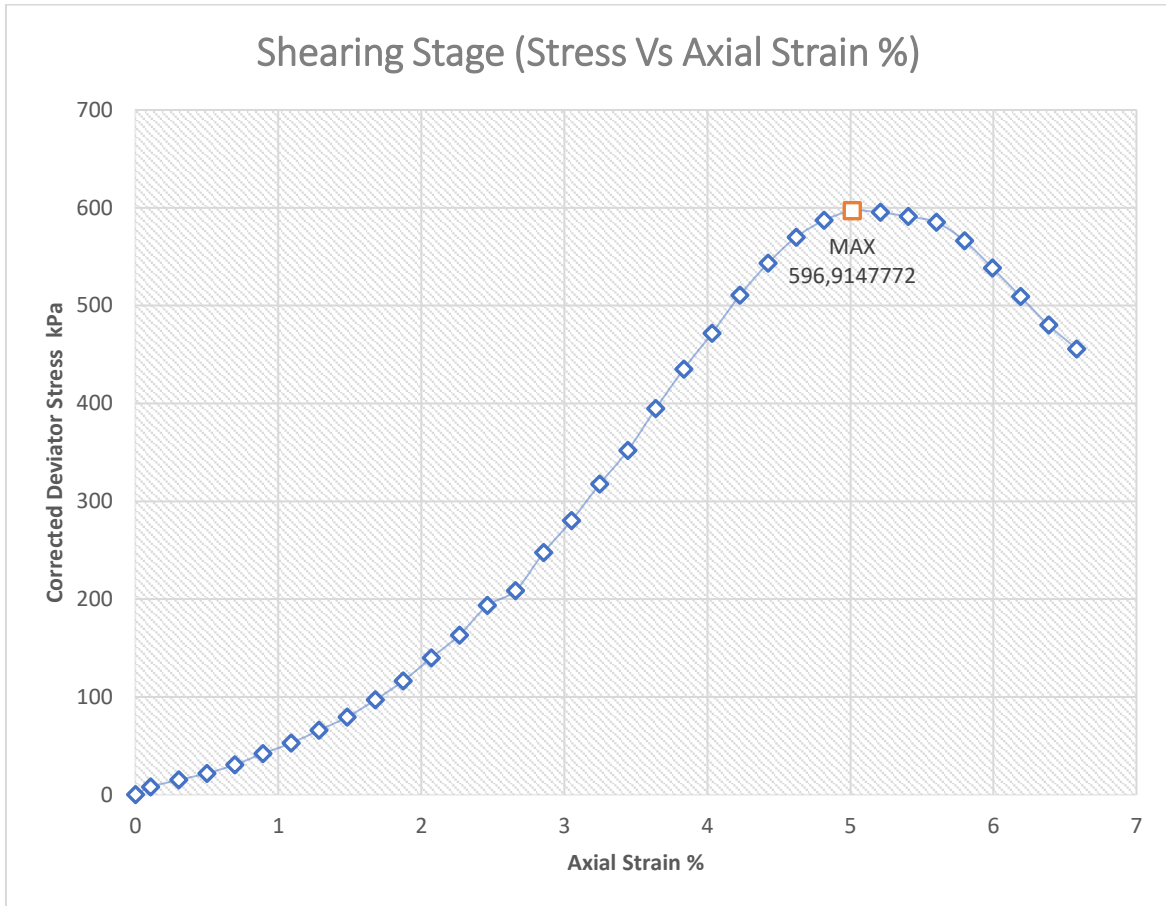
Tabla 17. Información. Compresión simple. Muestra 1 con fibra 2%

Densidad g/cm ³	1,66
Porcentaje de humedad %	29,12%
Grado de saturación. %	72,74%
Relación de vacíos.	1,06
Resistencia a la compresión.	830,6 Kpa
Deformación unitaria	3,86
Deformación Axial %	5,308
Módulo de elasticidad (1)	103,232 kPa
Módulo de elasticidad (2)	192,657 kPa
Cohesión	415,287 kPa
Criterio de falla.	Deformación

Fuente: Elaboración Propia.

6.1.8.1.2. Muestra 2.

Ilustración 47. Esfuerzo vs deformación. Suelo reconstituido con fibra al 2%. (Muestra 2).



Fuente: Elaboración Propia.

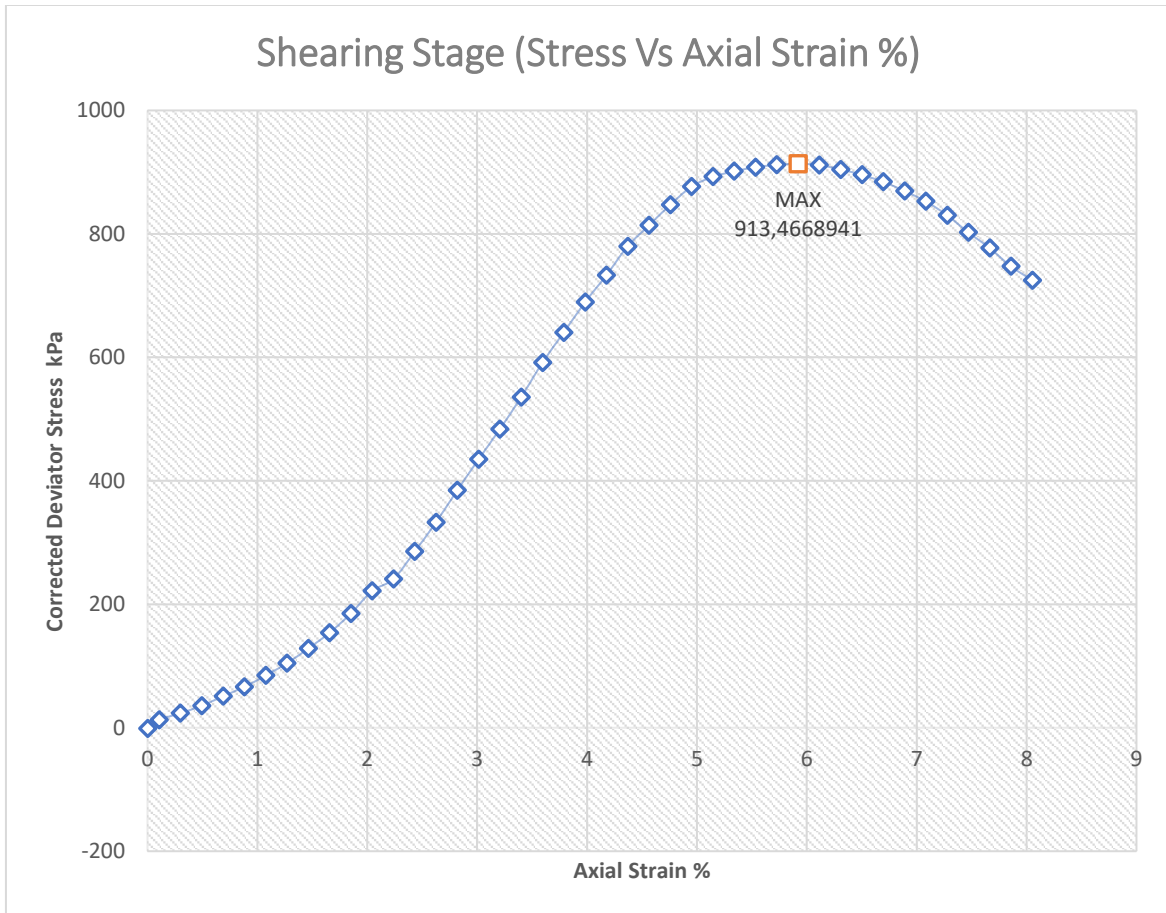
Tabla 18. Información. Compresión simple. Muestra 2 con fibra 2%.

Densidad g/cm3	1,67
Porcentaje de humedad %	30,29%
Grado de saturación. %	75,30%
Relación de vacíos.	1,07
Resistencia a la compresión.	596,9 Kpa
Deformación unitaria	3,58
Deformación Axial %	5,012
Módulo de elasticidad (1)	61,722 kPa
Módulo de elasticidad (2)	163.915 kPa
Cohesión	298,457 kPa
Criterio de falla.	Deformación

Fuente: Elaboración Propia.

6.1.8.1.3. Muestra 3.

Ilustración 48. Esfuerzo vs deformación. Suelo reconstituido con fibra al 2%. (Muestra 3).



Fuente: Elaboración Propia.

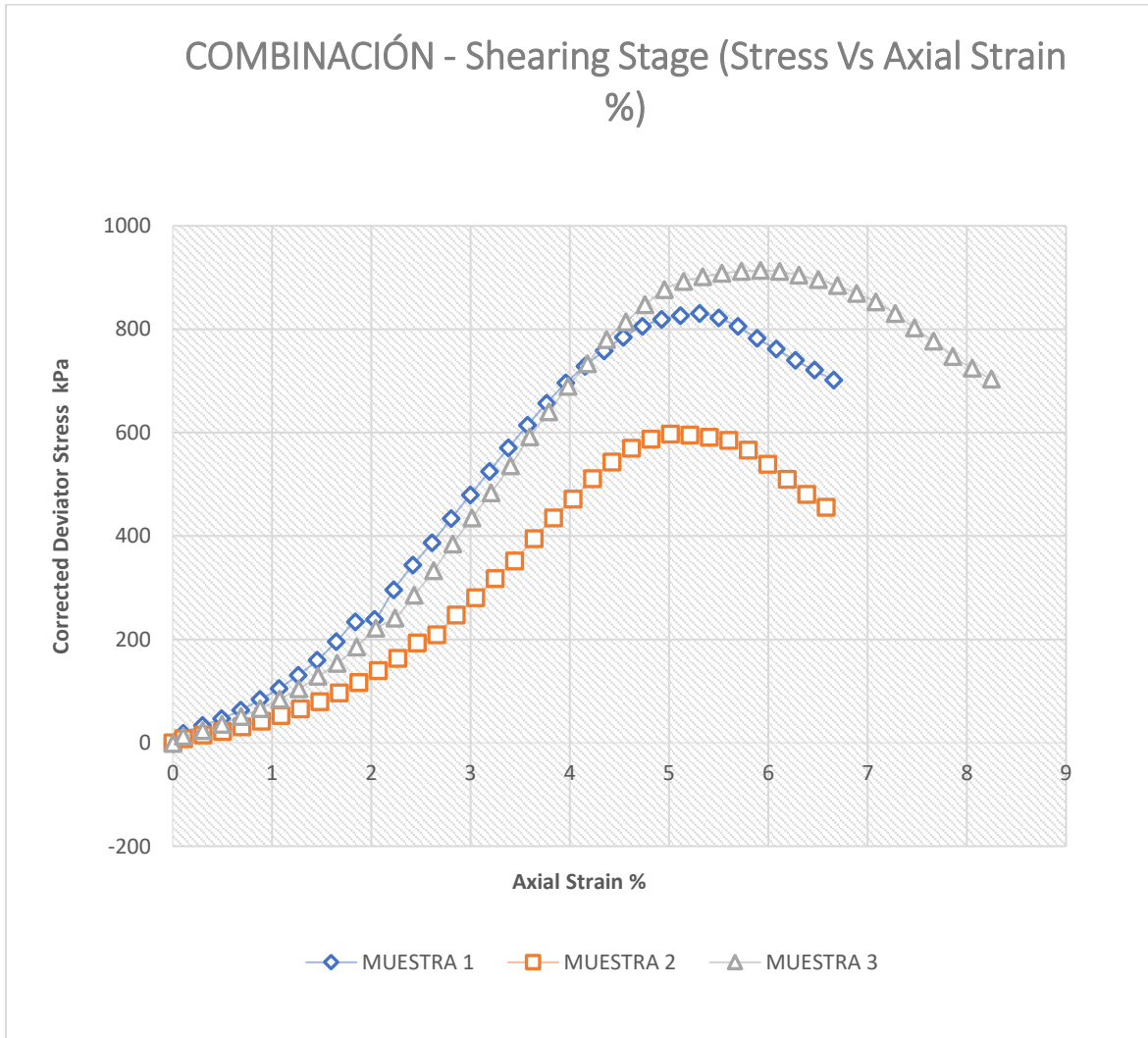
Tabla 19. información. Compresión simple. Muestra 3 con fibra 2%

Densidad g/cm3	1,67
Porcentaje de humedad %	30,16%
Grado de saturación. %	75,21%
Relación de vacíos.	1,06
Resistencia a la compresión.	913,5 Kpa
Deformación unitaria	4,28
Deformación Axial %	5,920
Módulo de elasticidad (1)	84,554 kPa
Módulo de elasticidad (2)	184,853 kPa
Cohesión	456,73 kPa
Criterio de falla.	Deformación

Fuente: Elaboración Propia.

6.1.8.1.4. Curvas combinadas 2.0% de fibra.

Ilustración 49. Esfuerzo vs deformación. Curvas combinadas suelos reconstituidos (fibra 2%).



Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 20. Resumen de información demuestras. Compresión simple. 2% de fibra.

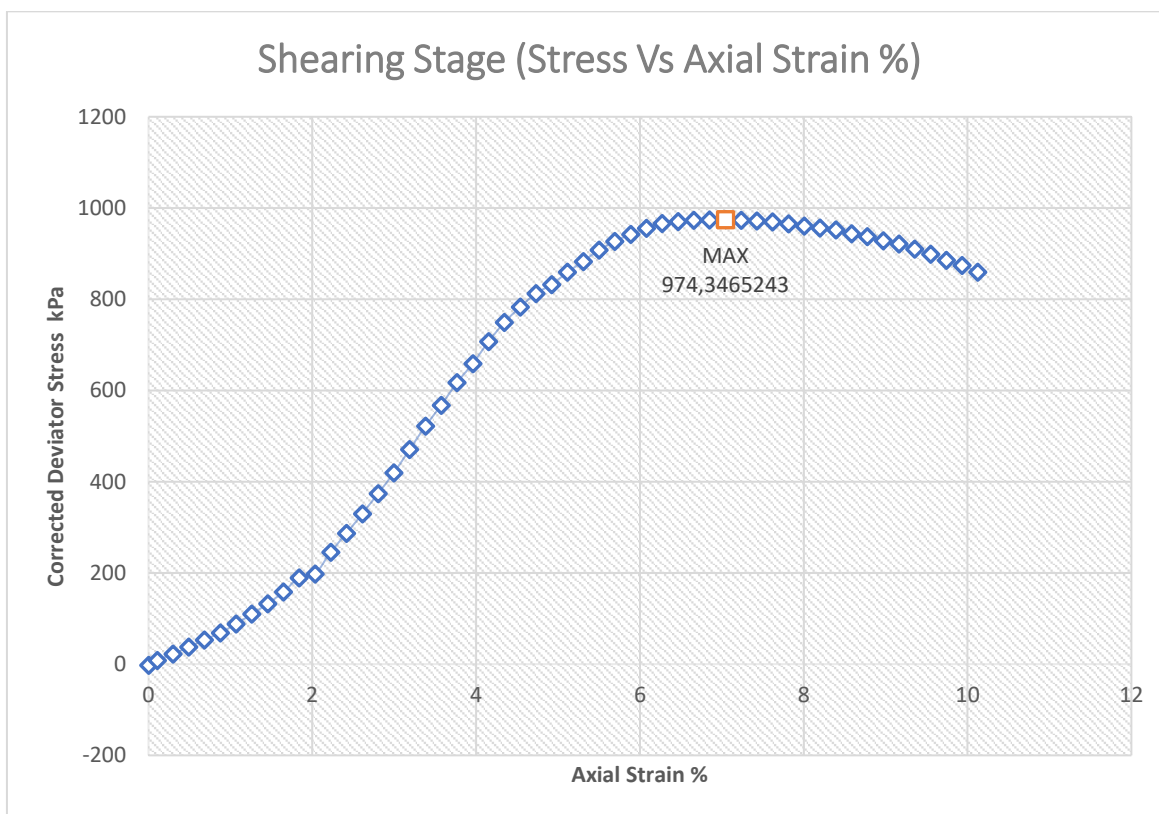
	M1	M2	M3	M3-M1
Deformación Unitaria	3,860	3,580	4,280	0,420
Esfuerzo Ultimo [kPa]	830,574	596,915	913,467	82,893
Axial Strain %	5,308	5,012	5,920	0,612
Mod. de Elasticidad [kPa]	103,232	61,722	84,554	
Mod. de Elasticidad [kPa]	192,657	163,915	184,853	
Cohesion [kpa]	415,287	298,457	456,733	

Fuente: Elaboración Propia.

6.1.8.2.Suelos Reconstituidos – 3.0 % de fibra.

6.1.8.2.1. Muestra 1

Ilustración 50. Esfuerzo vs deformación. Suelo reconstituido con fibra al 3%. (Muestra 1).



Fuente: Elaboración Propia.

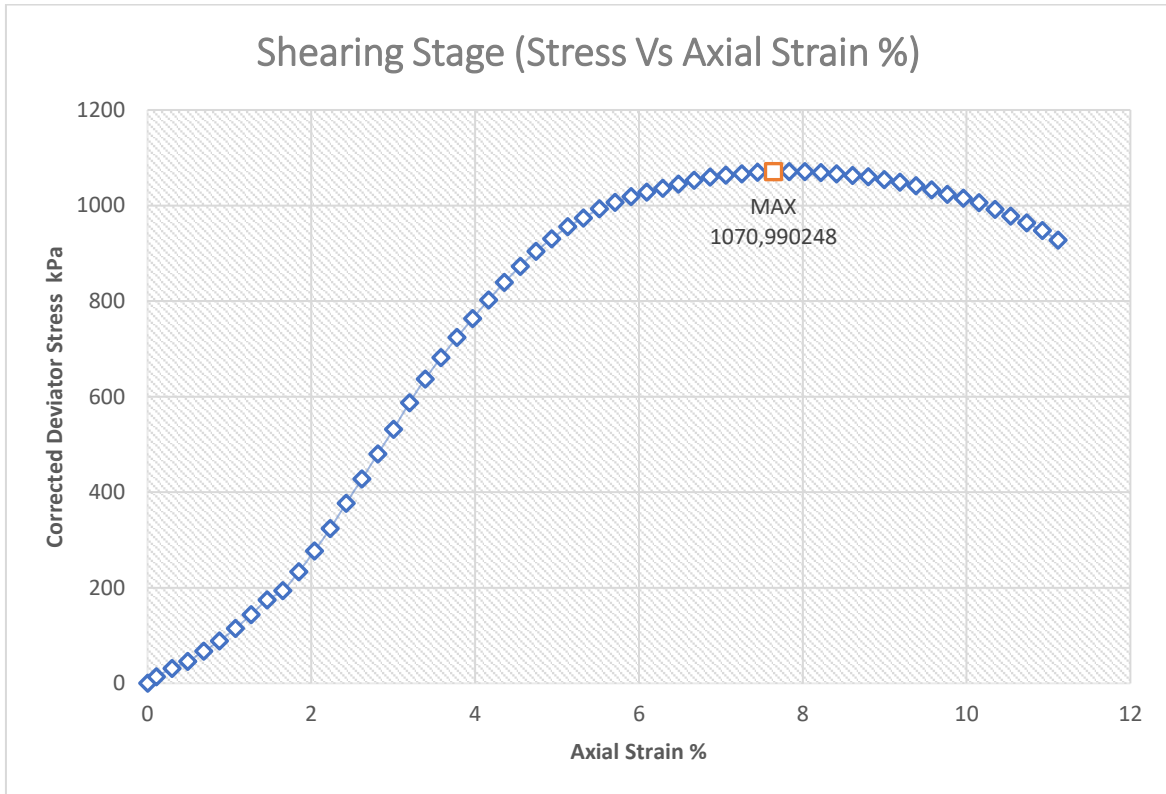
Tabla 21. Información. Compresión simple. Muestra 1 con fibra 3%

Densidad g/cm3	1,59
Porcentaje de humedad %	29,10%
Grado de saturación. %	66,70%
Relación de vacíos.	1,16
Resistencia a la compresión.	973,9 kPa
Deformación unitaria	5,12
Deformación Axial %	7,042
Módulo de elasticidad (1)	110,227 kPa
Módulo de elasticidad (2)	223,000 kPa
Cohesión	487,173 kPa
Criterio de falla.	Deformación

Fuente: Elaboración Propia.

6.1.8.2.2. Muestra 2

Ilustración 51. Ilustración 45. Esfuerzo vs deformación. Suelo reconstituido con fibra al 3%. (Muestra 2).



Fuente: Elaboración Propia.

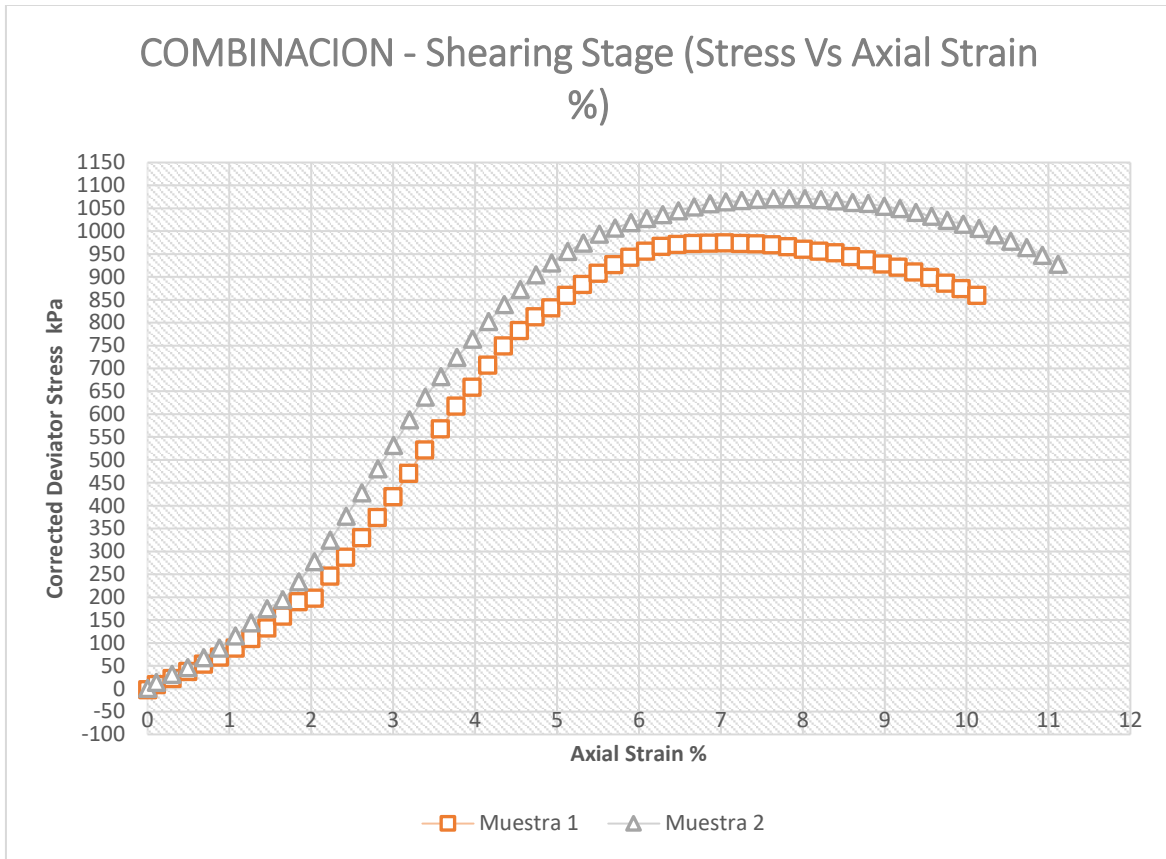
Tabla 22. Información. Compresión simple. Muestra 2 con fibra 3%

Densidad g/cm3	1,60
Porcentaje de humedad %	27,06%
Grado de saturación. %	64,65%
Relación de vacíos.	1,11
Resistencia a la compresión.	1071 Kpa
Deformación unitaria	5,54
Deformación Axial %	7,64
Módulo de elasticidad (1)	115,79 kPa
Módulo de elasticidad (2)	233,09 kPa
Cohesión	535,495 kPa
Criterio de falla.	Deformación

Fuente: Elaboración Propia.

6.1.8.2.3. Curvas combinadas 3.0% de fibra.

Ilustración 52. Esfuerzo vs deformación. Curvas combinadas suelos reconstituidos (fibra 3%).



Fuente: Elaboración Propia.

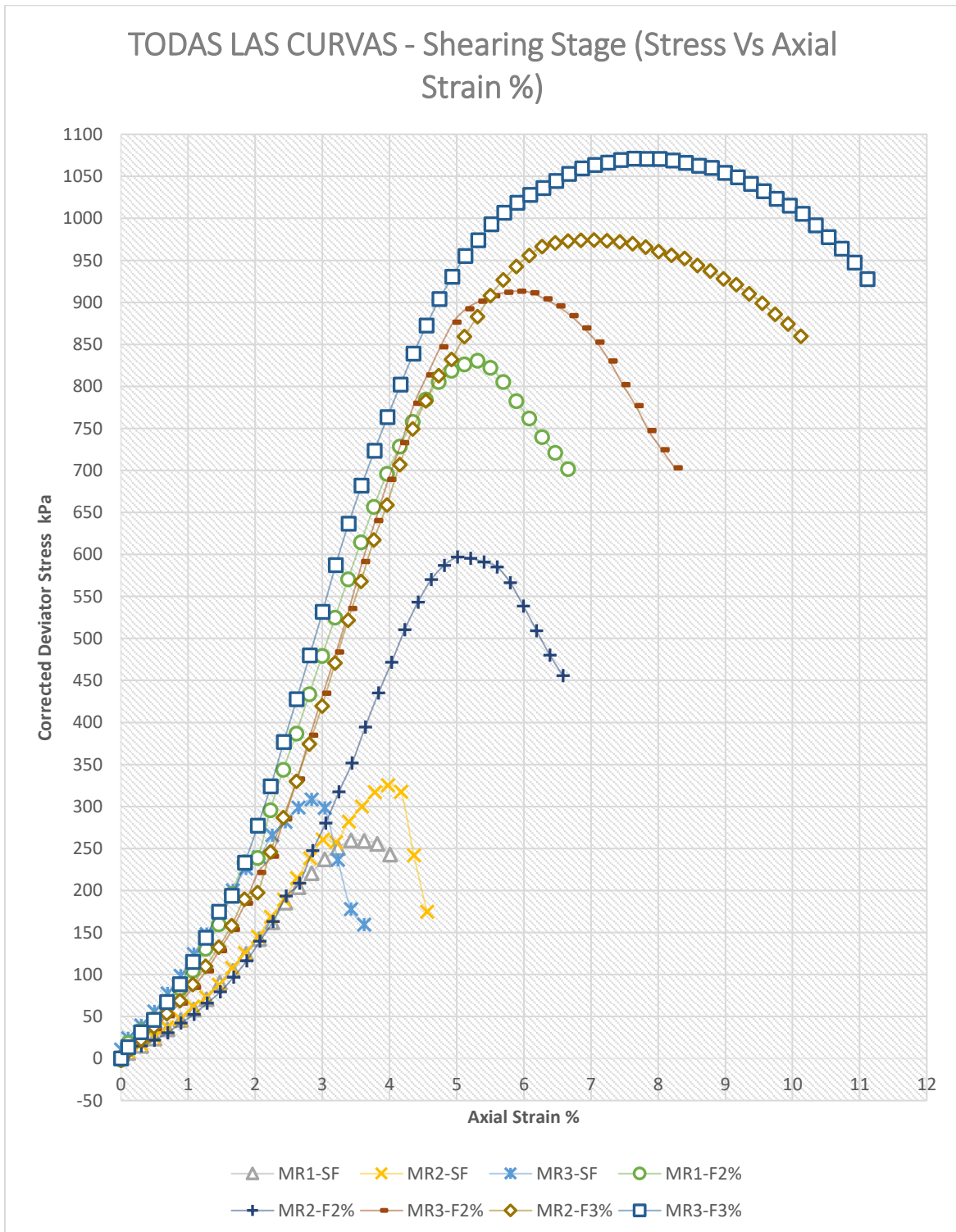
Tabla 23. Resumen de información de muestras. Compresión simple. Fibra 3%.

	M2	M3	M3-M2
Deformación Unitaria	5,121078	5,541465	0,420387
Esfuerzo Ultimo [kPa]	974,346524	1070,99025	96,6437236
Deformación Axial %	7,04218647	7,64023852	0,59805205
Mod. de Elasticidad [kPa](1)	110,227073	115,792435	
Mod. de Elasticidad [kPa](2)	222,999524	233,090977	
Cohesión [kpa]	487,173262	535,495124	

Fuente: Elaboración Propia.

6.1.8.3. Curvas Finales.

Ilustración 53. Esfuerzo vs deformación. Curvas totales.



Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 24. Resumen de resultados. Compresión simple.

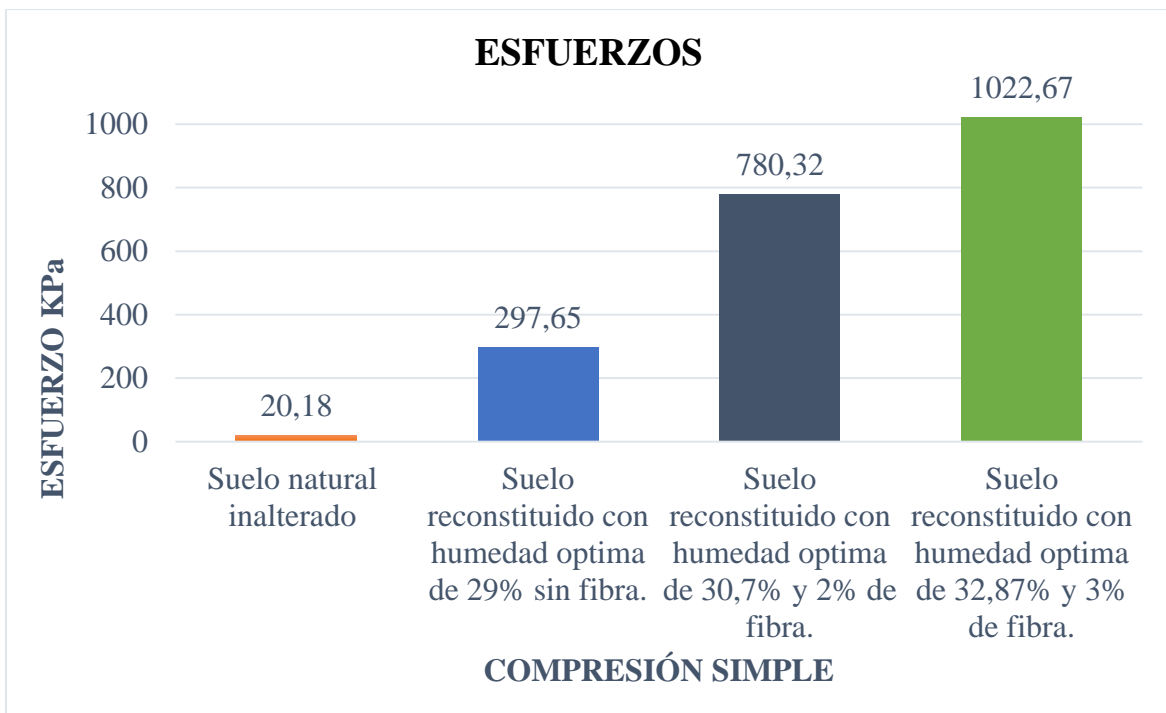
	INALTERADAS		RECONSTITUIDAS SIN FIBRA			RECONSTITUIDAS CON FIBRA AL 2%			RECONSTITUIDAS CON FIBRA AL 3%	
	M1	M2	M1	M2	M3	M1	M2	M3	M1	M2
Deformación Unitaria	3,64	4,62	2,46	2,88	2,18	3,86	3,58	4,28	5,12	5,54
Esfuerzo Ultimo [kPa]	25,17	15,19	259,58	325,10	308,25	830,57	596,91	913,47	974,35	1070,99
Deformación axial %	2,68	3,32	3,42	3,59	3,42	5,31	5,01	5,92	7,04	7,64
Mod. de Elasticidad [kPa] (1)	10,54	7,89	58,32	58,33	99,76	103,23	61,72	84,55	110,23	115,79
Mod. de Elasticidad [kPa] (2)	0,00	0,00	98,89	102,73	109,66	192,66	163,91	184,85	223,00	233,09
Cohesión [kpa]	12,58	7,59	129,79	162,55	154,13	415,29	298,46	456,73	487,17	535,50

Fuente: Elaboración propia

6.1.9. DISCUSIÓN Y RESULTADOS

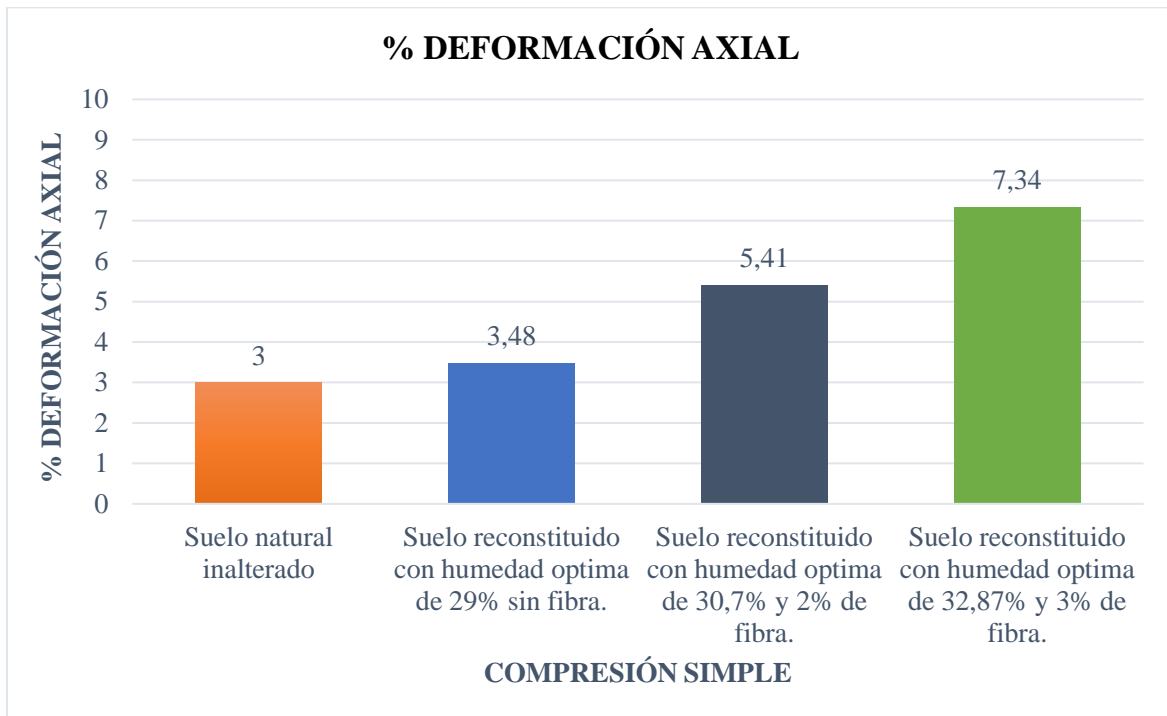
6.1.9.1.Resultados.

Ilustración 54 Diagrama de barras de Esfuerzos



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 55 Diagrama de barras de porcentaje de deformación axial



Fuente: Elaboración propia

6.1.9.2. Discusión.

Con respecto a los valores obtenidos en el ensayo de compresión simple, el suelo natural inalterado obtuvo un 20.18 KPa, el suelo reconstituido sin fibra obtuvo 297.65 KPa, el suelo reconstituido con fibra al 2% se obtuvo 780.32 KPa y el suelo reconstituido con fibra al 3% se obtuvo un 1022.67 KPa. Esto establece el incremento de esfuerzos de los especímenes debido al aumento de fibra en estos. También se puede observar un incremento de deformación axial mientras se aumenta el porcentaje de fibra, con relación al suelo inalterado se puede observar un porcentaje axial de deformación del 3% debido a que cuando se aplicó la carga el suelo tendía a eliminar sus vacíos y acomodar sus partículas.

CAPÍTULO VII

6.1. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1.1. CONCLUSIONES.

- Por medio de la clasificación SUCS se pudo determinar que el suelo analizado corresponde a un Limo orgánico con arena según el diagrama de clasificación de suelo orgánico de granulometría fina en donde más del 50% del material pasa el tamiz # 200. También al determinar que la relación del límite líquido secado al horno para el límite líquido no secado es de 0.734, se puede observar que es menor que 0.75 como muestra la carta de clasificación del suelo del tipo OH en la normativa ASTM D2487-17.
- Se concluye que el suelo es fino por la razón de que más del 50% pasa por el tamiz #200, además de que no se obtuvo presencia de grava al no tener partículas que se retuvieron en el tamiz #4, a su vez que se obtiene un porcentaje de 16.62% de arenas y el 14.69% de arenas finas como se especifica en su granulometría.
- Se pudo observar que, en el ensayo de compactación modificada, mientras se aumenta el porcentaje de fibra, la humedad también incrementa debido a que las fibras absorben bajos porcentajes de humedad. Para este caso se determinó que la fibra absorbía entre 3% y 4% de humedad relacionando la humedad con el molde de suelo natural dando como humedad óptima de 29%.
- Se puede concluir que a medida que se aumenta el porcentaje de fibra, la densidad seca máxima disminuye. Esto ocurre porque la fibra ocupa más espacio debido a su bajo peso, lo que hace que su volumen sea comparable al volumen del suelo. Además, la fibra tiene un efecto mayor de resistencia a la compactación en comparación con el suelo, lo que contribuye a esta disminución en la densidad seca máxima.
- Para determinar la resistencia de compresión simple, se ensayaron 2 probetas de suelos inalterados, 3 moldes reconstituidos de suelo natural, 3 moldes reconstituidos con 2% de fibra con 15mm de longitud y 2 moldes reconstituidos con 3% de fibra

con 15 mm de longitud. Lo cual se determinó un aumento en el esfuerzo máximo según se añadía mayor porcentaje de fibra. Para suelo inalterado se obtuvo un resultado de 20.18 KPa, en suelo reconstituido sin fibra se obtuvo un valor de esfuerzo de 297,65 KPa, mientras que en el espécimen reconstituido con 2% de fibra y 15 mm de longitud se obtuvo un valor de esfuerzo de 780.32 KPa y para el espécimen reconstituido con 3% de fibra y 15mm de longitud se obtuvo un valor de esfuerzo de 1022,67 KPa. Por lo que se obtuvo un mejoramiento de suelo de 5068.42% con respecto al suelo inalterado comparando el mayor esfuerzo obtenido que fue del suelo añadiendo 3% de fibra con el menor esfuerzo que fue el del suelo inalterado.

- Se concluye que, en los moldes con fibra, su deformación axial aumenta a medida que se incrementa el porcentaje de fibra, debido a que este actúa como un reforzamiento en el suelo incrementando su resistencia y estabilidad dando como resultados de deformación axial para suelo natural sin fibra de 3.48%, para los especímenes reconstituidos de 2% de fibra una deformación axial de 5.41% y para los especímenes reconstituidos de 3% de fibra una deformación axial de 7.34%.

- Al incluir la fibra en la composición del suelo, se observa una mejora sustancial en su módulo de elasticidad después de su ensayo de compresión simple en comparación con el suelo sin modificaciones. Esto resulta en un incremento en la rigidez del suelo, lo que a su vez conduce a una mayor capacidad de resistencia a la compresión.

- Teniendo en cuenta la mala calidad de estos tipos de suelos de manera natural del sector el Garrochal, existe una mejora en su capacidad con la inclusión de la fibra. Se puede concluir que este suelo si se puede utilizar para proyectos ingenieriles de interés social de baja escala, como parque, canchas, mejoramiento de suelos menores, realizando su debido tratamiento de compactación con humedades óptimas y densidades secas máximas, recalando también el ahorro económico para cualquier tipo de proyecto por su bajo costo y su fácil disponibilidad de la fibra.

6.1.2. RECOMENDACIONES

- Aunque se obtuvieron datos de mejora en el suelo reconstituido con fibra, se recomienda la realización de una investigación profunda y con mayores parámetros para poder encontrar un porcentaje de fibra y una longitud óptimas que den mejoras más estables.

Esto ayudará a que se pueda almacenar datos más cercanos a lo real, y poder ser usados de manera óptima en cualquier proyecto de ingeniería.

- Es recomendable incluir una protección en la fibra de abacá y poder realizar estudios de mejora tanto con protección de fibra como sin protección de fibra, esto nos ayudara a ver cuáles es recomendable para ser usada en futuros ensayos.
- Se debe realizar un estudio de durabilidad de la fibra en el suelo para conocer tiempo de vida de la fibra y cuando cambia sus características en el tiempo esto ayudara a tomar la decisión de realizar una protección a la fibra o no.
- Es recomendable al momento de realizar los moldes, usar el proceso del Harvard miniatura por su facilidad y obtención de muestras para ser usadas inmediatamente a ensayar, ya que al tratar de realizar remoldeo con el Proctor Modificado al momento de tallar es complicado por la ubicación de la fibra en el espécimen y esto hace que el espécimen tienda a dañarse o romperse. Pero a u vez es recomendable realizar un estudio de la reconstitución usando el Harvard miniatura ya que como pudimos constatar en las gráficas de los ensayos de compresión simple, todos los moldes tuvieron un comportamiento con dos pendientes que se encuentran entre 1,5 y 2 de la deformación axial, obviamente esto es una hipótesis que debería confirmar.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguirre Fuelantala, G. A., & Fuel Valencia, J. F. (octubre de 2020). *MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE SUELOS FINOS MEDIANTE LA ADICIÓN DE RESIDUOS PROVENIENTES DE FIBRAS VEGETALES*. Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/38614/aguirre%20fuelantala%20Guillermo%20Alberto%20Opdf%202021.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Álcivar Zambrano, E. M., & Escobar León, D. E. (2019). *INFLUENCIA DE LA INCLUSIÓN DE FIBRA DE ABACÁ EN LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE DE LIMOS ARENOSOS REMOLDEADOS*. Obtenido de <http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/17469>
- Andino Zumárrago , F., & Bedon Noguera, D. I. (2017). *EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE VIVIENDAS CONSTRUIDAS SOBRE SUELOS COLAPSABLES (TURBAS) EN UN ÁREA DE 13.23 HA EN EL SECTOR DEL GARROCHAL UBICADO EN EL SUR DEL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO*. Obtenido de <http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/14132>
- ASOCAE O.N.G.D. (2011). *EL ABACÁ (MUSA TEXTILIS), LA PLANTA DEL PAPEL MONEDA*. Obtenido de <https://natureduca.com/blog/el-abaca-musa-textilis-la-planta-del-papel-moneda/>
- ASTM D2166/D2166M-16. (2016). *Standard Test Method for Unconfined Compressive Strength of Cohesive Soi*. Obtenido de <https://compass.astm.org/document/?contentcode=ASTM%7CRR%3AD18-1014%7Cen-US>
- ASTM D2216-19. (2019). *Standard test methods for laboratory determination of water (moisture) content of soil and rock by mass*.
- ASTM D2487-17. (2023). *Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System)*.

- ASTM D2974. (2020). *Standard Test Methods for Determining the Water (Moisture) Content, Ash Content, and Organic Material of Peat and Other Organic Soils*. Obtenido de <https://www.astm.org/d2974-20e01.html>
- ASTM D4427-23. (s.f.). *Standard Classification of Peat Samples by Laboratory Testing*. Obtenido de <https://compass.astm.org/document/?contentCode=ASTM%7CD4427-23%7Cen-US>
- ASTM D854-14. (2014). *Standard Test Methods for Specific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometer*.
- Avilés Ponce, L. R. (MAYO de 2013). *CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA DEL SUR DE LA CIUDAD DE QUITO*. Obtenido de <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/2752>
- Bowles, J. (2019). *MANUAL DE LABORATORIO DE SUELOS EN INGENIERÍA CIVIL*. Obtenido de LIBROSMcGRAW-HILL,Ed.; 1st ed., Vol. 1
- Cabezas Chavez, E. J., & Serrato Chaguala, Y. F. (20 de septiembre de 2019). *EVALUACION DE LA RESISTENCIA DE UN SUELO GRUESO REFORZADO CON FIBRAS DE COCO*. Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/<http://repository.unipiloto.edu.co/bitstream/handle/20.500.12277/6481/EVALUACION%20DE%20LA%20RESISTENCIA%20DE%20UN%20SUELO%20GRUESO%20REFORZADO%20CON%20FIBRAS%20DE%20COCO.pdf?sequence=7&isAllowed=y>
- Castro Leiva, L. Y. (septiembre de 2019). *EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL USO DE FIBRAS DE GUADUA PARA EL REFORZAMIENTO DE UN SUELO ARENO ARCILLOSO*. Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/<http://repository.unipiloto.edu.co/bitstream/handle/20.500.12277/6483/REFORZAMIENTO%20CON%20GUADUA.%20%281%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- David, R. (25 de septiembre de 2014). *Mejoramiento de suelos expansivos mediante inclusiones de fibras*. Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/<https://ri-ng.uaq.mx/bitstream/123456789/819/1/RI001427.pdf>

De La Cruz Vega, S., Mendoza Flores, C., Tello Rodriguez , E., Quinte Villegas, A., Obispo Gavino, J., & Tello Rodriguez, E. (2017). *GRANULOMETRÍA, HUMEDAD Y CARACTERÍSTICAS DE LOS SUELOS DE LA CIUDAD DE HUACHO*. Obtenido de <https://doi.org/10.51431/bbf.v6i2.159>

El Agrónomo orgánico. (12 de junio de 2012). *ABACÁ- GENERALIDADES Y CULTIVO*. Obtenido de <http://elagronomoorganico.blogspot.com/2012/06/abaca-generalidades-y-cultivo-2.html>

FAO. (2023). *Fibras del Futuro*. Obtenido de <https://www.fao.org/economic/futurefibres/fibres/abaca0/es/>

G. D., & Escobar Potes, C. E. (2016). *Geomecánica*. Colombia: Manizales.

Hang Alvarado, A. A., & Montero Bernabé, G. E. (20 de 02 de 2015). “*ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DEL SECTOR EXPORTADOR DEL ABACÁ EN EL ECUADOR, PERIODO 2000- 2013*”. Obtenido de <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/3900/1/T-UCSG-PRE-ECO-CECO-66.pdf>

Hernandez , I. R., Perdomo, D., & Rincon, J. D. (29 de julio de 2015). *IMPLEMENTACIÓN DE FIBRAS NATURALES EN LA ESTABILIDAD DE TALUDES*. Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://repository.ugc.edu.co/bitstream/handle/11396/3388/Implementacion_fibrasnaturales_estabilidad_taludes.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Jácome Gómez, L., Cristina Martinez, M., De La Cruz Chicaiza, M., Chica Solórzano, H., & Valencia Enriquez, X. (marzo-abril de 2023). *Rendimiento de fibra de dos variedades de Abacá (Musa textiles) en tres densidades de Siembra*. Obtenido de [https://ciencialatina.org/index.php/cienciala/article/download/5615/8484/#:~:text=El%20producto%20del%20abac%C3%A1%20es,y%20brillo%20\(Campuzano%20y%20Cede%C3%B1o%2C](https://ciencialatina.org/index.php/cienciala/article/download/5615/8484/#:~:text=El%20producto%20del%20abac%C3%A1%20es,y%20brillo%20(Campuzano%20y%20Cede%C3%B1o%2C)

Larico Larico, C. C. (28 de septiembre de 2009). *EL ABACÁ*. Obtenido de <https://toaz.info/doc-view-2>

- Leatham, D. J., De Pareja, L. A., Salazar, W., & Bocardo, C. (19 de septiembre de 2000). *Factores Económicos Afectando la Producción de Abacá en Ecuador*. Obtenido de https://docs.google.com/document/d/112txWlYlWxDpBgGYLaLUaMzeVLst9e57u_b56tmEIXU/edit
- López Martínez, M. A. (2017). *MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE LOS SUELOS ARENOSOS DEL SECTOR DE POMASQUI PARA CIMENTACIONES SUPERFICIALES Y CONTRAPISOS, MEDIANTE EL USO DE CEMENTO TIPO MH*. Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpajpcglclefindmkaj/http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/13132/MARCO%20LOPEZ%20.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Lopez, L., Sarmiento, A., Fajardo, J., Valarezo, L., & Zuluaga, R. (s.f.). *DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE HUMEDAD, SOLUBLES E INSOLUBLES DE LA FIBRA*. Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpajpcglclefindmkaj/https://core.ac.uk/download/pdf/84697913.pdf
- Mouhsine, A. (2020). *Puesta a punto del equipo de compresión simple e interpretación de ensayos acorde a la normativa vigente*. Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpajpcglclefindmkaj/https://repositorio.upct.es/xmlui/bitstream/handle/10317/9124/tfg-mou-pue.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Peñañiel Rosales, B. E., & Reascos Armas, A. N. (abril de 2021). *CARACTERIZACIÓN FÍSICA, GEOMECÁNICA Y DETERMINACIÓN DE LA RELACIÓN ENTRE EL ÍNDICE DE PLASTICIDAD Y EL COEFICIENTE DE COMPRESIBILIDAD DEL SUBSUELO DEL SECTOR GARROCHAL PARROQUIA TURRUBAMBA*. Obtenido de file:///C:/Users/Dell/Downloads/Tesis%20Pe%C3%B1añiel-Reascos.pdf
- Ponce Molina, E. (2015). *PRODUCCIÓN DE FIBRA DE ABACÁ (Musa textilis) CON ABONADURA ORGÁNICA*. Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpajpcglclefindmkaj/https://repositorio.uteq.edu.ec/bitstream/43000/1495/1/T-UTEQ-0158.pdf

- Pontón Bravo, P. I. (abril de 2009). *ESTUDIO DEL EFECTO DE ENCOLADO DE FIBRA DE ÁBACA EN EL MEJORAMIENTO DE SU CAPACIDAD DE TISAJE*. Obtenido de <chrome-extension://efaidnbnmnnibpcajpcglclefindmkaj/https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/1709/1/CD-2128.pdf>
- Quiñonez Intriago, L. A. (2021). “ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL CULTIVO DE ABACÀ (*Musa Textilis Nee.*), EN LA BOCANA DEL BÙA, PROVINCIA DE ESMERALDAS, ECUADOR. Obtenido de <chrome-extension://efaidnbnmnnibpcajpcglclefindmkaj/http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/17181/1/13T00991.pdf>
- Salas Balseca , A. P. (Febrero de 2009). *OBTENCIÓN DE COMPUESTOS DE POLIETILENO REFORZADO CON FIBRAS DE ABACÁ MEDIANTE MOLDEO POR COMPRESIÓN*. Obtenido de [file:///C:/Users/Dell/Downloads/CD-1980%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/Dell/Downloads/CD-1980%20(1).pdf)
- Terzagui, K., Ralph, B., & Peck. (1949). *SOIL MECHANICS IN ENGINEERING PRACTICE*. Obtenido de <https://doi.org/10.1086/625679>
- Vettorelo, P. V., & Clariá, J. J. (marzo de 2014). *Suelos Reforzados con Fibras: Estado del Arte y Aplicaciones*. Obtenido de <file:///C:/Users/Dell/Downloads/gbernardello,+Journal+manager,+11+Articulo+revista+-+Vettorelo+y+Claria+-+con+correcciones.pdf>
- Villacís Troncoso, E., Luna Hermosa, G., Escadeillas, G., Román Solórzano, K., Orbe Pinchao, L., Zúñiga Morales, P., & Guerrero Barragán, V. (2022). ESTABILIZACIÓN DE ARCILLAS EXPANSIVAS CON CENIZA VOLCÁNICA Y CENIZA DE CASCARILLA DE ARROZ. Obtenido de <https://doi.org/10.37815/rte.v34n2.821>
- Zambrano, K. (03 de marzo de 2013). *Abacá Ecuador*. Obtenido de <http://abacaecuador.blogspot.com/p/proceso-del-abaca.html>

ANEXOS



EXTRACCION DE SUELO



PRESENCIA NIVEL FREATICO N+0.50



EXTRACCION MUESTRAS INALTERADAS



EXTRACCION MUESTRAS INALTERADAS



HOMOGENIZACION DEL SUELO



SUELO HOMOGENIZADO, SECADO NATURAL



RELACIONES FUNDAMENTALES



RELACIONES FUNDAMENTALES



GRAVEDAD ESPECIFICA



CONTENIDO DE HUMEDAD



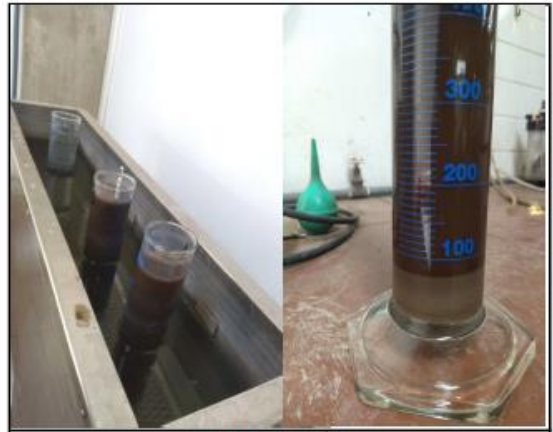
CONTENIDO ORGANICO



CONTENIDO ORGANICO



HIDROMETRIA



HIDROMETRIA



FIBRA DE ABACA



CORTE FIBRA DE ABACA 15MM



FIBRA DE ABACA



HOMOGENIZACION





TALLADO DE MOLDES



TALLADO Y MOLDE DE SUELO



METODO DE HARVARD MINIATURA



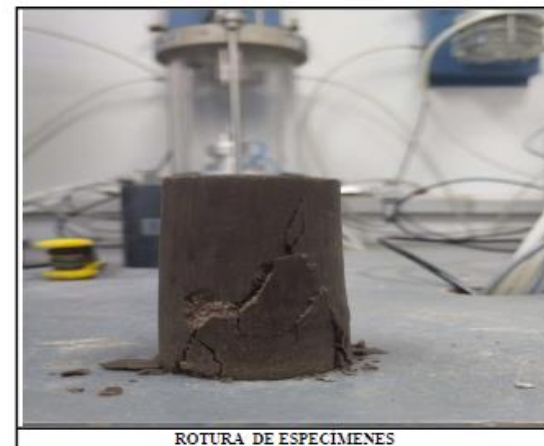
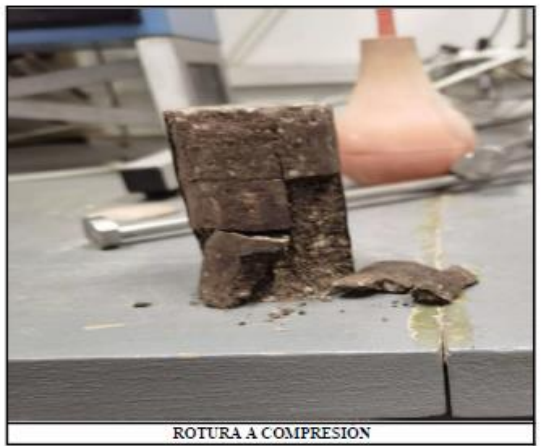
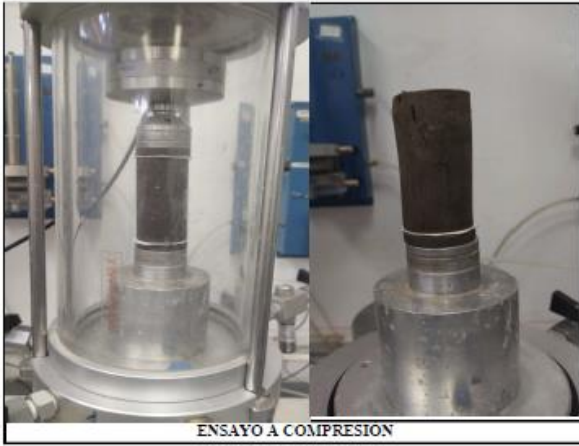
ENSAYO A COMPRESION



ENSAYO DE COMPRESION

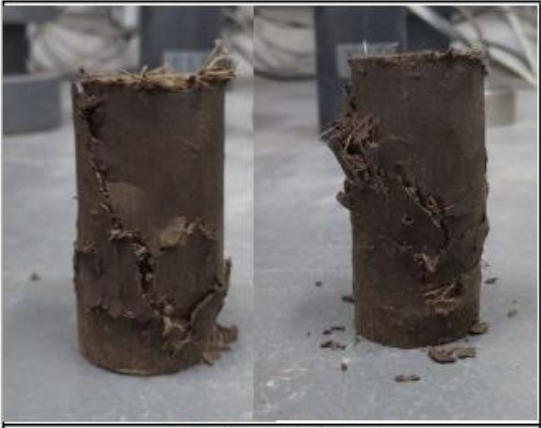


ENSAYO A COMPRESION





ROTURA DE ESPECIMENES



ROTURA DE ESPECIMENES