



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

Mejoramiento de suelo con fines constructivos utilizando  
tereftalato de polietileno en el programa de vivienda Profam  
Santa Rosa 2019

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

Ingeniero Civil

**AUTOR:**

Perez Sinche, Willy Jean (ORCID: 0000-0002-4917-9609)

**ASESOR:**

Mg. Benites Zuñiga, Jose Luis (ORCID: 0000-0003-4459-494X)

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

Diseño sísmico y estructural

**LIMA – PERÚ**

2020

## **Dedicatoria**

Este trabajo de investigación está dedicado a mis padres, por todo su apoyo incondicional con el propósito de lograr mis metas y culminar con éxito este gran paso en mi vida.

### **Agradecimiento**

Ante todo, quiero agradecer a mi asesor de tesis, ING. Benites Zuñiga Jose por su esfuerzo y Dedicación constante, también agradecerles a todos los docentes de la Escuela de Ingeniería Civil por su amabilidad y apoyo en diferentes circunstancias. Mis padres y todos mis familiares que me motivaron a seguir luchando por mis sueños.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

Carátula.....	i
Dedicatoria .....	ii
Agradecimiento.....	iii
Índice de contenidos.....	iv
Índice de tablas .....	v
Índice de figuras .....	vi
Resumen .....	viii
Abstract .....	ix
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. MARCO TEÓRICO .....	5
III. METODOLOGÍA.....	33
3.1 Tipo y Diseño de Investigación.....	33
3.2 Operacionalización de variables.....	34
3.3 Población, Muestra y Muestreo .....	34
3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	35
3.5 Procedimiento .....	36
3.6 Método de Análisis de Datos.....	36
3.7 Aspectos Éticos.....	37
IV. RESULTADOS .....	38
V. DISCUSIÓN .....	54
VI. CONCLUSIONES.....	58
VII. RECOMENDACIONES.....	59
REFERENCIAS .....	60
ANEXOS.....	67

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Valores de los módulos de reacción y de elasticidad .....	17
Tabla 2 Serie de Tamices ASTM .....	20
Tabla 3 Datos técnicos del PET (2006).....	24
Tabla 4 Granulométrica por Tamizado .....	41
Tabla 5 Granulométrica por Tamizado .....	42
Tabla 6 Límite de Atterberg.....	42
Tabla 7 Límite de Atterberg.....	43
Tabla 8 Corte directo del Suelo Natural – 100% .....	44
Tabla 9 Corte directo del Suelo Natural 98% + PET 2% .....	45
Tabla 10 Resultado de ángulo de fricción “ $\phi$ ” y cohesión “c”.....	47
Tabla 11 Corte directo del Suelo Natural – 100% .....	48
Tabla 12 Corte directo del Suelo Natural 80% + CENIZA 20% .....	48
Tabla 13 Resultado de ángulo de fricción “ $\phi$ ” y cohesión “c”.....	50
Tabla 14. Matriz de Operacionalización de variables.....	67
Tabla 15. Matriz de consistencia.....	72
Tabla 16 Análisis Granulométrico por Tamizado.....	72
Tabla 17 Toma de datos de laboratorio del ensayo de Corte Directo del suelo natural .....	75
Tabla 18 Toma de datos de laboratorio del ensayo de Corte Directo del suelo natural con el PET.....	76
Tabla 19 Análisis Granulométrico por tamizado.....	77
Tabla 20 Toma de datos de laboratorio del ensayo de Corte Directo del suelo natural 100% .....	79
Tabla 21 Toma de datos de laboratorio del ensayo de Corte Directo del suelo natural 80% + Ceniza de madera 20%.....	80

## ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1</i> Vivienda Profam – Santa Rosa .....	2
<i>Figura 2</i> Mejoramiento de suelo .....	14
<i>Figura 3</i> Las tres clases principales consideradas por Rollings (1996): Sustitución, Reducción de la humedad y Refuerzo. ....	15
<i>Figura 4</i> Emparejamiento de suelo.....	16
<i>Figura 5</i> Clasificación SUCS. ....	17
<i>Figura 6</i> Cuchara de Atterberg .....	18
<i>Figura 7</i> Análisis Granulométrico .....	20
<i>Figura 8</i> Ensayo para obtener los parámetros de resistencia de la muestra....	21
<i>Figura 9</i> Polyethylene terephthalate .....	23
<i>Figura 10</i> Envases de PET.....	25
<i>Figura 11</i> Envases PET reciclaje .....	26
<i>Figura 12</i> Trituración y se forma fibras de plástico .....	28
<i>Figura 13</i> Granulado de PET.....	29
<i>Figura 14</i> Clasificaciones de Residuos.....	29
<i>Figura 15</i> Códigos, propiedades y usos de la resina plástica (Tecnología de los Plásticos, 2011) .....	30
<i>Figura 16</i> Mapa político de la provincia de lima y del Perú .....	38
<i>Figura 17</i> Ubicación del distrito .....	39
<i>Figura 18</i> Mamani & Quispe.....	40
<i>Figura 19</i> García, Ximena .....	40
<i>Figura 20</i> Límite Atterberg del suelo arcilloso de García, Ximena.....	43
<i>Figura 21</i> Límite Atterberg del suelo arcilloso de Mamani y Quispe.....	44
<i>Figura 22</i> Esfuerzo cortante VS. Deformación horizontal.....	45
<i>Figura 23</i> Deformación horizontal VS. Deformación vertical .....	46
<i>Figura 24</i> Envolvente de Falla.....	46
<i>Figura 25</i> Gráfico de Ángulo de fricción y cohesión .....	47
<i>Figura 26</i> Esfuerzo cortante VS. Deformación horizontal.....	49
<i>Figura 27</i> Envolvente de Falla.....	49
<i>Figura 28</i> Gráfico de Ángulo de fricción y cohesión .....	50
<i>Figura 29</i> Gráfico de Comparación de Ángulo de Fricción.....	51

<i>Figura 30</i> Gráfico de Comparación de Cohesión .....	52
<i>Figura 31</i> Comparación en la resistencia al esfuerzo cortante del suelo.....	53
<i>Figura 32</i> Gráfico de Comparación de Ángulo de Fricción.....	55
<i>Figura 33</i> Gráfico de Comparación de Cohesión .....	56
<i>Figura 34</i> Comparación en la resistencia al esfuerzo cortante del suelo.....	57
<i>Figura 35</i> Captura de pantalla de la tesis 2 de GARCIA, X sin certificado de validación Límite de Atterberg .....	73
<i>Figura 36</i> Captura de pantalla de la tesis 2 de GARCIA, X sin certificado de validación Límite de Atterberg .....	74
<i>Figura 37</i> Límite de consistencia.....	78
<i>Figura 38</i> Gráfica de índice de plasticidad .....	78

## RESUMEN

Esta investigación presenta una alternativa para mejorar la resistencia, el ángulo de fricción, la cohesión y la resistencia al corte de un suelo, aplicando el concepto de suelo reforzado con fibras. El refuerzo del terreno se llevó a cabo gracias a inclusiones aleatorias de fibras de tereftalato de polietileno con un 2% y 20% de cenizas de madera del peso seco del suelo, al comparar los resultados de las tesis y analizar con cuáles de estas tesis se puede obtener un mejor resultado, utilizando la prueba de corte directo de 50, 100 y 200 kPa para el suelo con PET y 27.5, 55 y 110 kPa con el fondo de madera. A partir de los resultados de la prueba, se descubrió que con las fibras de PET y cenizas de madera mejoraba su resistencia al suelo; asimismo, los parámetros de cohesión y ángulo de fricción. Al comparar los resultados mejoran las propiedades del suelo, pero más con el uso de PET que con la ceniza de madera. Finalmente, se verifica que las fibras de PET recicladas tienen el potencial suficiente para mejorar el suelo, presentando así una nueva alternativa ecológica para la reutilización de residuos en obras de ingeniería civil.

**Palabras claves:** Mejoramiento de suelo, Tereftalato de polietileno, ceniza de madera

## ABSTRACT

This research presents an alternative to improve the resistance, the angle of friction, the cohesion and the cut resistance of a floor, the application of the concept of fiber-reinforced floor. The ground reinforcement was carried out thanks to random inclusions of polyethylene terephthalate fibers with 2% and 20% wood ash from the dry weight of the soil, by comparing the test results and analyzing with the results of these tests You can get a better result, using the 50, 100 and 200 kPa direct cut test for the PET soil and 27.5, 55 and 110 kPa for the wood bottom. From the results of the test, he discovered that with the fibers of PET and wood ash his resistance to the ground improved; specifically, the cohesion and friction angle parameters. Comparing the results improves the properties of the soil, but more with the use of PET than with wood ash. Finally, check the recycled PET fibers have enough potential to improve the soil, thus presenting a new ecological alternative for the reuse of waste in civil engineering works.

**Keywords:** Soil improvement, Polyethylene terephthalate, wood ash

## I. INTRODUCCIÓN

La Asociación de la Zona de Pro Vivienda PROFAM en el distrito de Santa Rosa del departamento de Lima- Perú que tiene 27 863 habitantes y que uno de los grandes problemas principal que tiene la población son los suelos ya que están en malas condiciones, la gran mayoría de casas están hechas de adobe o de material noble y que casi nadie hace una construcción con estudios de suelos, pocos son los ingenieros que se acerca a esa zona, el terreno en su mayoría se observa que es un suelo arenoso arcilloso y no es tan bueno para edificaciones con mayor amplitud, sus calles son de tierra, todas están alineadas y muestran superficie rasante.

Generalmente, en los suelos de arcilla o muy arenosos se produce una amplificación de ondas sísmica; esto ocurre porque el material es más suelto y las ondas lo pueden mover con gran facilidad, por ende en un suelo bien compacto el movimiento (vibraciones) se siente menos, la gran parte del terreno de la zona de Santa Rosa tiene avistamiento arenoso, pero es limoso - arcilloso , si en todo caso se quisiera realizar alguna edificación y llegara a ocurrir un sismo o terremoto las edificaciones colapsarían, pero si llegara a soportar la edificación a las ondas sísmicas con el tiempo todo lo que está estable en el suelo arenoso, limoso - arcilloso se hundiría, se descompone y se caería.

Sus características climatológicas es de un clima Húmedo propio de la costa peruana debido a su cercanía al mar y que su topografía es accidentada con una presencia de cerros desérticos con bancos de arena, limoso - arcilloso , por ello las personas de la zona Pro Vivienda PROFAM son humildes y ellos casi siempre recurren a los maestros de obra, que a un ingeniero, porque ellos sabían que el suelo donde están ubicados no está en sus mejores condiciones para grandes edificaciones y que en cualquier movimiento sísmico colapsaría sus casas, si se quiere mejorar las características de un suelo es recomendable hacerlo con un material más resistente, con el fin de:

Reducir los asentamientos, tanto diferenciales como absolutos, Reforzar la capacidad y la resistencia del suelo, Reducir la probabilidad de riesgo o derrumbe por algún movimiento de ondas, sismos o de cualquier otra forma técnica que la naturaleza se pueda manifestar

Con el fin, de que la granulometría del terreno se quiera mejorar para obtener mayor resistencia y evita menos daños por cualquier onda sísmica. Por lo tanto sería recomendable incitar a los propietarios de la zona que deseen construir, tengan una noción y dar soluciones para que sepan cómo deberían construir una edificación según el tipo de su suelo. Lo que se desea lograr con esta investigación es que con el tiempo edificar suelos firmes y que se adapte a los bolsillos del público que vive en la zona, también orientar e informar sobre el tipo de suelo que tiene la zona, con el fin de que sepan que el terreno puede ser mejorado con un aditivo como el tereftalato de polietileno y mejorar todas sus características del suelo con fines constructivos.

En esta tesis se propuso mejorar un suelo limoso - arcilloso usando fibras recicladas de PET. Para estudiar las posibles mejorías en sus propiedades mecánicas que se obtienen en el suelo limoso – arcilloso al usar fibras de PET. Lo que se trata de lograr es que de esta forma el uso del PET reciclado, sea reutilizado para ayudar con el medio ambiente.



*Figura 1* Vivienda Profam – Santa Rosa

## **Problema General**

¿Cómo influye el PET o la ceniza de madera en el mejoramiento de suelo?

## **Problemas Específicos**

¿Cómo influye el PET o la ceniza de madera en el ángulo de fricción del suelo?

¿Cómo influye el PET o la ceniza de madera en la cohesión del suelo?

¿Cómo influye el PET o la ceniza de madera en la resistencia al esfuerzo cortante del suelo?

## **Justificación Práctica**

Con este proyecto de investigación queremos intentar facilitar todas las soluciones posibles a los problemas existentes con respecto a lo que está sucediendo en el suelo de nuestro país. Estas posibles soluciones nos permiten reducir las causas y reducir las pérdidas económicas y sociales. Además, para mejorar el suelo, primero debe realizar estudios de mecánica del suelo para que a través de estos obtengamos información y sepamos qué tipo de suelo hay en el hogar de vivienda PROFAM – En el Distrito Santa Rosa, una vez que se analicen los estudios y elija el mejor La solución que se le puede dar a la tierra.

## **Justificación Metodológica**

En este proyecto de investigación, se lleva a cabo con el objetivo de obtener una mejora en el suelo existente de la tierra a estudiar mediante la incorporación de tereftalato de polietileno, de modo que su resultado alcance un suelo totalmente mejorado y, por lo tanto, el suelo no presente problemas durante la vida. También se divulgarán las principales propiedades del suelo en estudio, además de determinar las propiedades que contiene el tereftalato de polietileno para su uso en este tipo de estudio.

## **Justificación Ambiental**

En la actualidad el impacto ambiental es muy importante, ya que con este se determinará los posibles problemas que se podrían dar en afecto a la

naturaleza, no se llevaría a cabo la investigación si simplemente la factibilidad no fuera negativa en cualquiera de los impactos, Ya que con la incorporación de tereftalato polietileno reciclados se estaría contribuyendo con el medio ambiente, porque los plásticos reciclados no se acumularían y se utilizarían para la mejora del suelo que tengan una baja capacidad portante

### **Justificación Económica**

En este trabajo de investigación, el principal resultado en el punto económico resulta muy beneficioso en gastos para la mejora del suelo con la adición de tereftalato polietileno reciclado ya que esta se encuentra en abundancia en la zona de estudio, al desperdiciarse este producto, su utilización como mejoramiento del suelo conduce en la disminución de costos que solicita la construcción de carreteras u otras obras.

### **Objetivo General**

Analizar cómo influye el PET o la ceniza de madera en el mejoramiento del suelo

### **Objetivos Específicos**

Analizar cómo influye el o la ceniza de madera en el ángulo de fricción del suelo

Analizar cómo influye el o la ceniza de madera en la cohesión del suelo

Analizar cómo influye el o la ceniza de madera en la resistencia al esfuerzo cortante del suelo

### **Hipótesis General**

La incorporación del o la ceniza de madera mejorara el suelo

### **Hipótesis Específica**

El PET o la ceniza de madera influyen en el ángulo de fricción del suelo

El PET o la ceniza de madera influyen en la cohesión del suelo

El PET o la ceniza de madera influyen en la resistencia al esfuerzo cortante del suelo

## II. MARCO TEÓRICO

**Gil & Nuñez** (2018) en la tesis para obtener el título de Ingeniería civil titulado ***Influencia de la adición de fibras de PET reciclado sobre la resistencia, cohesión y ángulo de fricción interna de suelos arcilloso aplicado a la estabilidad de taludes*** de la Universidad Nacional de Trujillo, con el **objetivo** general de la influencia de la adicción de fibras de PET reciclado sobre la resistencia de suelo arcilloso para la estabilidad de taludes, la metodología es Inductivo – deductivo, su población está a la altura del talud km 172, su muestra es no probabilística con 120 kg de suelo arcilloso sacados del talud y se **concluyó** que: la proporción óptima de fibras es el 0.6% de las fibras de PET reciclado que se deben agregar a los suelos arcillosos para mejorar la resistencia de las pendientes establecidas según el tipo de suelo, también muestra un aumento máximo en la cohesión y el ángulo de fricción internamente, a diferencia de los otros aditivos. De 0.9%, 1.2% y 1.5%, el ángulo de fricción interna es inversamente proporcional a los valores de la cohesión, refiriéndose a la estabilidad de las pendientes con el método Bishop. Confirmó que la adición de cada escala de PET muestra el aumento en el factor de seguridad con el tipo de suelo arcilloso con un aumento de 3.27% a 24.64%.

**Zenteno, S.** (2018) en la tesis para obtener el título de Ingeniería civil titulado ***Efecto de la estabilización de suelos finos con tereftalato de polietileno como material de refuerzo en la estructura de pavimentos flexibles del distrito de puno*** de la Universidad Nacional del Altiplano, con el **objetivo** de estabilizar el suelo fino con tereftalato de polietileno en pavimentos flexibles, con una metodología está referida a las características principales del suelo y el efecto al añadir Tereftalato de Polietileno en los suelos finos de la cantera Salcedo, de población está formada por suelo finos, la muestra es de la cantera Salcedo y se **concluyó** que al momento de añadir el PET existe una mejora notable para la mejora del suelo y que el CBR logro mejorar la propiedades de la capa de Sub Base y Subrasante del pavimentos flexibles, su estabilizador sin adición, fue de 28.91% se mezcló con los porcentajes de 2, 4,

6, 8 y 10% y se pudo obtener los siguientes valores de CBR al 100% de la densidad seca máxima: 50.65, 20.39, 19.29, 18.38 y 17.36% proporcionalmente, se pudo entender que con el PET se llega a una alta resistencia química y excelente rigidez, al mezclar su densidad seca máxima es positivo, porque incrementa el CBR del suelo y así logrando obtener el requerimiento mínimo que normativa peruana pide para los pavimentos flexibles.

**Leiva, R.** (2016), en la tesis para obtener el título de Ingeniería civil titulado ***Utilización de bolsas de polietileno para el mejoramiento de suelo a nivel de la subrasante en el Jr. Arequipa, progresiva km 0+000 - km 0+100, Distrito de Orcotuna***, Concepción de la Universidad Nacional del Centro del Perú, tuvo como **objetivo** general determinar el efecto de bolsas de polietileno en el suelo a nivel de la subrasante, la metodología es observación, inductivo, comparativo, su población Jr. Arequipa, progresiva km 0+000 - km 0+100, su muestra es Distrito de Orcotuna, Concepción y se **concluyó** que El polietileno reciclado en el suelo en la subrasante debe estar bien clasificado, que debe tener una granulometría continua y no homogénea, el polietileno ayuda a mejorar la subrasante, cuando se encuentra en forma de grumos, se hacen varias proporciones que son: 2%, 4%, 6%, 8% y 10% y el porcentaje más exacto es 6% con respecto al peso seco del suelo, ya que el CBR del suelo arcilloso era del 4.145% al 95% de la densidad seca máxima y la adición de PET logró un aumento en el CBR en promedio de 7, 98% a 95% de la densidad seca máxima y es más alta de lo permitido, porque cuando el polietileno se funde en forma de grumos, le da al suelo una mejor fricción y también nos da una mayor capacidad de carga en el suelo.

**Arbeláez & Góngora** (2019) en la tesis para obtener el título de Ingeniería civil titulado ***Refuerzo de estructuras terreas utilizando tereftalato de polietileno (PET)*** de la Universidad de Ibagué (Colombia), tiene el **objetivo** general estudiar la reacción de un suelo reforzado por medio de fibras de PET, la metodología es contenido de humedad, gravedad específica, límites de consistencia, parámetros de compactación, y se **concluyó** que para confirmar

si existe un aumento en la resistencia en el suelo se analizó sin y con el uso del material de fibras de material reciclable PET, se cortó en forma de tiras de 8 cm de longitud, 2 mm de ancho y 0.5 mm de espesor (0.5 mm es el espesor de una botella plástica promedio), cuando se usó la fibras al azar de PET con los porcentajes de fibras PET se utilizaron 0%, 0.3%, 0,8%, 1%, 1,2% del peso de las probetas del suelo transformado en tira, la resistencia al corte del material es mayor, se pudo obtener la mejora que se buscaba, pues el suelo de estudio presento una mejora de 137,24% en cuanto a la resistencia al corte los que tenían más cantidad de plástico resistía más la carga axial, cuando le agrega más cantidad de refuerzo las muestras quedaban menos compactos y uniforme, haciendo que todas las probetas aumentada con fibras de PET sean menos manejables y que no sea muy recomendable.

**Almanza, I.** (2015), en la tesis para obtener la Maestría Y Doctorado En Ingeniería Titulado ***Estudio del uso de polietileno tereftalato como materiales de refuerzo de estructuras terreas conformadas por suelos cohesivos*** de la Universidad Nacional Autónoma de México (México), tiene el **objetivo** general usar materiales alternativos para el refuerzo y mejoramiento de suelos arcillosos y limosos, la metodología es extendido, humectación, compactación, y se **concluyó** que hizo el estudio para el mejoramiento de un suelo limoso de alta plasticidad añadiendo las fibras de Polietileno Tereftalato (PET) reciclado, con la finalidad de darle mayor resistencia y deformabilidad sin obtener ningún tipo de agrietamiento para su uso en cierto tipo de estructuras térreas. Ya que hicieron pruebas triaxiales estáticas con distintos porcentajes de fibras de PET (0%,0.3%,0.6% y 1% con relación al peso del suelo), y diversos confinamientos (0.5 kg/cm<sup>2</sup>, 1.0 kg/cm<sup>2</sup>, 1.5 kg/cm<sup>2</sup>). Con un total de 24 probetas para los ensayos y como resultado al reforzar el suelo con fibras de PET recicladas se logra una mejora grande y además se obtiene un mayor resistencia y que el suelo muestre gran capacidad de deformación, con el uso del PET reciclado también se puede disminuir las fallas de agrietamiento por que le da mejor factibilidad.

**Sherwell, G.** (2015) en la tesis para obtener el título de Ingeniería civil Titulado ***Estudio del uso de Polietileno Tereftalato como material de refuerzo de estructuras térreas conformadas por suelo fino*** de la Universidad Nacional Autónoma de México (México) con el **objetivo** Incrementar la resistencia del suelo y se **concluyó** que en México se hizo fundamental el uso como gran estrategia reciclar, reutilizar y reducir el Polietileno Tereftalato por su gran cantidad de residuo y que se comprobó que entre el PET y otros residuos su relación del volumen y el peso del PET es alta, ya que así tiene más velocidad de llenado en el caso de rellenes sanitarios y que las fibras del PET nos da una alta plasticidad, en sus ensayos se demostró que los no reforzados con fibras discretas de PET presentaron una falla frágil en sus pruebas de compactación en cambio en los que si son añadidos con fibras de PET presentaron un abarrotamiento en sus pruebas de compactación, aparte mayor ductilidad, como también el incremento porcentual en la capacidad de carga y como último presentaron mayor resistencia al cuarteamiento por lo tanto si hay menos añadidura de PET existirá menor resistencia. Pues solo hasta una cierta cantidad adicionada de fibras de PET llega a mostrar mayor resistencia en el suelo. En el caso de un suelo limoso si es reforzado con fibras de PET se podría usar en donde presente hundimientos diferenciales y que se busque en lograr tener un suelo impermeable.

**Groover, J.** (2016) in his thesis of Master of Engineering titled ***Analyzing the Behavior of Soil Reinforced with Polyethylene Terephthalate (PET) Plastic Waste*** at Stellenbosch University, It **objective** behavior of soil reinforced with Polyethylene Terephthalate (PET) plastic waste and **concluded** that Research on reinforcing sand with PET plastic waste is still in its infancy and limited. This research has determined the feasibility of using sand-PET. The results indicate that the sand plastic-PET composite can be applied in the field of civil engineering in the field of improving the bearing capacity of the soil as a foundation stratum and improving the soil CBR used for the construction of roads. The research material used was sand of medium density, with a particle size of between 1.18 mm and 0.075 mm, with a less uniform particle size distribution, as well as flakes of PET plastic with a uniform particle size of 10

mm to 1.18 mm. Se **concluyó** que en esta investigación la mezcla de la arena uniformemente cohesiva con el PET fue un éxito porque indicaron buenos resultados, mejoro el CBR del suelo y su densidad media con tamaños de partículas que oscilan entre 1,18 mm y 0,075 mm, y El refuerzo de arena con desperdicios de plástico PET baja el peso compuesto en un 6,75%, 12,5%, y 16.8% cuando se añade con fibras de desperdicio de plástico PET de 12.5%, 22.5% y 32.5% por masa de arena respectivamente. Se comprobó que para reforzar un suelo de mala calidad el plástico es recomendado.

**Wanyama, P.** (2016) in his thesis of Master of Science in Civil Engineering titled ***Experimental Study of Shear Behaviour of High Density Polyethylene Reinforced Sand Under Triaxial Compression*** at the University of Cape Town (Sudáfrica). It **objective** was to undertake an experimental investigation on the effect of including high-density polyethylene (HDPE) material on the shear behaviour of sand under and **concluded** Triaxial compression tests were conducted on dry Cape Flats sand with random inclusions of HDPE plastic strips at different concentrations and lengths. Moreover, different compactive efforts and confining pressures were used in the study. These test parameters were systematically varied to examine their influence on the stress-strain response and shear strength characteristics of the soil-plastic composites. The main findings of this research are summarized below and recommendations for future research are also proposed. Se **concluyó** que existe una gran mejora significativa en el ángulo de fricción de los compuestos suelo – plástico, ya que se realizó un aumento de PET para el esfuerzo de compactación. Sin embargo, no hubo una disminución de fricción y la mejora se a cerco a un valor límite; el uso de tiras de PET nos da a demostrar que es una técnica muy eficiente en la arena, además debería ser más usado el PET en los proyectos de ingeniería porque es un buen refuerzo para el suelo y además reducir los residuos de PET.

**Chebet, & Kalumba** (2015) in his thesis of Master of Science in Civil Engineering titled ***Laboratory Investigation on Re-Using Polyethylene (Plastic) Bag Waste Material for Soil Reinforcement in Geotechnical***

**Engineering** at the University of Cape Town (Sudáfrica) it **objective** was Reuse Waste Polyethylene Bag For Soil Reinforcement In Geotechnical Engineering and **concluded** that a laboratory investigation involving a series of direct shear tests and plate loading tests was conducted on plastic reinforced soil specimen prepared from two sandy soils mixed with random inclusions of plastic strips obtained from high density polyethylene shopping bags. Se **concluyó** que si se quiere realizar una muestra de suelo arenoso reforzado con bolsas de polietileno se hicieron varias pruebas unas series de pruebas de corte directo y pruebas de carga de placas de escape con diferentes tamaños de tiras como de 15mm o 45 mm de longitud y de 6mm a 8mm de ancho para ver el resultado de su resistencia con las cargas verticales 25 kPa, 50 kPa y 100 kPa y que resulto factible adicionando las bolsas de plástico y aparte económico, como también sería muy bueno para el refuerzo del suelo en ingeniería geotécnica, pues se comprueba que con las bolsas de nos da una alta densidad al suelo arenoso.

**Maure et al.** (2018) en su artículo titulado ***Fabricación de ladrillos a base de polímeros PET y virutas metálicas*** de la Revista Facultad de Ingeniería universidad Tecnológica de Panamá, con el **objetivo** fabricar ladrillos a base de polímeros PET y virutas metálicas, con la metodología que consiste en recolectar botellas de plásticos PET y virutas metálicas para su aprovechamiento como materias prima y **se concluyó** que se pudo establecer la fabricación de ladrillos a base de PET con virutas metálicas, para comprobar la resistencia del material mezclado y que presente un buen comportamiento al momento de ser sometido a cargas en compresión, con el fin de establecer o plantear la sustitución a otros materiales que son utilizados convencionalmente en el ámbito constructivo o estructural, pero que cumpla con los mismos resultados y si se puede obtener mejores resultados. Dado a que la fabricación de los ladrillos se realizó de manera artesanal, pero el plástico con el tiempo por sus altos niveles de resistencia, durabilidad e impermeabilidad terminara remplazando a varios materiales de resistencia. Por lo tanto, este artículo informa sobre la fabricación de ladrillos de plástico fundidos con chips de productos de mecanizado como elemento constructivo. En este trabajo, el

material utilizado es tereftalato de polietileno, mejor conocido como PET. Los ladrillos fabricados permitieron verificar y obtener una buena resistencia a la compresión mecánica en comparación con los ladrillos convencionales. Además, ayudan a reducir la contaminación ambiental. Promover el uso de los recursos disponibles en lugar de quemarlos o eliminarlos.

**Flores & Rojas** (2015) en su artículo titulado ***Mezclas de cemento y agregados de plástico para la construcción de viviendas ecológicas*** de la Revista Facultad de Ingeniería universidad Mayor, Real y Pontificia de San Francisco Xavier de Chuquisaca (Bolivia) con el **objetivo** general de efectuar la mezclas de cemento y agregados de plástico para la fabricación de tejas y ladrillos, con una metodología de alto contenido experimental y se **concluyó** que analizando los precios de materiales de la teja y el ladrillo, la incorporación del plástico en forma de fibras, pues no necesita estar limpio, puede contener tierra, arenillas, etc. sin afectar por ello sus buenas propiedades, ya que sale más económico y nos demuestra más resistencia, y se convierte en un objeto nada permeabilidad; El PET y el cemento desarrollado por CEVE muestran que el PET tiene un peso específico de 15.5% más bajo de lo normal, tiene un coeficiente de conductividad térmica 80% más bajo que el ordinario, también tiene una resistencia a la compresión del 50% Finalmente, más bajo de lo normal tiene un porcentaje de absorción de agua que es 11.5% más bajo y que al hacer un análisis de costos es más barato obtener un producto mejorado con PET que un ladrillo y baldosas normales.

**Botero et al.** (2015) en su artículo titulado ***Comportamiento mecánico del Polietileno Tereftalato (PET) y sus aplicaciones geotécnicas*** de la Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia con el **objetivo** de plantear una alternativa para mitigar estos problemas, se investiga la reutilización de los envases de Polietileno-Tereftalato (PET) como una sustitución de materiales ligeros convencionales utilizados en la nivelación o reemplazo de suelo y se **concluyó** que los envases de PET se ha vuelto un material potencial para el reemplazo, aligeramiento y nivelación en lugares extensos como en construcciones civiles y que su resistencia química del PET

atribuya mezclando a cualquier tipo de material una mejor condición de resistencia, además dando mayor durabilidad al material y aparte volver un producto económico. Esta es una alternativa al uso a gran escala de cantidades significativas de envases de PET, lo que ayuda a crear conciencia sobre su reciclaje y la necesidad de canales adecuados para recolectar materiales para el reciclaje. Al contrario de lo que puede suceder con los envases de PET, que provienen de un proceso industrial, su peso volumétrico está controlado, ya que es un elemento de dimensiones y geometría definidas, su distribución de carga de la carcasa se proporciona de manera completamente uniforme.

### **Mejoramiento de Suelo**

Existen diferentes conceptos de mejoramiento de suelo como:

Se puede definir mejoramiento de suelo a la modificación del terreno natural con un aditivo para que obtenga una mejor resistencia y durabilidad que a un proceso constructivo se llegue a actuar todo el desarrollo de edificación cambiando las propiedades de capacidad de soporte adicionando un aditivos como el tereftalato de polietileno, depende de las condiciones del suelo que impone la infraestructura<sup>1</sup>

Las características de un estudio de Mejoramiento de Suelo se definen en 3 etapas:

Trabajo en campo.

Trabajo en Laboratorio con la muestra de campo.

Redacción completa del Informe y con todos los resultados.

Que para poder cambiar características del suelo y ser mejoradas puede ser por una reacción física natural del terreno o por la incorpora de un aditivo y mezclar con el suelo para obtener una mejor resistente y que sea impermeable para evitar algún tipo de agrietamiento<sup>2</sup>

---

<sup>1</sup> (MONTEJO, y otros, 2018 pág. 13)

<sup>2</sup> (BRAJA, 2001 pág. 5)

El mejoramiento de suelo se enfoca en cuatro aspectos:

Aumentar o disminuir la permeabilidad

Aumentar la resistencia

Disminuir la deformación del suelo a corto y largo plazo

Disminuir o eliminar el riesgo desastre natural en caso de terremoto o sismos.

### **Mejoramiento**

Que el mejoramiento consiste en la obtención de un alto nivel de resistencia y que las propiedades que se le adquiera sea más vulnerable y de durabilidad al pasar de los tiempos. Los procesos son variados e inician desde la aplicación de otro material, a la incorporación de uno o más agentes que permiten mejorar la resistencia del suelo. Cualquiera sea el mecanismo a utilizar para el mejoramiento, es indispensable realizar un proceso de compactación<sup>3</sup>

El mejoramiento consiste en modificar proporcionalmente las características mecánicas del suelo por una mezcla de suelo con un material más resistente como también para la obtención de una mejor resistencia y con las mejores condiciones o propiedades para que sea duradero. Los procesos son variados e inician desde la aplicación de otro material, a la incorporación de uno o más agentes que permiten mejorar la resistencia del suelo. Cualquiera sea el mecanismo a utilizar para el mejoramiento, es indispensable realizar un proceso de compactación.

Clasificación del suelo

Límites de Atterberg

Corte directo

---

<sup>3</sup> (MONTEJO, y otros, 2018 pág. 14)



*Figura 2* Mejoramiento de suelo

### **Caracterización de los suelos**

Tiene como función de identificar si el suelo es arena, limo arcilla, suelo orgánico. Por lo tanto determinar el porcentaje de finos y su plasticidad.

Cuando se obtenga la información completa del suelo se podremos plantear y resolver cualquier problema que este tenga y así saber si el suelo es apto para un mejoramiento de suelo o si ya no necesita ser modificado. Tiene como características:

No es tan complicado su manejo y acabado del material

Tiene mejor resistencia

Demuestra gran capacidad de durabilidad

Baja sus niveles de contracción y permeabilidad

Mejor definición del concreto.

### **Método de Mejoramiento de Suelo**

Para el método de mejoramiento del suelo se pueden considerar:

Que se llama mejoramiento de suelos a la ejecución que se somete el terreno natural con un aditivo para mejorar sus propiedades con el fin que a los años el suelo obtenga una durabilidad y se mantenga en buenas condiciones, que el

suelo puede resistir edificaciones de mayor altitud y soporta se cualquier carga; también cualquier reacciones ambiental<sup>4</sup>.

Los métodos de refuerzo del terreno se pueden ordenar en:

Métodos	Observaciones
Sustitución y/o desplazamiento del terreno	Operaciones habituales de excavación y sustitución de capas superficiales. Una operación usual es la inclusión de elementos rígidos que en un caso extremo son los pilotes o columnas de suelo-cemento
Reducción de humedad	Construcción de zanjas o pozos además de las precargas o la electro-ósmosis. Agotamiento o depresión del nivel freático
Refuerzo del suelo	Tales como la compactación dinámica (DC/ RIC), vibro-compactación, vibro-sustitución (se indican en general suelos cohesivos con resistencia al corte sin drenaje (su) de 15 a 50 kPa) o vibro-desplazamiento (su=30-60 kPa)
Adición de cemento o cal	Diferenciados entre inyección (Jet grouting) y mezcla (soil mixing)
Térmicos	Calor o frío, con limitaciones en la efectividad, importante influencia de la permeabilidad, problemas por su reversibilidad lo que involucra al factor tiempo y con costes elevados
Instalación de Geosintéticos	En este ámbito las opciones son numerosas: geogrid, geotextiles, geomallas o geomembranas. Las propiedades más destacables son garantizar la impermeabilidad y su condición de refuerzo por lo que su aplicación es prácticamente global como complemento a otras técnicas como el control de erosión, filtro, mejora del refuerzo o distribución de las carga, etc.

*Figura 3* las tres clases principales consideradas por Rollings (1996):  
Sustitución, Reducción de la humedad y Refuerzo.

<sup>4</sup> (VILLAREA, 2005 pág. 15)



*Figura 4* Emparejamiento de suelo

### **Mezcla con productos químicos (PET)**

La mezcla de un producto químico se da a entender:

Gaggino(2009) nos afirma lo siguiente: Que la mezcla de un aditivo plástico, sobre todo se entiende que es una sustancia químicas junto con un suelo natural, la mayoría de ellos con resultados satisfactorios, pero requieren del estudio y asesoría de especialistas, en todo el proceso de diseño y como también en la edificación<sup>5</sup>

En el caso del tereftalato de polietileno este aditivo se utilizara para el mejoramiento del suelo para que al momento de ser mezclada adquiera mejores propiedades el suelo como darle mayor resistencia, que sea nada permeable y obtener estabilidad.

### **Clasificación Unificada de Suelos (SUCS)**

Su objetivo es poder dividir la tierra en grupos que tienen propiedades similares y con propiedades geotécnicas, hay una serie de clasificaciones del suelo, como los límites de Atterberg y el contenido de material orgánico, entre otros. Actualmente, los dos principales sistemas de clasificación son el sistema AASHTO y el USCS.<sup>6</sup>

---

<sup>5</sup> (Ladrillos y placas prefabricadas con plasticos reciclados aptos para la autoconstruccion, 2009 pág. 17)

<sup>6</sup> (MINISTERIO DE VIVIENDA, 2006 pág. 226)

**Tabla 1** Valores de los módulos de reacción y de elasticidad

Tipo de suelo	Módulo de Reacción (KN/m <sup>3</sup> )	Módulo de elasticidad (KN/m <sup>2</sup> )
Arena gruesa	80,000 a 100,000	--
Arena suelta	4,800 a 16,000	10,000 a 25,000
Arena suelta con gravas	--	50,000 a 140,000
Arena densa	64,000 a 128,000	50,000 a 100,000
Arena densa con gravas	--	80,000 a 200,000
Arena media densa	9,600 a 80,000	50,000 a 120,000
Arena media densa arcillosa	32,000 a 80,000	--
Arena media densa limosa	24,000 a 48,000	5,000 a 20,000
Arena gruesa con pocas gravas	80,000 a 100,000	--
Grava media con arena fina o gruesa	100,000 a 150,000	100,000 a 250,000
Grava gruesa angulosa	120,000 a 200,000	150,000 a 300,000
Arcilla blanda a muy blanda	6,000 a 20,000	1,000 a 5,000
Arcilla media	24,000 a 48,000	2,500 a 8,000
Arcilla firme a dura	50,000 a 80,000	5,000 a 15,000
Arcilla arenosa	30,000 a 60,000	30,000 a 42,500
Limo	20,000 a 80,000	3,000 a 15,000
Suelo orgánico	5,000 a 10,000	800 a 1,500
Relleno de arena y grava	10,000 a 20,000	--
Serie Arcillosa Superior de la Cd. de México	200 a 2,000	1,500 a 6,000 Módulos de compresibilidad (m <sup>2</sup> /KN) = 0.0006 a 0.004
Costra superficial de la Cd. de México	4,000 a 15,000	4,000 a 12,000

Fuente: Rangel luis

Tipo de Suelo	Prefijo	Subgrupo	Sufijo
Grava	G	Bien gradada	W
Arena	S	Pobremente gradada	P
Limo	M	Limoso	M
Arcilla	C	Arcilloso	C
Orgánico	O	Límite líquido alto (>50)	L
Turba	Pt	Límite líquido bajo (<50)	H

Figura 5 Clasificación SUCS.

## Límites De Atterberg

Que la plasticidad, como una de las propiedades del suelo para ser moldeado. En base al contenido de humedad, acoge una solidez determinada<sup>7</sup>

El límite plástico ayuda a establecer los problemas de la consolidación, el límite de Atterberg son ensayos que se realiza en el laboratorio que permiten obtener los límites del rango de humedad dentro del cual el suelo se mantiene en estado plástico. Con resultados para poder clasificar el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) con los equipos:

Máquina de Casagrande

Acanalador

Balanza de sensibilidad 0.1g

Otros: espátula de acero flexible, placa de vidrio, cápsulas de porcelana, horno regulable a 110°, agua destilada.



*Figura 6 Cuchara de Atterberg*

## Límite Líquido (LL)

Que el límite líquido es el contenido de humedad por debajo del cual el suelo se comporta como un material plástico. A este nivel de contenido de humedad, el suelo está en la punta para cambiar su comportamiento a un líquido viscoso

<sup>8</sup>

---

<sup>7</sup> (HUARCAYA, y otros, 2015 pág. 18)

<sup>8</sup> (HUARCAYA, y otros, 2015 pág. 35)

### **Límite Plástico (LP)**

Que el límite plástico es también el contenido de humedad que está por debajo, con el fin de que se pueda considerar el suelo como material no plástico<sup>9</sup>

### **Índice de Plasticidad**

Que el índice de plasticidad es de una básica diferencia numérica entre el Límite Líquido y el Límite Plástico<sup>10</sup>

$$IP = LL - LP$$

Siendo:

IP = Índice de plasticidad

LL = límite líquido

LP = Límite plástico

### **Análisis Granulométrico por Tamizado**

El Análisis Granulométrico consiste en la clasificación de la separación y el tamaño de las partículas que componen el suelo. La profundidad de esta prueba conduce a una buena clasificación del suelo.<sup>11</sup>

Es la proporción relativa con tamaño de grano diferente y distribuye cada material por su rango de tamaño, porque es muy complicado separar cada material por su tamaño real de cada partícula del suelo, con lo equipos de Serie de mallas ASTM y Balanzas de diferente sensibilidad.

---

<sup>9</sup> (HUARCAYA, y otros, 2015 pág. 35)

<sup>10</sup> (HUARCAYA, y otros, 2015 pág. 36)

<sup>11</sup> (MINISTERIO DE VIVIENDA, 2006 pág. 227)

**Tabla 2** Serie de Tamices ASTM

<b>Tamiz</b>	<b>Abertura (mm)</b>	<b>Tamiz</b>	<b>Abertura (mm)</b>
3"	75.000	N° 12	1.700
2 1/2"	63.000	N° 14	1.400
2"	50.000	N° 16	1.180
1 3/4"	45.000	N° 18	1.000
1 1/2"	37.500	N° 20	0.850
1 1/4"	31.500	N° 25	0.710
1"	25.000	N° 30	0.600
7/8"	22.400	N° 35	0.500
3/4"	19.000	N° 40	0.425
5/8"	16.000	N° 45	0.355
1/2"	12.500	N° 50	0.300
3/8"	9.500	N° 60	0.250
5/16"	8.000	N° 70	0.212
1/4"	6.300	N° 80	0.180
N° 4	4.750	N° 100	0.150
N° 5	4.000	N° 120	0.125
N° 6	3.350	N° 140	0.106
N° 7	2.800	N° 170	0.090
N° 8	2.360	N° 200	0.075
N° 10	2.000		

**Fuente:** Tomado de ASTM



*Figura 7* Análisis Granulométrico

## Ensayo de Corte Directo

Tiene el objetivo de determinar la resistencia al esfuerzo cortante del espécimen, se debe a 2 elementos, que es la cohesión y la fricción, pero para reconocer la resistencia del suelo existe un equipo como la caja corte que te da los datos para que saber el porcentaje de resistencia



Figura 8 Ensayo para obtener los parámetros de resistencia de la muestra

## Ángulo de Fricción

El ángulo de fricción en suelos granulares secos coincide con el ángulo de reposo. Todos los suelos poseen fricción. Sin embargo, los suelos arcillosos con fricción muy baja o insignificante se denominan suelos cohesivos.<sup>12</sup>

La prueba del ángulo de fricción consiste en colocar la muestra de arena en un cilindro y luego levantarla y permitir que la arena se asiente naturalmente<sup>13</sup>

El ángulo de fricción es la representación matemática del coeficiente de fricción, que es un concepto básico de la física: coeficiente de fricción =  $\tan \phi$ , entre ellos dependen otros factores y son<sup>14</sup> :

Tamaño de los granos

Forma de los granos

Distribución de los tamaños de granos

Densidad

<sup>12</sup> (Suarez, 2013 pág. 76)

<sup>13</sup> (HUARCAYA, y otros, 2015 pág. 4)

<sup>14</sup> (Ladrillos y placas prefabricadas con plasticos reciclados aptos para la autoconstruccion, 2009 pág. 81)

## **Cohesión**

Que es una medida de la cementación o adhesión entre las partículas de suelo. La cohesión en la mecánica del suelo se usa para representar la resistencia al corte generado por la cementación entre las partículas, mientras que en la física, este término se usa para representar la resistencia a la tensión.<sup>15</sup>

En suelos eminentemente granulares en los que no hay ningún tipo de cemento o material que pueda producir adherencia, se supone que la cohesión es igual a 0 y estos suelos se denominan suelos no cohesivos.<sup>16</sup>

## **Resistencia de Esfuerzo Cortante**

La determinación precisa de la resistencia de los materiales de una pendiente es esencial para el análisis representativo de la estabilidad de sus condiciones reales [...]; la forma más común de obtener parámetros de resistencia al corte es la prueba de laboratorio. Sin embargo, los valores de resistencia al corte determinados en las pruebas de laboratorio dependen de factores como la calidad de la muestra, el tamaño de la muestra y el método de prueba<sup>17</sup>.

Una masa saturada de suelo consta de dos fases distintas: el esqueleto de partículas y los poros entre las partículas llenas de agua. Cualquier esfuerzo impuesto en el suelo es apoyado por el esqueleto de partículas y la presión en el agua [...]; Las tensiones ejercidas solo por el esqueleto se conocen como tensiones efectivas y las tensiones hidrostáticas en el agua se llaman presión de poro<sup>18</sup>.

Los esfuerzos efectivos son aquellos que controlan el comportamiento del suelo y no los esfuerzos totales. En problemas prácticos, el análisis completo de tensiones puede usarse para problemas de estabilidad a corto plazo y presiones efectivas para analizar la estabilidad a largo plazo<sup>19</sup>.

---

<sup>15</sup> (Suarez, 2013 pág. 77)

<sup>16</sup> (COPELO, 2004 pág. 82)

<sup>17</sup> (Suarez, 2013 pág. 89)

<sup>18</sup> (BRAJA, 2001 pág. 75)

<sup>19</sup> (BRAJA, 2001 pág. 75)

## Tereftalato de polietileno (PET)

Es un material que tiene características y propiedades que al momento de ser mezcladas podría mejorar sus grandes niveles de resistencia, ya que este polietileno es resistente al calor y absorbe poca cantidad de agua, forma fibras fuertes y flexibles<sup>20</sup>

Son más indóciles las botellas de plástico cuando se transforman, la tonicidad de la botella de plástico pierde cuando se expone al descubierto porque se divide. Bajo tierra, adquiere mayor resistencia y perdura más tiempo. El tereftalato de polietileno es un aditivo difícil de desgastar ya que es invulnerable a los distintos tipos de microorganismos<sup>21</sup>.

El PET es un polímero termoplástico con importantes utilidades industriales, el 70% de todas las fibras sintéticas son de PET y se usa para fabricar cuerda para llantas, varios artículos de piel y textiles, pero más en todo lo que es envases para la industria alimenticia<sup>22</sup>

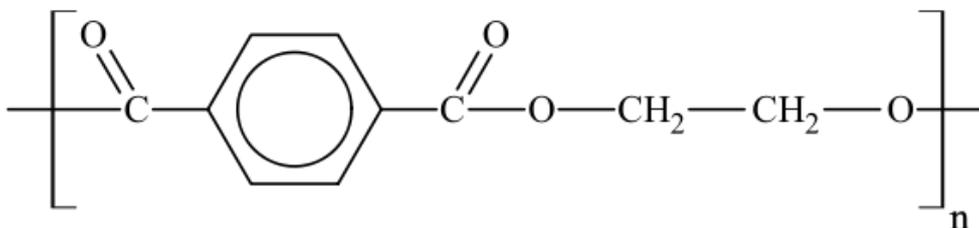


Figura 9 Polyethylene terephthalate

El PET presenta las siguientes características y son:

Cristalización y transparencia.

Muy buen coeficiente de deslizamiento.

Alta rigidez y dureza, 100% reciclable.

Resistente al desgaste y químicos.

<sup>20</sup> (Diseño y elaboración de un sistema de adoquines de bajo costo y material reciclado para construcciones en nucleo rurales., 2015 pág. 25)

<sup>21</sup> (Diseño y elaboración de un sistema de adoquines de bajo costo y material reciclado para construcciones en nucleo rurales., 2015 pág. 25)

<sup>22</sup> (BLANCO, 2007 pág. 11)

**Tabla 3** Datos técnicos del PET (2006)

<b>DATOS TÉCNICOS PET</b>				
<b>PROPIEDADES MECÁNICAS A 23°C</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>ASTM</b>	<b>DIN</b>	<b>VALORE</b>
Peso Específico	gr/cm <sup>3</sup>	D-792	53479	1.39
Resistencia a la Tracción	kg/cm <sup>2</sup>	D-638	53455	900 / -
Resistencia a la Compresión (1 y	kg/cm <sup>2</sup>	D-695	53454	260 / 480
Resistencia a la Flexión	kg/cm <sup>2</sup>	D-790	53452	1450
Resistencia al Choque sin Estallar	kg.cm/cm	D-256	53453	>
Alargamiento a la Rotura	%	D-638	53455	1
Módulo de Elasticidad (Tracción)	kg/cm <sup>2</sup>	D-638	53457	37000
Dureza	Shore D	D-2240	53505	85 - 87
Coef. De Roce Estático S/Acero		D-1894		-
Coef. De Roce Dinámico S/Acero		D-1894		0
Resistencia al Desgaste Por Roce				Muy
<b>PROPIEDADES TÉRMICAS</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>ASTM</b>	<b>DIN</b>	<b>VALORE</b>
Calor Específico	Kcal/Kg.º	C-351		0.25
Temp. De Flexión B/Carga	º	D-648	53462	75
Temp. De uso Continuo en Aire	º			- 20 a 110
Temp. De Fusión	º			255
Coef. De Dilatación Lineal de 23 a 100	por ºC	D-696	52752	0.00008
Coef. De Conducción Térmica	Kcal/m.h.º	C-177	52612	0.

Fuente: Industrias JQ

**Tipo de Tereftalato de polietileno (PET)**

En la Actualidad, el PET tiene muchos sectores de aplicación en distintos lugares debido a sus características y propiedades. Entre otras, como la siguiente:

### **Envases de Plástico:**

Se viene desarrollando envases para el llenado en temperaturas normales o calientes, desde envases pequeños de 10 mililitros hasta grandes cantidades como bidones de 19 litros. El plástico se ha convertido en un material esencial para el empaque de:

Bebidas carbonatadas.

Aguas minerales.

Aceite, zumos, tés, lácteos, etc.

Conservas.

Detergentes, productos químicos y lubricantes.



*Figura 10* Envases de PET

### **Tereftalato polietileno (PET) reciclado**

Para definir Tereftalato polietileno (PET) reciclado:

Es vital que este material cuente con un proceso de reciclaje ya que gracias a ello podemos obtener buenos beneficios en lo que respecta a la ingeniería y además se puede reducir costos económicos durante su utilización tanto en carreteras como edificaciones<sup>23</sup>

Es necesario tener que buscar nuevas formas de añadir el PET reciclado, debe orientarse para obtener productos con mayor demanda en la construcción para que la alternativa sea económicamente baja, salga con mayor comercialización

---

<sup>23</sup> (Reciclaje de PET: evaluación de la eficiencia de separación del contaminante PVC, 2011 pág. 124)

y con los altos volúmenes de aplicación de PET reciclado, tener con finalidad moderar el impacto ambiental de la inapropiada disposición de los residuos de PET



*Figura 11* Envases PET reciclaje

No se puede dudar que el reciclaje del PET produce grandes ventajas respecto a su aprovechamiento y utilización en distintas áreas, así mismo de ser de económico, también sirve en la prevención de contaminantes ya que el ser humano ha generado 49 toneladas plástico. Por lo tanto en la construcción, este residuo funcionaria mezclado con asfalto, etc<sup>24</sup>.

Es urgente garantizar a la población que el reciclaje de los desechos de PET se debe tomar con conciencia ambiental, dado que lleva a la ingeniería a la configuración de sistemas tecnológicos y procesos productivos, con la idea principal de reciclar. Por medio de este se pude reutilizar y volver a comercializar para darle otro tipo de usos que puedan contribuir al desarrollo y el cuidado de medio ambiente<sup>25</sup>.

### **Porcentajes de dosificación del PET**

Se debe tomar en cuenta cual es el efecto que se desea lograr con el suelo, ya sea el secado de los suelos por un gran contenido de humedad excesivo, una

---

<sup>24</sup> (MORENO, 2018 pág. 45)

<sup>25</sup> (Plastico y medio ambiente, 2002 págs. 4-5)

modificación inmediata del suelo, o una estabilización de la capa a largo plazo. Para llegar a descubrir el porcentaje mínimo del material se debe tener en cuenta cuales son las exigencias a las que se estará sometido el material como puede ser para terraplenes, formación de explanadas, conformación de bases y sub bases para vivienda, entre otras<sup>26</sup>

Para mi trabajo de investigación se llegó a tomar en cuenta la dosificación de tereftalato de polietileno en 2.0% un promedio mayor a la que esta mencionado en la investigación realizada por Arbeláez & Góngora de la Universidad de Ibagué de Colombia, el cual su resultado con esa dosificación fueron positivos.

### **Proceso de reciclaje de PET**

Que la recolección de envase de reciclaje de PET, para transformar a otro forma o ser mezclada, con el fin de mejorar sus propiedades<sup>27</sup>

### **Recolección**

Se recolecta el plástico ya que hay en un sinnúmero de PET que nos rodea de formas diferentes, cantidades de plástico que es desechada y se recolecta; después todo el producto reciclado es enviada un almacén donde son envueltas para que se dirijan a las fabricas para ser trituradas o transformadas en granulado.

### **Clasificación**

Para el proceso de reciclaje del plástico se comienza con la clasificación de las diferentes piezas de plástico con base en su contenido de resina y color. Ya en la actualidad existen máquinas especialmente diseñadas para ayudar a clasificar el plástico según sus niveles de contenido de resina.

---

<sup>26</sup> (MORENO, 2018 págs. 43-44)

<sup>27</sup> (CASTELLS, 2000 pág. 5)

## **Trituración**

La trituradora realiza su trabajo cortando las piezas en pequeños trozos más manejables. Las botellas y los envases de plástico se aplastan y cortan en pequeñas piezas del tamaño de una hojuela de maíz



*Figura 12 Trituración y se forma fibras de plástico*

## **Limpieza**

Para la limpieza de las fibras de plástico se lavan con detergentes especiales para poder limpiar en su totalidad y remover toda la contaminación que quede. Al final, son expuestas a un nivel moderado de calor para secarlas.

## **Fundición**

Para la fundición las fibras secas se derriten. Pueden pasar directamente a transformarse en una nueva forma o pueden convertirse en gránulos especiales depende del fabricante y la forma que desee. El proceso de fundición se hace a temperaturas reguladas con equipo capaz de derretir el plástico intentando no destruirlo.

## **Granulado**

Después del proceso de derretir el plástico, éste se llega a forma de pequeñas bolitas comprimidas. Las bolitas están listas para reutilizarse y convertirse en nuevos productos de plástico. Estas bolitas comprimidas son fáciles de transportar hasta las fábricas y están diseñadas para usarse de inmediato. Pero no puede ser reutilizada para hacer otra vez envases de otro plástico.



*Figura 13* Granulado de PET

Es necesario comunicar a la población sobre el reciclaje de los desechos de plástico, ya que por medio de este proyecto orientar a que se puede reutilizar y volver a comercializar, además es económico, también darle otro tipo de usos para contribuir al desarrollo y el cuidado de medio ambiente.

Promover un estilo de vida a mayor escala, esto representa un crecimiento considerable en la economía y un aumento en los estándares de vida de las personas. Así que integrar el reciclaje del plástico en nuestra rutina diaria, en mayor o menor medida, es algo que nos beneficia enormemente a todos.



*Figura 14* Clasificaciones de Residuos

Símbolo	Tipo de Plástico	Propiedades	Usos Comunes
 PET	PET PolietilenoTereftalato (Polyethylene Terephthalate)	Contacto alimentario, resistencia física, propiedades térmicas, propiedades barreras, ligereza y resistencia química.	Bebidas, refrescos y agua, envases para alimentos (aderezos, mermeladas, jaleas, cremas, farmacéuticos, etc.)
 HDPE	HDPE Polietileno de alta densidad (High Density Polyethylene)	Poco flexible, resistente a químicos, opaco, fácil de pigmentar, fabricar y manejar. Se suaviza a los 75°C	Algunas bolsas para supermercado, bolsas para congelar, envases para leche, helados, jugos, shampoo, químicos y detergentes, cubetas, tapas, etc.
 PVC	PVC Policloruro de vinilo (Plasticised Polyvinyl Chloride PCV-P)	Es duro, resistente, puede ser claro, puede ser utilizado con solventes, se suaviza a los 80°C. Flexible, claro, elástico, puede ser utilizado con solventes.	Envases para plomería, tuberías, "blister packs", envases en general, mangueras, suelas para zapatos, cables, correas para reloj.
 LDPE	LDPE Polietileno de baja densidad (Low density Polyethylene)	Suave, flexible, translucido, se suaviza a los 70°C, se raya fácilmente.	Película para empaque, bolsas para basura, envases para laboratorio.
 PP	PP Polipropileno (Polypropylene)	Difícil pero aún flexible, se suaviza a los 140°C, translucido, soporta solventes, versátil.	Bolsas para frituras, popotes, equipo para jardinería, cajas para alimentos, cintas para empaçar, envases para uso veterinario y farmacéutico.
 PS	PS Poliestireno (Polystyrene)	Claro, rígido, opaco, se rompe con facilidad, se suaviza a los 95°C. Afectado por grasas y solventes.	Cajas para discos compactos, cubiertos de plástico, imitaciones de cristal, juguetes, envases cosméticos.
 PS-E	PS-E Poliestireno Expandido (Expanded Polystyrene)	Esponjoso, ligero, absorbe energía, mantiene temperaturas	Tazas para bebida calientes, charolas de comida para llevar, envases de hielo seco, empaques para proteger mercancía frágil
 OTHER	OTHER Otros (SAN, ABS, PC, Nylon)	Incluye de muchas otras resinas y materiales. Sus propiedades dependen de la combinación de los plásticos.	Auto partes, hieleras, electrónicos, piezas para empaques.

Figura 15 Códigos, propiedades y usos de la resina plástica (Tecnología de los Plásticos, 2011)

El PET se usa para hacer botellas de refrescos, agua, jugo, etc. Como también se usa para hacer fibras, láminas, etc. La Figura 15 muestra los diferentes tipos de plástico, su uso y su código

### El Tereftalato de polietileno en la Construcción

El plástico en la construcción tiene como resultado:

Su nombre científico del plástico (PET), que significa que son botellas plásticas que se está utilizando en varios países, se comenzó a reutilizar para la

edificación de viviendas en zonas urbanas. Esto se está llevando a cabo con el propósito de ayudar a cuidar y tener conciencia sobre el medio ambiente<sup>28</sup>

El plástico es un producto maravilloso que tiene buenos resultado si es reusado con fines constructivos, el plástico con el tiempo llegara a remplazar a la materia prima de la madera, concreto y acero; ya que sus propiedades son similares. El reciclaje significa cambiar la mentalidad de la persona, porque único problema del plástico es que nosotros los usuarios lo tiramos al desecho y lo convertimos en un producto contaminante.

### **Ventajas y Desventajas de las Botellaside Plástico en construcción**

Existen ventajas y desventajas de con el uso de botellas de plástico en la construcción como:

En la actualidad las empresas y las industrias de la construcción se unen al proyecto de reciclar y reusar el material plástico, para transformarlo en pisos, mobiliarios, adoquines, etc. Ya que se descubrió que el PET tiene buenas características como su resistencia y durabilidad, sus ventajas y desventajas son las siguientes<sup>29</sup>:

#### **Ventajas**

Son flexibles.

Todo depende del tipo de uso para el aplicado ya que la resistencia varía.

Son transformables, ya que se transforma de diferentes formas y pierde sus características.

Es un material que soporta altas y bajas presiones de temperaturas.

Es un material limpio, que no necesita constante mantenimiento.

#### **Desventajas**

Es un material inflamable porque se recomienda usar recubrimiento al momento de ser utilizada.

Si no es reusado es contaminante.

---

<sup>28</sup> (GAGGINO, y otros, 2007 pág. 12)

<sup>29</sup> (GAGGINO, y otros, 2007 pág. 16)

Poco interés sobre la recolección y poco conocimiento.

Es Material poco reusado en la construcción.

### **III. METODOLOGÍA**

#### **3.1 Tipo y Diseño de Investigación**

##### **Diseño de Investigación**

El diseño de investigación, las variables no son manipuladas ni controladas. El investigador se limita a observar los hechos tal y como ocurren en su ambiente natural. Se obtienen los datos de forma directa y se estudian posteriormente.<sup>30</sup>

Para un diseño no experimental los resultados son extraídos sin manipular los datos de los resultados para poder obtener los resultados que deseo obtener.

##### **Tipo de Investigación**

También llamada transeccional se realiza la observación y el registro de datos en un momento único en el tiempo. Este tipo de investigación a su vez puede tener un diseño descriptivo o correlacional.<sup>31</sup>

El tipo de investigación para el proyecto de investigación será de forma transversal, para recolectar datos existentes.

##### **Nivel De Investigación**

Los diseños transeccionales correlacionales/causales tienen como objetivo describir relaciones entre dos o más variables en un momento determinado. Se trata también de descripciones, pero no de variables individuales sino de sus relaciones, sean éstas puramente correlacionales o relaciones causales.<sup>32</sup>

El nivel de investigación para el proyecto de investigación será Correlacional-Causal que tiene como objetivo describir relaciones entre dos o más variables en un momento determinado.

---

<sup>30</sup> (Fernandez, 2006 pág. 121)

<sup>31</sup> (Fernandez, 2006 pág. 121)

<sup>32</sup> (Fernandez, 2006 pág. 121)

### **3.2 Operacionalización de variables**

V1: Mejoramiento de suelo = Variable Independiente

D1: Ángulo de Fricción

D2: Cohesión

D3: Resistencia al Corte

V2: Tereftalato de Polietileno = Variable Dependiente

D1: Porcentaje a la dosificación del PET

D2: Porcentaje a la dosificación del Ceniza de madera de fondo

### **3.3 Población, Muestra y Muestreo**

#### **Población**

La población a la agrupación componentes para lo que se quiera investigar o realizar cualquier tipo de estudio, es especificar donde está situada la zona del proyecto<sup>33</sup>

La población para este proyecto investigación sería el ensayo de corte directo.

#### **Muestra**

“Es una parte de componentes que se seleccionan o extrae de una población o donde se está experimentando el proyecto para realizar un estudio”<sup>34</sup>

La muestra para este proyecto investigación es el ángulo de fricción, cohesión, resistencia al corte.

#### **Muestreo**

El muestro tiene la finalidad de identificar la población escogida, es lo que se saca de la muestra, puede ser escogido al azar o por criterio propio<sup>35</sup>

Para mi proyecto de investigación tipo de muestreo que se quiso realizar es no probabilístico dado que la muestra no fue designada al azar, el muestreo se

---

<sup>33</sup> (Grandez, 2018 pág. 38)

<sup>34</sup> (Grandez, 2018 pág. 39)

<sup>35</sup> (Análisis documental, 2004 pág. 1)

hizo de una zona específica porque se pidió permiso para extraer muestras de la zona. La elección de muestra se realizó buscando el tramo más crítico.

### **3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

#### **Técnica**

El análisis documental es un conjunto de operaciones encaminadas a representar un documento y su contenido bajo una forma diferente de su forma original, con la finalidad posibilitar su recuperación posterior e identificarlo<sup>36</sup>.

Para mi proyecto de investigación se quiso realizar con la técnica de análisis documental, para recopilar información de resultados de otras tesis.

#### **Instrumentos**

Los instrumentos que se desarrollara y nos ayudaran a obtener la muestra del suelo para luego guiar hasta el laboratorio y nos den toda la obtención de los datos<sup>37</sup>

Son los implementos que se necesitara para este análisis que se va a usar en cada ensayo para saber cuánto se va a agregar a la variable. Con el motivo de recolectar la información que se obtuvo al momento de ejecutar cada ensayo de laboratorio.

#### **Validez**

Esta característica de los instrumentos que se van a utilizar en la investigación radica que estos midan con exactitud y autenticidad todo aquel resultado que se quieran medir a una variable<sup>38</sup>

Para garantizar la validez para este proyecto de investigación se desarrollara con datos de los resultados de las 2 tesis con datos reales para poder conseguir los resultados que deseo obtener, después de obtener los resultados comparar los especímenes y analizar cual obtiene un mejor resultado para ver

---

<sup>36</sup> (Grandez, 2018 pág. 40)

<sup>37</sup> (Grandez, 2018 pág. 40)

<sup>38</sup> (Grandez, 2018 pág. 40)

si es factible. Y que se contará con la certificación de validez ya que debe ser firmado por un técnico experto o especialista en el tema.

### **Confiabilidad**

Es la medición en que su realizara para facilitar información, esto se realiza mediante un lugar con gran experiencia y te miden solo que se necesita<sup>39</sup>

Para garantizar la confiabilidad de este análisis, se realizara y se podrá desarrollar con los resultados que las 2 tesis demuestran y los equipos de ensayo tienen que tener una ficha técnica o certificación que nos garantice la seguridad que está calibrado para poder tener un resultado exacto.

### **3.5 Procedimiento**

El procedimiento de esta investigación se realiza con la búsqueda de 2 tesis con el mismo tipo de suelo adicionado con distintos tipos de aditivos, como uno con el uso del PET y la otra ceniza de madera de fondo y analizar con cuál de los 2 se obtiene un mejor resultado.

### **3.6 Método de Análisis de Datos**

Es el procedimiento con el cual, todo múltiple se extrae en varias partes y caracteres. El análisis permitirá la división de todas sus variables relacionadas<sup>40</sup>

Para mi proyecto de investigación se realizó con la recolección de información de las tesis de investigación de los resultados y mediante la comparación se podrá analizar con cuál de los dos aditivos que es el PET y la ceniza de madera de fondo, y analizar si existe mejora en la resistencia al suelo mediante el uso del software, Excel se usó para realizar los cuadros estadísticos.

---

<sup>39</sup> (Hernandez, y otros, 2010 pág. 200)

<sup>40</sup> (Hernandez, y otros, 2010 pág. 200)

### **3.7 Aspectos éticos**

Para poder lograr los objetivos en el proyecto de investigación, me comprometo como investigador respetar todos los datos obtenidos de diversos manuales y revistas que nos permiten desarrollar la investigación. Me comprometo a respetar la autenticidad del información recopilada, respetar el medio ambiente y la biodiversidad, ya que la ejecución del proyecto se pudo realizar por medio de fuentes confiables, incluso en el manejo de las técnicas e instrumentos, con el fin de que los resultados que se nos darán de los análisis de los indicadores ayuden a obtener las muestras de los ensayos referentes a la investigación, para solucionar e informar.

## IV. RESULTADOS

### Descripción de la zona de estudio

Mejoramiento de suelo con fines constructivos utilizando tereftalato de polietileno en el programa de vivienda profam Santa Rosa 2019

### Acceso a la zona de trabajo

El ingreso a la zona de proyecto es por el Av. Santa Rosa y Av. Huayna Capac ya que se encuentra en el corazón de la asociación de PROFAM del distrito de Santa Rosa.

### Ubicación Política

La zona de estudio está ubicada en la región de lima, Provincia de lima, distrito de Santa Rosa, el cual limita con los siguientes distritos.

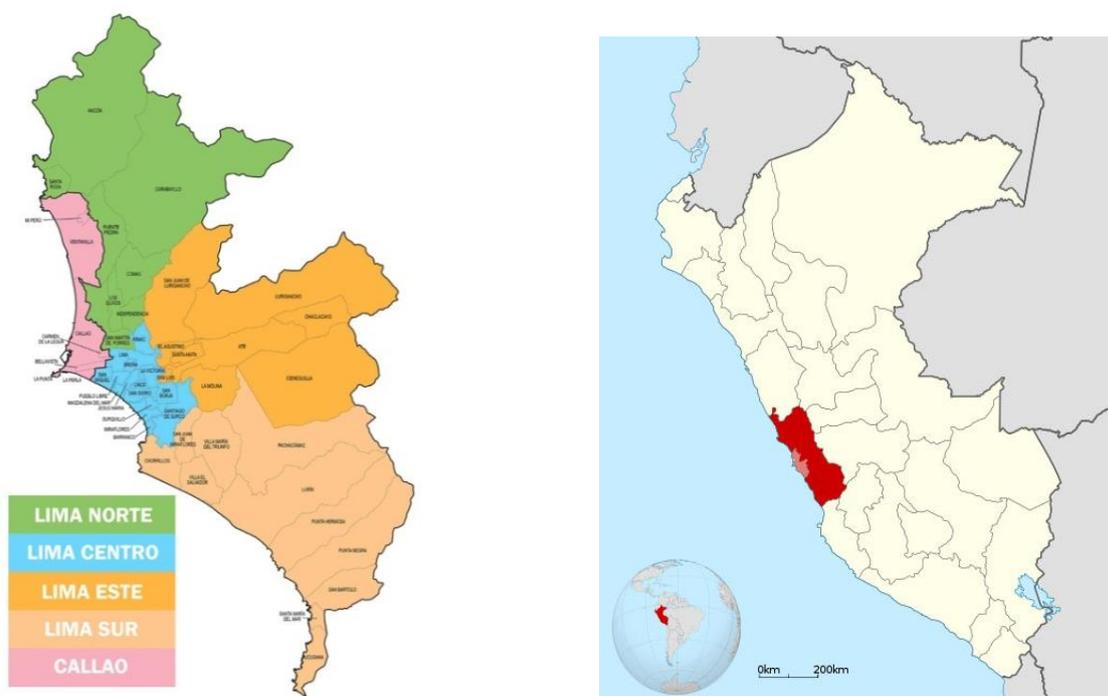


Figura 16. Mapa político de la provincia de lima y del Perú

**Norte:** Ancón

**Sur:** Ventanilla

**Este:** Ancón

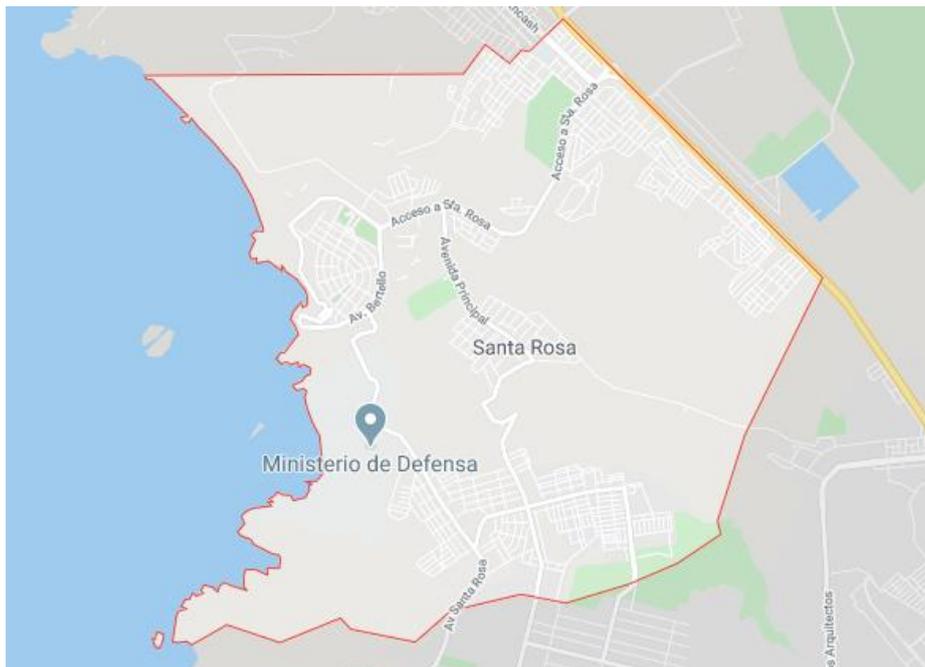
**Oeste:** Océano Pacífico

Esta zona de estudio se eligió debido a una problemática referente a las condiciones naturales del suelo, donde este protagoniza un papel muy importante en la pavimentación debido a que debe cumplir requisitos mínimos según lo estipula el manual del MTC, siendo la capacidad de soporte y la tipología del suelo que se consideró en la investigación para esta investigación.

### **Ubicación Geográfica**

Geográficamente la zona de estudio se encuentra ubicada entre las coordenadas  $11^{\circ}49'06.6''S$   $77^{\circ}09'53.2''W$ , presentando una altitud de 100 metros sobre el nivel del mar como se muestra en la siguiente figura.

La muestra de suelo se recolecto en el distrito de Santa Rosa, en una zona que anteriormente pertenecía al distrito de Ancón y ahora pertenece a uno de los distritos de lima.



*Figura 17* Ubicación del distrito

## Trabajo de campo

Para este tipo de investigación se está trabajando con 2 tesis, con la tesis de **García, Ximena de Mejoramiento de un suelo arcilloso de la localidad de Pacaisapa – Ayacucho utilizando residuos industriales para evaluarlo en muro hipotético de tierra estabilizado mecánicamente (MSEW)** de Perú, sus muestras se realizó por el kilómetro 17 de la carretera Humanga - Pacaisapa y que el tereftalato de polietileno (PET) lo consiguió en la empresa Grupo Pradera SAC en Puente Piedra, y la tesis de **Mamani & Quispe de titulo Estabilización de Suelos Arcillosos Aplicando Ceniza de Madera de Fondo, Producto de Ladrilleras Artesanales en el Departamento de Ayacucho** de Perú, sus muestra del suelo se realizó por el kilómetro 17 de la carretera Humanga – Pacaisapa y la ceniza de madera de fondo en el Departamento de Ayacucho



*Figura 18 Mamani & Quispe*



*Figura 19 García, Ximena*

## Trabajo de laboratorio

Las datos que se muestran a continuación fueron obtenidas por medio de los ensayos practicados en el laboratorio de laboratorio de la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas de Perú, de la tesis de García, Ximena con la investigación sobre el mejoramiento del suelo con la adición del PET y también en el laboratorio Universidad San Martín de Porres del Perú, de la tesis de Mamani & Quispe con la investigación sobre el mejoramiento del suelo con la adición de la ceniza de madera de fondo.

## Granulometría por Tamizado y SUCS

García, Ximena

Tabla 4 Granulométrica por Tamizado

Malla Serie American	Granulometría Natural			
	Apertura (Mm)	Ret. (%)	Ret. Acum(%)	Pasa (%)
N°4	4.760	0.00	0.00	100.00
N°10	2.000	0.00	0.00	100.00
N°20	0.840	0.74	0.74	99.26
N°40	0.425	2.49	3.23	96.77
N°60	0.260	5.49	8.72	91.28
N°140	0.106	8.38	17.11	82.89
N°200	0.075	13.32	30.43	69.57
Fondo		69.57	100.00	0.00

Fuente: García, Ximena

**Interpretación:** se definió mediante la clasificación del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) como un material tipo "CH", es decir, que es una arcilla inorgánica de alta plasticidad como se muestra en la tabla 7 que es arcilla 100%.

## Mamani & Quispe

**Tabla 5** Granulométrica por Tamizado

Malla Serie American	Granulometría Natural			
	Apertura (Mm)	Ret. (%)	Ret. Acum(%)	Pasa (%)
N°4	4.760	0.00	0.00	100.00
N°10	2.000	0.00	0.00	100.00
N°20	0.840	0.74	0.74	98.28
N°40	0.425	2.49	3.23	94.09
N°60	0.260	5.49	8.72	84.14
N°140	0.106	8.38	17.11	68.52
N°200	0.075	13.32	30.43	59.51
Fondo		69.57	100.00	0.00

Fuente: Mamani & Quispe

**Interpretación:** se definió mediante la clasificación del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) como un material tipo “CH”, es decir, que es una arcilla inorgánica de alta plasticidad como se muestra en la tabla 8 que es arcilla 100%.

## Límite de Atterberg

### García, Ximena

**Tabla 6** Límite de Atterberg

Límite de Atterberg	Porcentaje
Límite líquido	82.71%
Límite Plástico	59.34%.
Índice de Plasticidad	23.37%

Fuente: García, Ximena

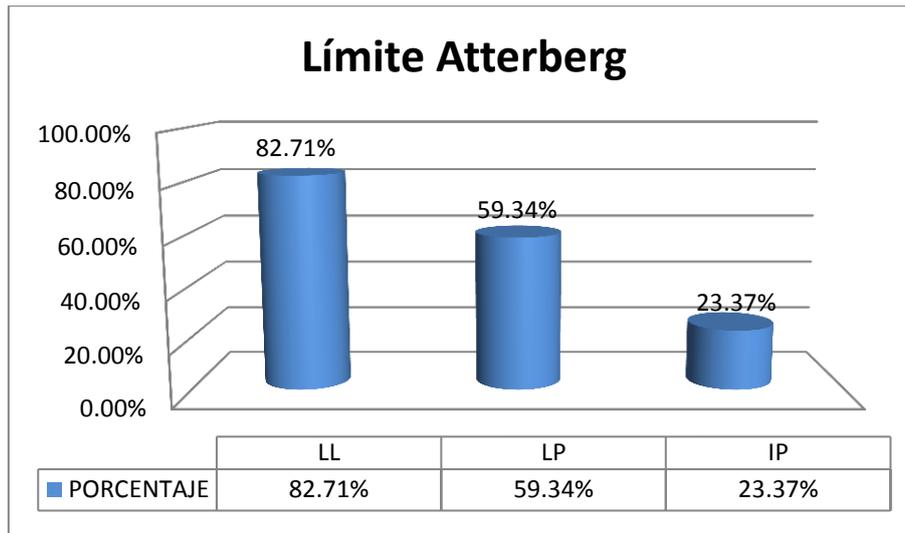


Figura 20 Límite Atterberg del suelo arcilloso de García, Ximena

Fuente: Elabora propia

**Interpretación:** Que tanto como el contenido de humedad y la densidad seca del suelo con el PET y suelo natural tienen un mismo grado de estabilidad y compactación.

### Mamani & Quispe

Tabla 7 Límite de Atterberg

Límite de Atterberg	Porcentaje
Límite líquido	82.71%
Límite Plástico	59.34%
Índice de Plasticidad	23.37%

Fuente: Mamani y Quispe

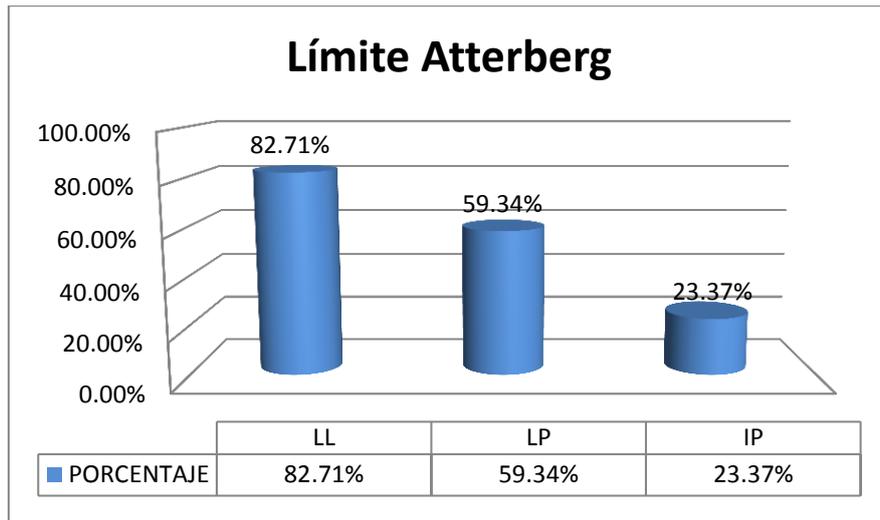


Figura 21 Límite Atterberg del suelo arcilloso de Mamani y Quispe

Fuente: Elabora propia

### Ensayo de Corte Directo

García, X

Tabla 8 Corte directo del Suelo Natural – 100%

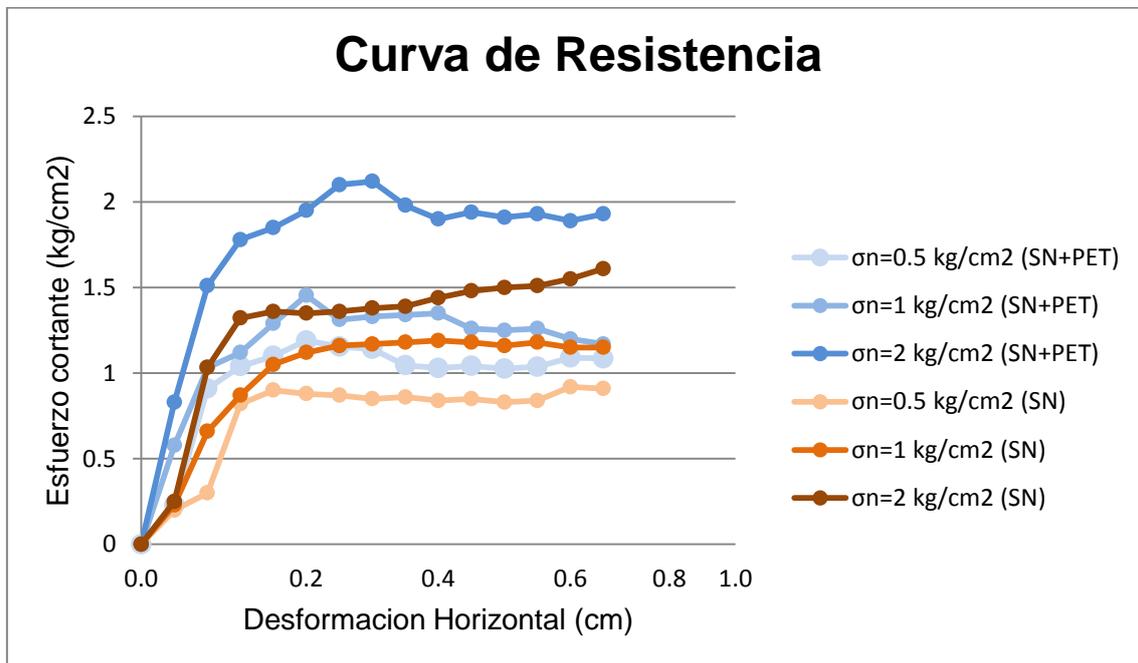
Suelo Natural 100%						
Deformación Horizontal (cm)	$\sigma_n=0.5 \text{ kg/cm}^2$		$\sigma_n=1 \text{ kg/cm}^2$		$\sigma_n=2 \text{ kg/cm}^2$	
	T (kg/cm <sup>2</sup> )	Def. Vertical (mm)	T (kg/cm <sup>2</sup> )	Def. Vertical (mm)	T (kg/cm <sup>2</sup> )	Def. Vertical (mm)
0.000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0
0.030	0.20383	0.0000	0.22880	0.0000	0.25378	0.0
0.060	0.30526	0.0000	0.65668	0.0000	1.03319	0.0
0.120	0.81552	0.0000	0.86624	0.0127	1.32267	0.1
0.180	0.90078	0.0000	1.05450	0.0127	1.36192	0.1
0.240	0.88428	0.0000	1.11725	0.0127	1.35022	0.1
0.300	0.86743	0.0203	1.15517	0.0229	1.36444	0.1
0.360	0.85022	0.0203	1.16746	0.0229	1.37895	0.1
0.420	0.85937	0.0203	1.18001	0.0203	1.39378	0.1
0.480	0.84170	0.0254	1.19284	0.0254	1.43594	0.1
0.540	0.85095	0.0254	1.17864	0.0254	1.47903	0.1
0.600	0.83279	0.0254	1.16412	0.0254	1.49546	0.1
0.660	0.84215	0.0254	1.17720	0.0254	1.51226	0.1
0.780	0.91863	0.0254	1.14714	0.0508	1.54703	0.1
0.900	0.91011	0.0254	1.14490	0.0762	1.61266	0.2

Fuente: García, Ximena

**Tabla 9** Corte directo del Suelo Natural 98% + PET 2%

Suelo Natural 98% + PET 2%						
Deformación Horizontal (cm)	$\sigma_n=0.5 \text{ kg/cm}^2$		$\sigma_n=1 \text{ kg/cm}^2$		$\sigma_n=2 \text{ kg/cm}^2$	
	T (kg/cm <sup>2</sup> )	Def. Vertical (mm)	T (kg/cm <sup>2</sup> )	Def. Vertical (mm)	T (kg/cm <sup>2</sup> )	Def. Vertical (mm)
0.000	0	0.0	0	0.0	0	0.0
0.030	0.22880	0.0	0.57845	0.0	0.82820	0.0
0.060	0.90769	0.0	1.03319	0.0	1.51012	0.0
0.120	1.04374	0.0	1.11981	0.0	1.77910	0.1
0.180	1.10573	0.0	1.28507	0.0	1.84886	0.1
0.240	1.19491	0.0	1.45376	0.0	1.94559	0.2
0.300	1.15517	0.0	1.31212	0.1	2.09686	0.2
0.360	1.14102	0.1	1.32608	0.1	2.11917	0.3
0.420	1.04641	0.1	1.34034	0.1	1.98163	0.3
0.480	1.30778	0.1	1.35491	0.2	1.89513	0.3
0.540	1.04210	0.1	1.26056	0.2	1.94326	0.3
0.600	1.02607	0.1	1.24696	0.2	1.90963	0.3
0.660	1.03760	0.1	1.26097	0.2	1.93109	0.3
0.780	1.09001	0.2	1.20427	0.2	1.88979	0.3
0.900	1.08643	0.2	1.17413	0.2	1.93425	0.3

Fuente: García, Ximena



*Figura 22* Esfuerzo cortante VS. Deformación horizontal

Fuente: Elabora propia

**Interpretación:** Como se puede apreciar en la figura 24, Con la mezcla del PET y el suelo sus esfuerzos cortantes son mayores al suelo natural.

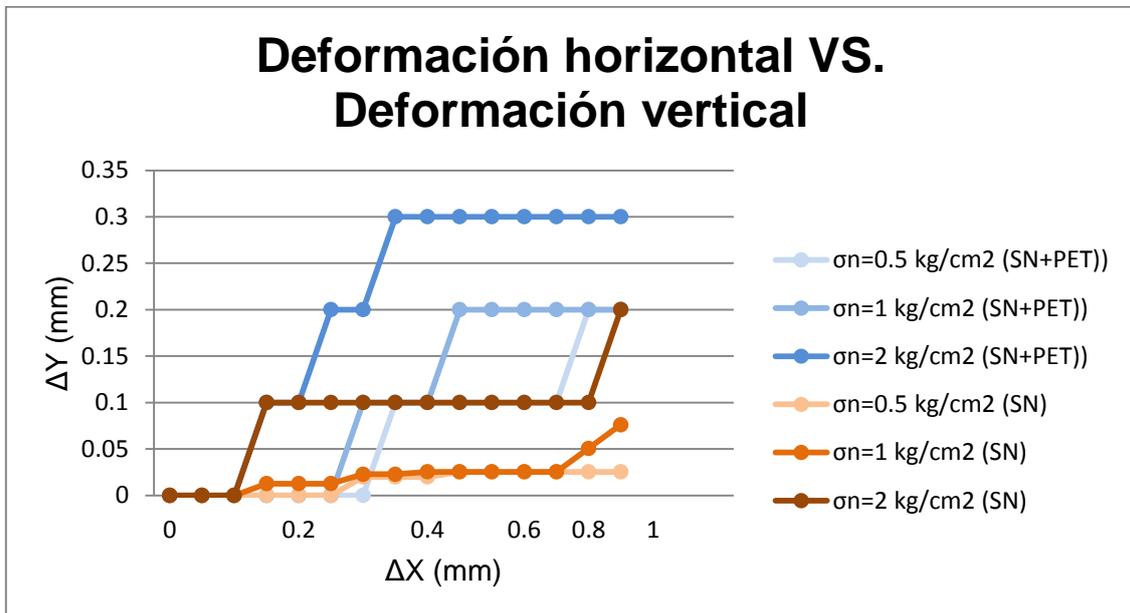


Figura 23 Deformación horizontal VS. Deformación vertical

Fuente: Elabora propia

**Interpretación:** Que en la Deformación horizontal con la adición del PET tiene un mejor comportamiento

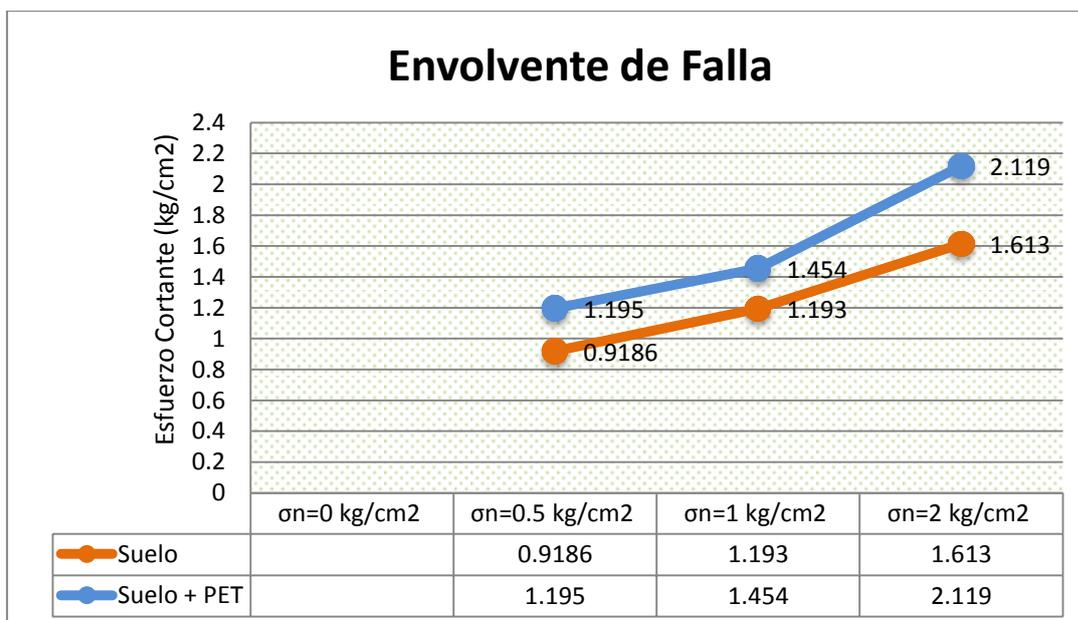


Figura 24 Envolverte de Falla

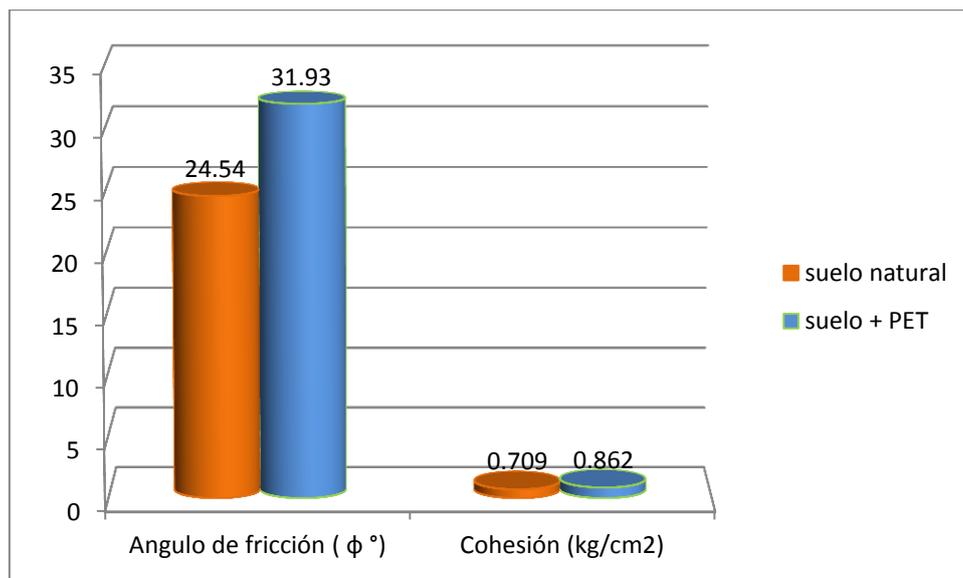
Fuente: Elabora propia

**Interpretación:** Como se puede apreciar en la figura 25, al adicionar el PET incrementa su esfuerzo cortante, más que el suelo natural. De esta gráfica se obtuvo los siguientes parámetros: ángulo de fricción ( $\phi$ ) = 24.54° y la cohesión (c) = 0.7087 kg/cm<sup>2</sup> del Suelo al 100% y también se obtuvieron los siguientes parámetros: ángulo de fricción ( $\phi$ ) = 31.93° y la cohesión (c) = 0.8622 kg/cm<sup>2</sup> del Sn 98% + PET 2%

**Tabla 10** Resultado de ángulo de fricción “ $\phi$ ” y cohesión “c”.

Material	Ángulo De Fricción ( $\phi$ °)	Cohesión (kg/cm <sup>2</sup> )
SUELO NATURAL	24.54	0.709
Mezcla (suelo + PET)	31.93	0.862

Fuente: García, Ximena



*Figura 25* Gráfico de Ángulo de fricción y cohesión

Fuente: Elabora propia

## Mamani & Quispe

**Tabla 11** Corte directo del Suelo Natural – 100%

Suelo Natural 100%						
Deformación Horizontal (cm)	$\sigma_n=0.9 \text{ kg/cm}^2$		$\sigma_n=1.8 \text{ kg/cm}^2$		$\sigma_n=3.6 \text{ kg/cm}^2$	
	T (kg/cm <sup>2</sup> )	Def. Vertical (mm)	T (kg/cm <sup>2</sup> )	Def. Vertical (mm)	T (kg/cm <sup>2</sup> )	Def. Vertical (mm)
0.000	0	-	0	-	0	-
0.010	0.0401	-	0.0798	-	0.1000	-
0.020	0.0697	-	0.1095	-	0.1390	-
0.030	0.0807	-	0.1205	-	0.1590	-
0.040	0.0836	-	0.1236	-	0.1678	-
0.050	0.0867	-	0.1267	-	0.1712	-
0.060	0.0878	-	0.1279	-	0.1715	-
0.070	0.0879	-	0.1281	-	0.1704	-
0.080	0.0875	-	0.1277	-	0.1680	-
0.090	0.0865	-	0.1267	-	0.1649	-
0.100	0.0852	-	0.1256	-	0.1616	-

Fuente: Mamani & Quispe

**Tabla 12** Corte directo del Suelo Natural 80% + CENIZA 20%

Suelo Natural 80% + CENIZA 20%						
Deformación Horizontal (cm)	$\sigma_n=0.9 \text{ kg/cm}^2$		$\sigma_n=1.8 \text{ kg/cm}^2$		$\sigma_n=3.6 \text{ kg/cm}^2$	
	T (kg/cm <sup>2</sup> )	Def. Vertical (mm)	T (kg/cm <sup>2</sup> )	Def. Vertical (mm)	T (kg/cm <sup>2</sup> )	Def. Vertical (mm)
0.000	0	-	0	-	0	-
0.010	0.0588	-	0.0836	-	0.1072	-
0.020	0.0745	-	0.1155	-	0.1463	-
0.030	0.0835	-	0.1328	-	0.1767	-
0.040	0.0907	-	0.1444	-	0.1955	-
0.050	0.0982	-	0.1541	-	0.2130	-
0.060	0.1056	-	0.1628	-	0.2228	-
0.070	0.1128	-	0.1691	-	0.2331	-
0.080	0.1193	-	0.1733	-	0.2389	-
0.090	0.1247	-	0.1761	-	0.2385	-
0.100	0.1286	-	0.1779	-	0.2377	-
0.110	0.1312	-	0.179	-	0.2364	-
0.120	0.1324	-	0.179	-	0.2351	-
0.130	0.1322	-	0.178	-	0.2321	-

Fuente: Mamani & Quispe

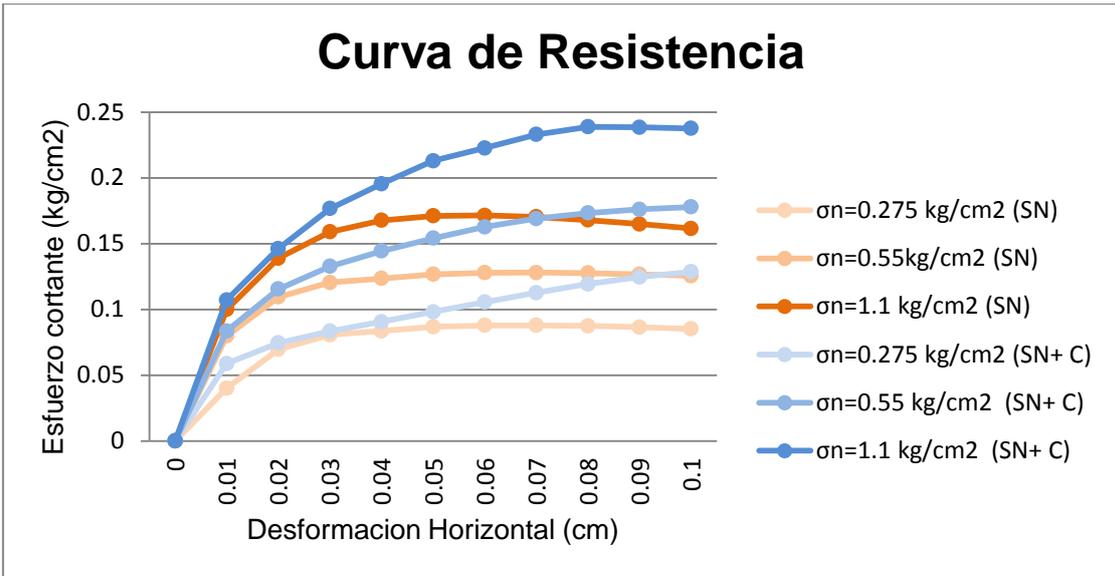


Figura 26 Esfuerzo cortante VS. Deformación horizontal

Fuente: Elabora propia

**Interpretación:** Como se puede apreciar en la figura 27, Con la mezcla del Ceniza de madera de fondo y el suelo sus esfuerzos cortantes son mayores al suelo natural. Para el gráfico de Deformación horizontal VS. Deformación vertical, la tabla no menciona los datos de Deformación vertical

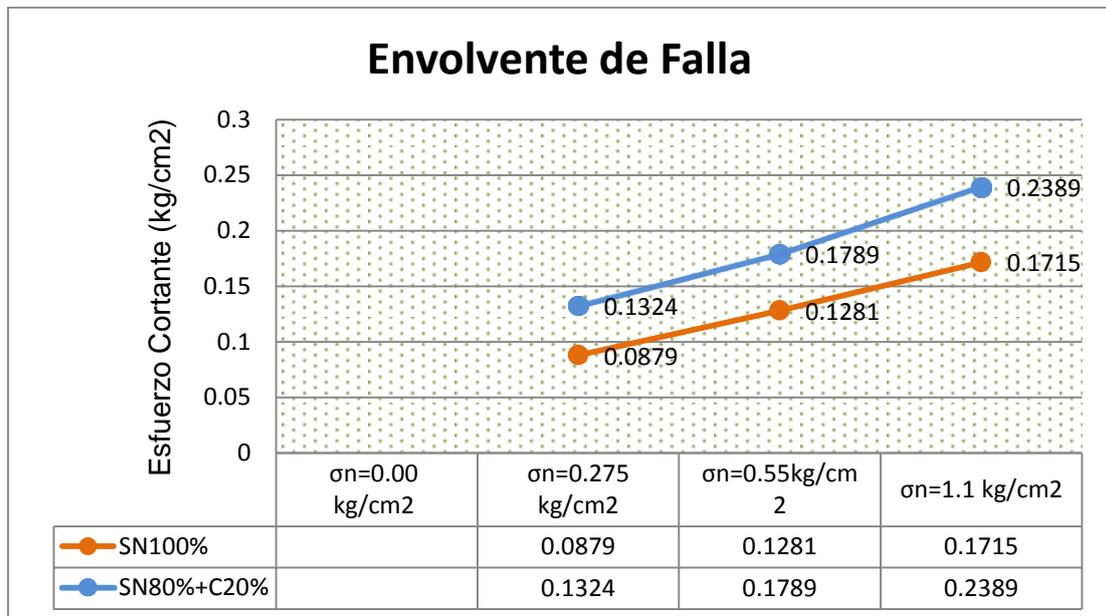


Figura 27 Envolverte de Falla

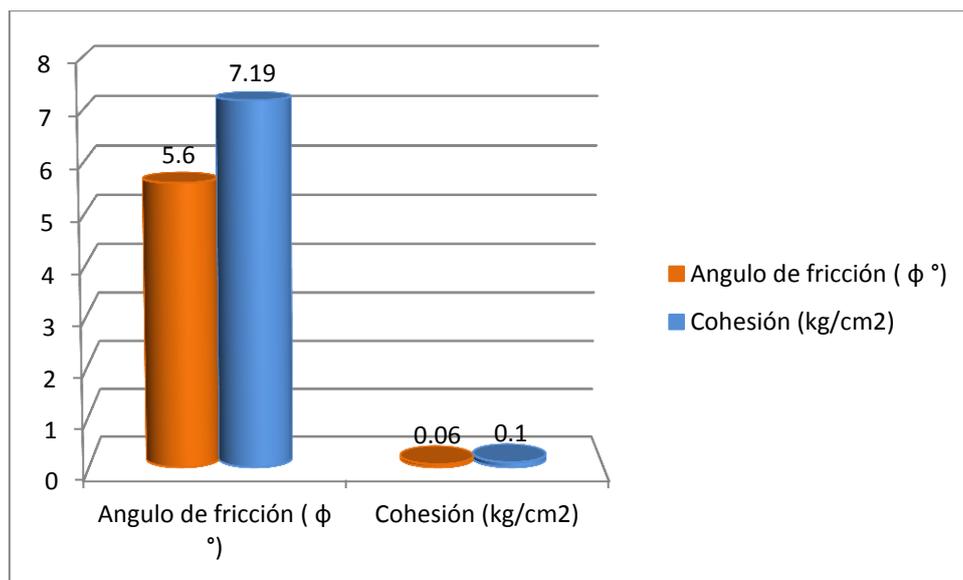
Fuente: Elabora propia

**Interpretación:** Como se puede apreciar en la tabla 28, al adicionar el ceniza de madera incrementa su resistencia al corte, más que el suelo natural. De esta gráfica se obtuvo los siguientes parámetros: ángulo de fricción ( $\phi$ ) = 5.60° y la cohesión (c) = 0.06 kg/cm<sup>2</sup> del Suelo al 100% y también se obtuvieron los siguientes parámetros: ángulo de fricción ( $\phi$ ) = 7.19° y la cohesión (c) = 0.10 kg/cm<sup>2</sup> del Sn 80% + C20%

**Tabla 13** Resultado de ángulo de fricción “ $\phi$ ” y cohesión “c”.

Material	Ángulo De Fricción ( $\phi$ °)	Cohesión (kg/cm <sup>2</sup> )
SUELO NATURAL	5.60	0.06
Mezcla (suelo + PET)	7.19	0.10

Fuente: Mamani & Quispe



*Figura 28* Gráfico de Ángulo de fricción y cohesión

Fuente: Elabora propia

## Objetivo 1

Analizar cómo influye el PET en el ángulo de fricción del suelo

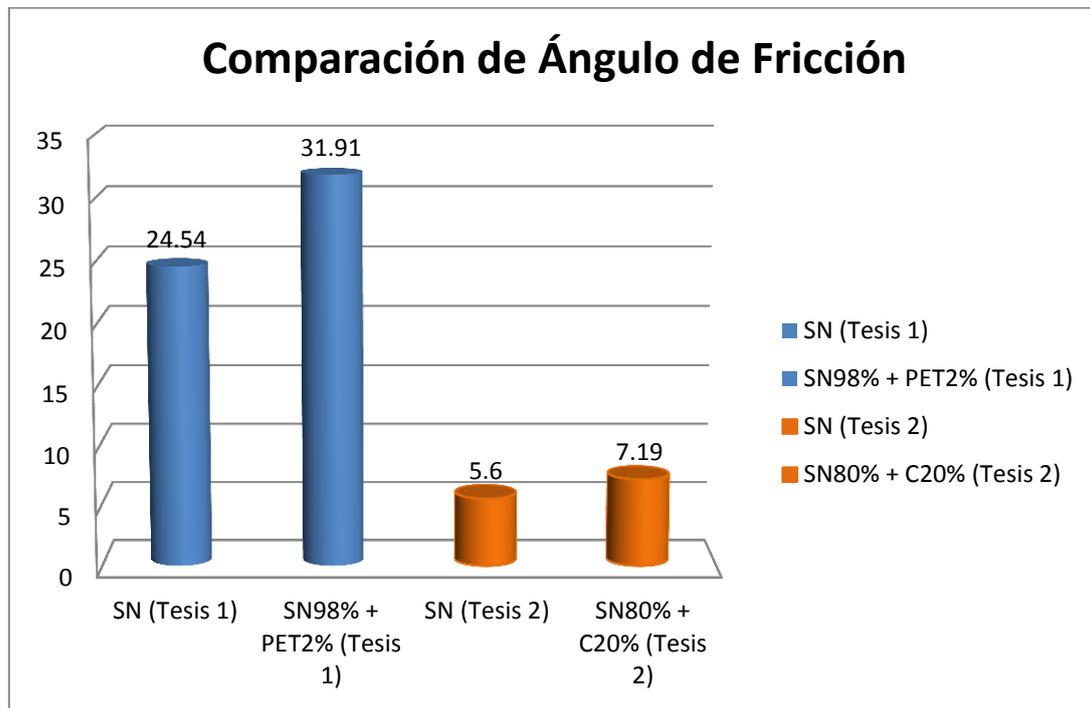


Figura 29 Gráfico de Comparación de Ángulo de Fricción

Fuente: Elabora propia

**Interpretación:** Como se ve en el gráfico el PET con tan solo 2% obtuvo 7.36° de diferencia que con el otro aditivo que es Cenizas de madera con 20 % obtuvo solo 1.59.

## Objetivo 2

Analizar cómo influye el PET en la cohesión del suelo

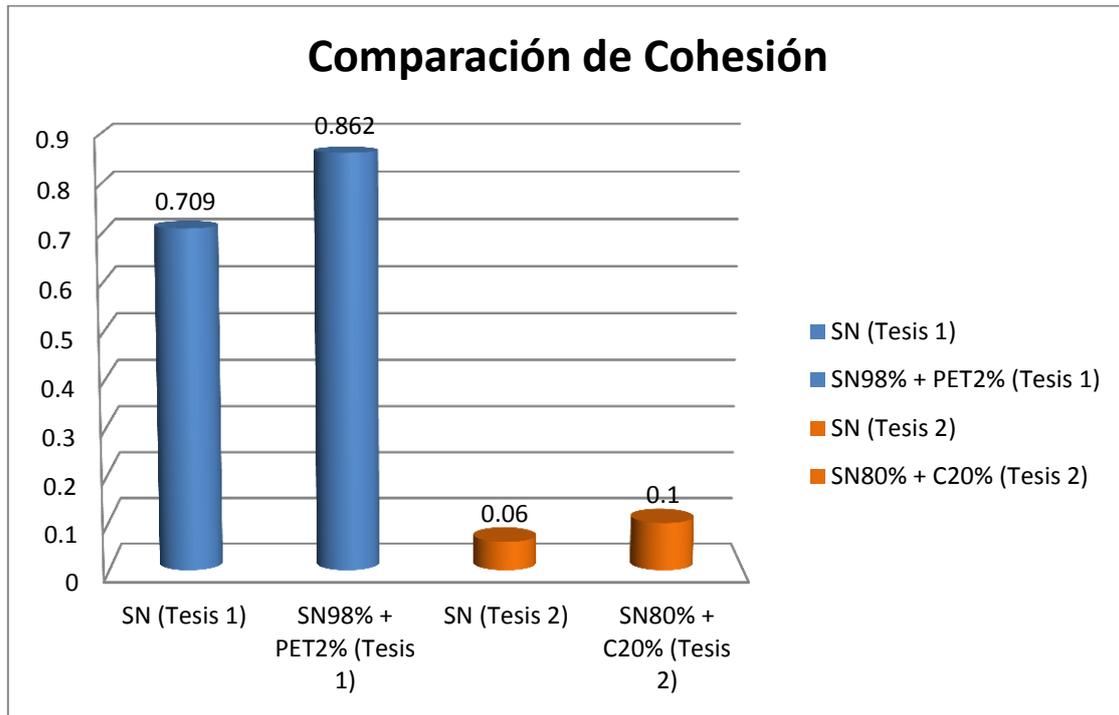


Figura 30 Gráfico de Comparación de Cohesión

Fuente: Elabora propia

**Interpretación:** Como se ve en el gráfico el PET con tan solo 2% obtuvo 0.153kg/cm<sup>2</sup> de diferencia que con el otro aditivo que es Cenizas de madera fondo con 20 % obtuvo solo 0.04kg/cm<sup>2</sup>.

### Objetivo 3

Analizar cómo influye el PET en la resistencia al esfuerzo cortante del suelo

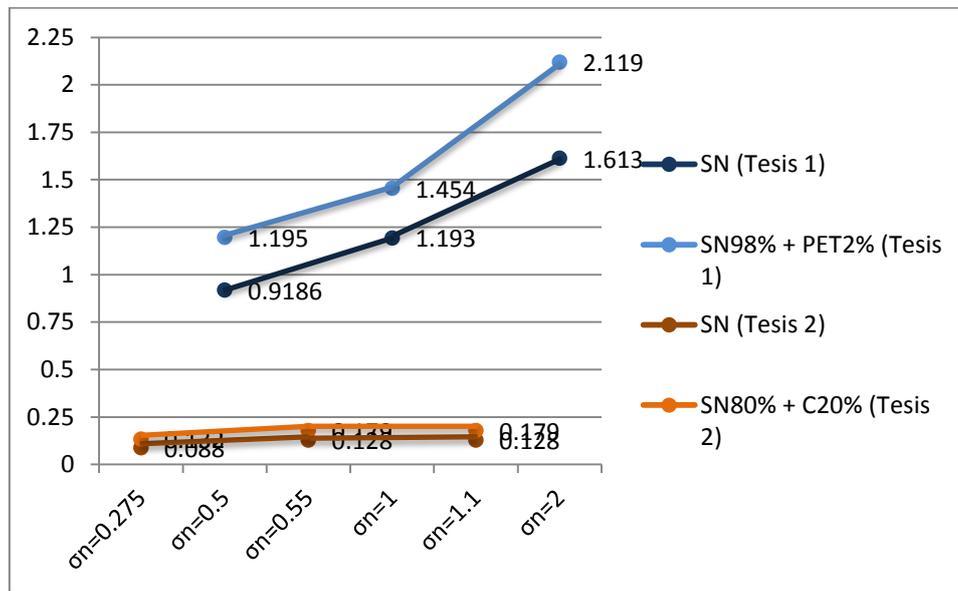


Figura 31 Comparación en la resistencia al esfuerzo cortante del suelo

Fuente: Elabora propia

**Interpretación:** Como se ve en el gráfico el PET con tan solo 2% obtiene una mejor resistencia que con el otro aditivo de cenizas de madera con 20%.

## V. DISCUSIÓN

### Objetivo 1

Según (Gil & Núñez, 2018) en su proyecto de investigación determinó que el uso del PET ayudan a mejorar el suelo con fines constructivos, y que con la adición de 0.6% de las fibras de PET reciclado que se agrega a la mezcla con el suelo arcilloso, se llega a mejorar el parámetro de ángulo de fricción internamente, con un  $22.903^\circ$ , ya que antes el terreno natural tenía  $15.587^\circ$ , se puede ver que la mejora es un  $7.315^\circ$ , así que se puede ver que en el ángulo de fricción si mejora con la adición del PET. A mayor porcentaje en la adición al suelo con el PET como un 0.9%, 1.2% y 1.5% su ángulo de fricción sigue mejorando pero pierde cohesión, se considera que hasta el 0.6% es el porcentaje a usar para poder mejorar las propiedades y experimenta un aumento debido a que la relación longitud-diámetro de la fibra permite lograr una correcta adherencia, compactación y homogeneización de la mezcla.

Con respecto a ello, en la tesis estoy de acuerdo con los resultados del tesista, porque existe una mejora adicionando un porcentaje de PET al suelo, con la dosificación óptima que se obtuvo para alcanzar los valores máximos del corte directo con el porcentaje de tan solo 2.0% de PET, no son mismos porcentajes pero los 2 muestran un mejoramiento, en estos datos indican que si hay similitud, esto puede depender del tipo de suelo, si bien es cierto tienen la misma nomenclatura, pero existe cierta variación mínima, con las fibras de PET reciclado que se agrega a la mezcla con el suelo arcilloso, se llega a mejorar el parámetro de ángulo de fricción internamente, con un  $31.93^\circ$ , ya que antes el terreno natural tenía  $24.54^\circ$ , la diferencia es un  $7.36^\circ$ , así que se puede ver que en el ángulo de fricción si mejoró con la adición del PET. Se puede apreciar que si mejoran para las 2 tesis el ángulo de fricción para que exista una correcta adherencia.

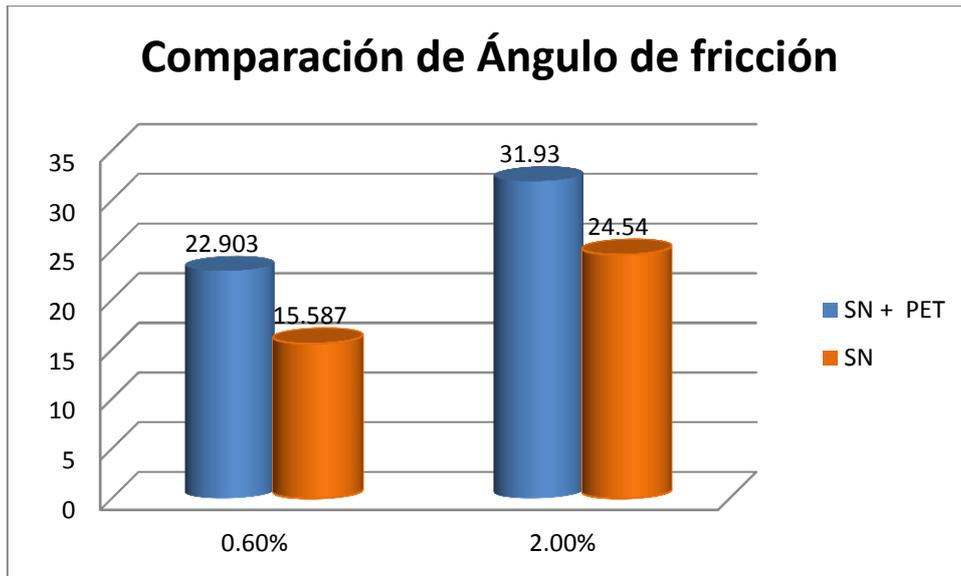


Figura 32 Gráfico de Comparación de Ángulo de Fricción

Fuente: Elabora propia

## Objetivo 2

Según (Gil & Núñez, 2018) en su proyecto de investigación determinó que el uso del PET ayudan a mejorar el suelo con fines constructivos, y que con la adición de 0.6% de las fibras de PET reciclado que se agrega a la mezcla con el suelo arcilloso, se llega a mejorar el parámetro de cohesión, con un 103.429 kg/cm<sup>2</sup>, ya que antes el terreno natural tenía 84.582 kg/cm<sup>2</sup>, se puede ver que la mejora un 18.847 kg/cm<sup>2</sup>, así que se puede ver que la cohesión si mejora con la adición del PET. A mayores porcentajes como 0.9%, 1.2% y 1.5%, los mecanismos de interacción suelo – fibra se debilitan. Inicialmente y hasta un porcentaje se experimenta un aumento de la cohesión esto se debe a que las fibras obstaculizan la correcta interacción entre las partículas del suelo, lo cual ocasiona separación en la mezcla y pérdida de adherencia, por lo cual la cohesión tiende a disminuir, sin embargo, Por eso hasta la adición del 0.6% de PET no disminuye su cohesión y se considera como porcentaje exacto para laborar en dicho lugar.

Con respecto a ello, en la tesis estoy de acuerdo con los resultados del tesista, porque existe una mejora adicionando un porcentaje de PET al suelo, con la dosificación óptima que se obtuvo para alcanzar los valores máximos del corte

directo con el porcentaje de tan solo 2.0% de PET, no son mismos porcentajes pero los 2 muestran un mejoramiento, en estos datos indican que si hay similitud, esto puede depender del tipo de suelo, si bien es cierto tienen la misma nomenclatura, pero existe cierta variación mínima, con las fibras de PET reciclado que se agrega a la mezcla con el suelo arcilloso, se llega a mejorar el parámetro de la cohesión con un 0.862 kg/cm<sup>2</sup>, ya que antes el terreno natural tenía 0.709 kg/cm<sup>2</sup>, la diferencia es un 0.153kg/cm<sup>2</sup>, así que se puede ver que en la cohesión si mejoro con la adición del PET. Se puede apreciar que si mejoran para las 2 tesis la cohesión.

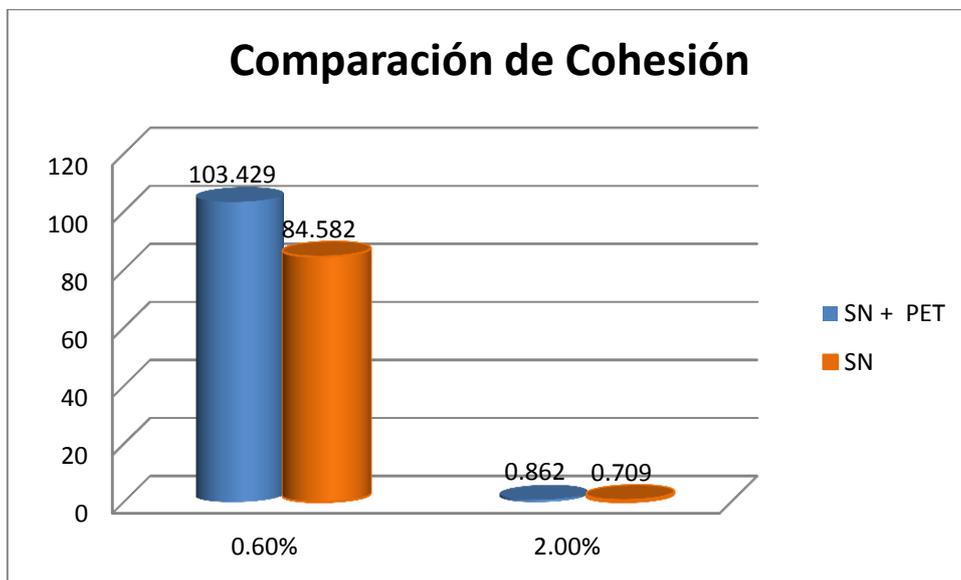


Figura 33 Gráfico de Comparación de Cohesión

Fuente: Elabora propia

### Objetivo 3

Según (Chebet, & Kalumba, 2015) En su proyecto de investigación, determinó que el uso de PET ayuda a mejorar el terreno para fines de construcción, y que al agregar 0.1% de fibras de PET recicladas a la mezcla, es posible mejorar la resistencia al esfuerzo cortante de la muestra compuesta en las pruebas de corte directo se registraron las tensiones respectivas con las cargas aplicadas 0.25 kg/cm<sup>2</sup>, 0.50 kg/cm<sup>2</sup> y 0.1 kg/cm<sup>2</sup>. El análisis de los resultados reveló un aumento inmediato en los ángulos de fricción máximos de la arena al agregar tiras de plástico con un aumento notable de 38.5 ° a 41 °

Con respecto a ello, en la tesis estoy de acuerdo con los resultados del tesista, porque existe una mejora adicionando un porcentaje de PET al suelo, con la dosificación óptima que se obtuvo para alcanzar los valores máximos del corte directo con el porcentaje de tan solo 2.0% de PET, en estos datos indican que no hay similitud, esto puede depender del tipo de suelo, aunque es cierto que tienen la misma nomenclatura, pero hay una variación mínima, con fibras de PET recicladas que se agregan a la mezcla con el suelo arcilloso y el del Hay suelos arenosos, pero en ambos tipos de suelo se mejora la resistencia al corte, porque para las dos tesis, su ángulo de fricción aumenta un poco más con la adición de PET

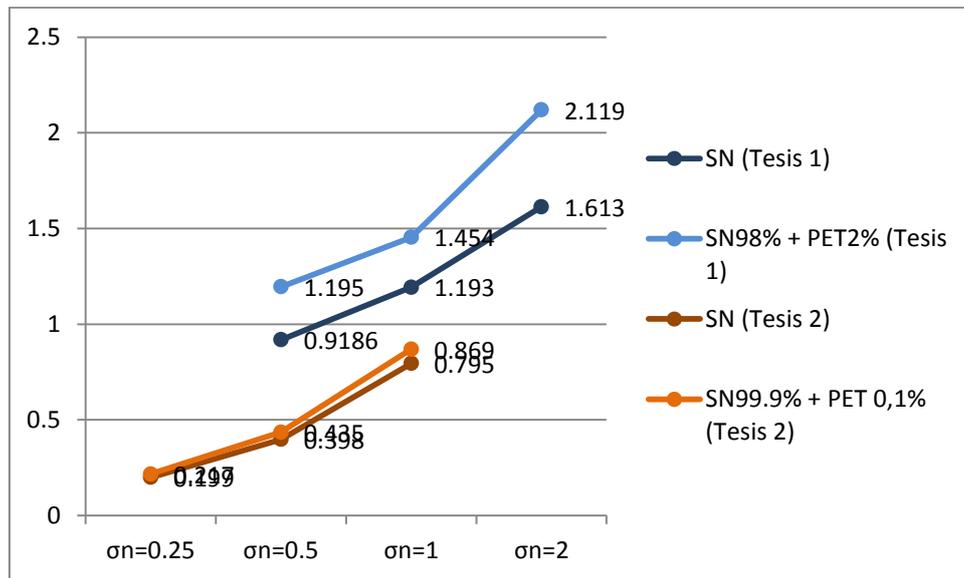


Figura 34 Comparación en la resistencia al esfuerzo cortante del suelo

Fuente: Elabora propia

## **VI. CONCLUSIONES**

Se determinó que la adición de fibras de PET Y Ceniza de madera reciclado con un porcentaje de 2.0% de PET y un 20.0% de Ceniza de madera, influye positivamente en el incremento progresivo de los valores de resistencia

Para el ángulo de fricción, se pudo ver que al momento de ser comparado con el PET existe un mayor incremento en las propiedades del suelo que con la ceniza de madera, por más que los 2 aporten resultados favorables en los resultados.

Para la cohesión, se pudo ver que al momento de ser comparado con el PET existe un mayor incremento en las propiedades del suelo que con la ceniza de madera, por más que los 2 aporten resultados favorables en los resultados.

Para la resistencia al esfuerzo cortante, se pudo ver que al momento de ser comparado con el PET existe un mayor incremento en las propiedades del suelo que con la ceniza de madera, por más que los 2 aporten resultados favorables en los resultados.

Finalmente, la combinación de PET-arcilla y ceniza-arcilla con respecto a los ensayos mecánicos de Corte Directo según la norma ASTM D3080, incrementa los parámetros de resistencia al corte, tales como: resistencia al esfuerzo cortante, ángulo de fricción y cohesión, demostrando así el eficiente uso de estos residuos.

## **VII. RECOMENDACIONES**

El plástico es un producto maravilloso que logra buenos resultados cuando se reutiliza para fines de construcción. El plástico eventualmente reemplazará las materias primas concreto y acero. Porque sus propiedades son similares

Es necesario informar al público sobre el reciclaje de los residuos plásticos, ya que este proyecto pretende reutilizarlo y volverlo a comercializar, también es económico y tiene otros usos para ayudar a desarrollar y cuidar el medio ambiente.

Reciclar significa cambiar la mentalidad de la persona, porque el único problema con el plástico y las cenizas de fondo es que nosotros, como usuarios, lo tiramos a la basura y lo convertimos en un producto perjudicial para el medio ambiente.

Se sugiere realizar otras variaciones en los porcentajes de consumo de residuos, ya que se usó una mezcla única para este estudio para las tiras de plástico al 2% y el 20% de cenizas de madera extraídas de los estudios de la tesis.

Se recomienda que se realicen pruebas triaxiales en mezclas de suelo - residuos industriales en suelo arenoso o rojo, ya que generalmente se usa en estructuras geotécnicas para obtener parámetros más precisos y validar si exhibe la misma tendencia de comportamiento.

Como dirección de investigación futura, se recomienda llevar a cabo un análisis comparativo de costos entre la mejora del suelo con PET y cenizas de madera.

Diseñe una guía de diseño para el proceso de aplicación de fibras de PET recicladas en el campo.

## REFERENCIAS

- ALMANZA, Isaí. Estudio del uso de polietileno tereftalato como materiales de refuerzo de estructuras terreas conformadas por suelos cohesivos. Tesis (título de Maestría Y Doctorado En Ingeniería). México: Universidad Nacional Autónoma de México, 2015.
- ARBELÁEZ, Juan y GÓNGORA, Daniel. Refuerzo de estructuras terreas utilizando tereftalato de polietileno (PET) Tesis (título de ingeniero civil). Colombia: Universidad de Ibagué, 2019
- BLANCO, M. Generalidades sobre polímeros. [En línea] Barcelona: Universidad Politécnica de Cataluña (UPC), 2007. [Fecha de consulta: 18 de abril de 2018]. Disponible en: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/4536/Anexo%20%20B.pdf?sequence=3>.
- BOTERO, Eduardo, MUÑOZ, Liliana, OSSA, Alexandra, ROMO, Miguel. Comportamiento mecánico del Polietileno Tereftalato (PET) y sus aplicaciones geotécnicas. Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia [en línea]. 2015, (70), 207-219[fecha de Consulta 6 de Noviembre de 2019]. ISSN: 0120-6230. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=43030033019>
- BRAJA, M. Das. Fundamentos de ingeniería geotécnica. Thomson International: USA, 2001. 608 pp. ISBN: 9706860614
- CENTRO DE ESTUDIOS Y EXPERIMENTACIÓN DE OBRAS PÚBLICAS. LABORATORIO DE GEOTECNIA. Normas NLT. II, Ensayos de suelos: NLT 120/72, contenido de sulfatos solubles en los suelos. Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas. 2.ª ed. 1992
- CASTELLS, X. (2000). El Reciclaje De Residuos Industriales. Madrid: Ediciones Díaz Santos.

CHEBET, F.C. Laboratory Investigation on Re-Using Polyethylene (Plastic) Bag Waste Material for Soil Reinforcement in Geotechnical Engineering. Thesis (Title of Master of Science in Civil Engineering) Sudáfrica: University of Cape Town 2015.

CASTILLO, Lourdes. Análisis documental. Segundo cuatrimestre. Biblioteconomía. Curso 2004-2005

COPELO Villas, Carlos. Mecánica de suelos y cimentaciones. 5. a ed. Limusa: México, 2004. 650 pp. ISBN: 9681864891

DI MARCO, Raúl. Diseño y elaboración de un sistema de adoquines de bajo costo y material reciclado para construcciones en núcleos rurales. Revista ESAICA, Vol.1 n°1, pp. 30-38, junio 2015. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/296622415>  
\_Diseno\_y\_elaboracion\_de\_un\_sistema\_de\_adoquines\_de\_bajo\_costo\_y\_material\_reciclado\_para\_construcciones\_en\_nucleos\_rurales

FERNÁNDEZ, C. (2006). Estudio Experimental de Refuerzo de Suelos con PET reciclado. GEOGACETA (40), 303-306.

FLORES, Víctor y ROJAS, Jesús. Mezclas de cemento y agregados de plástico para la construcción de viviendas ecológicas .Tesis (título de ingeniero civil). Bolivia: Universidad Mayor, Real y Pontifica de San Francisco Xavier de Chuquisaca, 2015.

GARCÍA, Ximena. Mejoramiento de un suelo arcilloso de la localidad de Pacaisapa – Ayacucho utilizando residuos industriales para evaluarlo en muro hipotético de tierra estabilizado mecánicamente (MSEW). Tesis (título de ingeniero civil). Perú: Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, 2019.

- GAGGINO, R., ARGUELLO, R., & BERRETTA, H. (2007). Aplicación De Material Plástico Reciclado En Elementos. Cordoba-Argentina: Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas de la República Argentina.
- GAGGINO, R. (2009). Ladrillos y placas prefabricadas con plásticos reciclados aptos para la autoconstrucción. Revista INVI, 23(63).
- GIL, Erick y NUÑEZ, Ingrid. Influencia de la adición de fibras de PET reciclado sobre la resistencia, cohesión y ángulo de fricción interna de suelos arcilloso aplicado a la estabilidad de taludes. Tesis (título de ingeniero civil). Trujillo: Universidad Nacional de Trujillo, 2018.
- GRANDEZ, E. Influencia de las fibras plásticas PET en las propiedades mecánicas del concreto endurecido, Lima – 2018. Tesis (título de ingeniero civil). Lima: Universidad Cesar Vallejo, 2018.
- GROOVER, J. Analyzing the Behavior of Soil Reinforced with Polyethylene Terephthalate (PET) Plastic Waste. Thesis (title of Master of Science in Civil Engineering) Sudáfrica: Stellenbosch University, 2016.
- HERNÁNDEZ, Roberto, FERNÁNDEZ, Carlos y BAPTISTA, María. Metodología de la investigación. 5.ª ed. México: The McGraw-Hill, 2010.656 pp. ISBN: 9786071502919
- HUARCAYA, Y., & HUACHO, F. Propuesta técnica para un área deportiva de multiuso con la utilización del micropavimento. Lircay: Universidad Nacional de Huancavelica, 2015.
- LEIVA, Roly. Utilización de bolsas de polietileno para el mejoramiento de suelo a nivel de la subrasante en el Jr. Arequipa, progresiva km 0+000 - km 0+100, Distrito de Orcotuna, Concepción. Tesis (título de ingeniero civil). Huancayo: Universidad Nacional del Centro del Perú, 2016.

- MAMANI, Lux, QUISPE, Alejandro. Estabilización de Suelos Arcillosos Aplicando Ceniza de Madera de Fondo, Producto de Ladrilleras Artesanales en el Departamento de Ayacucho. Tesis (título de ingeniero civil). Perú: Universidad San Martín de Porres, 2017.
- MAURE, J., CANDANEDO, M., MADRID, J., BOLOBOSKY, M., & MARÍN, N. (2018). Fabricación de ladrillos a base de polímeros PET y virutas metálicas. *Revista De Iniciación Científica*, 4, 33-38. [En línea]. 2018. <https://doi.org/10.33412/rev-ric.v4.0.1816>
- MINISTERIO DE VIVIENDA, CONSTRUCCION Y SANEAMIENTO. (2006). Norma Técnica Peruana E-050 (NTP 339.171/ASTM D3080) Corte Directo. Lima: Normas Legales.
- MINISTERIO DE VIVIENDA, CONSTRUCCION Y SANEAMIENTO. (2006). Norma Técnica Peruana E-050 (NTP 339.134 /ASTM D 2487) Clasificación Unificada de Suelos (SUCS). Lima: Normas Legales.
- MINISTERIO DE VIVIENDA, CONSTRUCCION Y SANEAMIENTO. (2006). Norma Técnica Peruana E-050 (NTP 339.143 /ASTM D1556) Densidad in-situ mediante el método del cono de arena. Lima: Normas Legales.
- MINISTERIO DE VIVIENDA, CONSTRUCCION Y SANEAMIENTO. (2006). Norma Técnica Peruana E-050 (NTP 339.166/ASTM D4767) compresión no confinada. Lima: Normas Legales.
- MINISTERIO DE VIVIENDA, CONSTRUCCION Y SANEAMIENTO. (2006). Norma Técnica Peruana E-050 (N.T.P. 339.127/ASTM D2216) Contenido de Humedad. Lima: Normas Legales.

- MINISTERIO DE VIVIENDA, CONSTRUCCION Y SANEAMIENTO. (2006). Norma Técnica Peruana E-050 (Norma NTP 339.128/ASTM D422) Análisis granulométrico. Lima: Normas Legales.
- MINISTERIO DE VIVIENDA, CONSTRUCCION Y SANEAMIENTO. (2006). Norma Técnica Peruana E-050 (NTP 339.129/ASTM D4318) Límite Líquido y Límite Plástico. Lima: Normas Legales.
- MONTEJO, Alfonso, MONTEJO, Alejandro & MONTEJO, Alberto. ESTABILIZACION DE SUELOS [en línea]. Ediciones de la U. Refª 8075. Mayo de 2018., Disponible en:  
<https://belliscovirtual.com/ingenieria-y-mecanica-del-suelo-cimentaciones/5452-estabilizacion-de-suelos-9789587628784.html>  
ISBN/EAN: 9789587628784
- MORENO, Raquel. El ser humano ha generado 8300 millones de toneladas plástico. [En línea] [Citado el: 28 de abril de 2018.] Disponible en:  
<https://www.muyinteresante.es/naturaleza/articulo/el-ser-humano-ha-generado-8-300-millones-de-toneladas-de-plastico-361500536592>
- ROSA, Anie, MICHELIN, Carlos CAMPOMANES, Ruth Reciclaje de PET: evaluación de la eficiencia de separación del contaminante PVC [en línea]. REVISTA ECIPERU: Volumen 8(1), enero 2011. Disponible en  
<http://www.ufrgs.br/lapol/reciclaje.pdf>  
ISSN: 1813 – 0194
- SÁNCHEZ, H., & REYES, C. Metodología y diseños en la investigación científica. Lima: Editorial Vision Universitaria. Sargian, A. Mecánica estructural. (2004)
- SANCHEZ, I. Contenido de humedad agregados informe. Tesis (Título De Ingeniero Civil). Huancayo: Universidad Nacional Del Centro Del Perú, (2019)

SHERWELL, Guillermo. Estudio del uso de Polietileno Tereftalato como material de refuerzo de estructuras térreas conformadas por suelo fino. Tesis (título de ingeniero civil). México: Universidad Nacional Autónoma de México, 2015.

STAMATOPOULOS Aris, KOTZIAS Panagiotis. Mejoramiento para los Suelos Por Precarga [en línea]. EE.UU: Limusa Noriega. Disponible en: <https://www.casadellibro.com/libro-mejoramiento-para-los-suelos-por-precarga/9789681833169/356495>  
ISBN: 9789681833169

SUAREZ, Jaime. Deslizamiento: Análisis Geotécnico [En línea]. Cap-3 (2013) Disponible en: [www.erosion.com.co/libros/36-libros-ing-jaime-suarez/70-nuevo-libro-deslizamientos-tomo-i-analisis-geotecnico.html](http://www.erosion.com.co/libros/36-libros-ing-jaime-suarez/70-nuevo-libro-deslizamientos-tomo-i-analisis-geotecnico.html)

VILLAREAL, Castro, GENNER, Álvaro. Interacción sísmica suelo-pilote-superestructura en edificios altos. En su: Resistencia de materiales 1.ª ed. Perú, 2005.pp.8-9  
ISBN 9972-33-175

VILLAREAL, G. Diseño y construcción de Edificaciones Antisísmicas. 1º Seminario Taller Binacional de Desastres Naturales Antrópicos y IV Congreso Ecuatoriano de Mecánica de Suelos e Ingeniería Geotécnica, 10. 2001.

WANYAMA, Paul. Experimental Study of Shear Behaviour of High Density Polyethylene Reinforced Sand under Triaxial Compression. Thesis (title of Master of Science in Civil Engineering) Sudáfrica: University of Cape Town, 2016.

ZENTENO, Sídney. Efecto de la estabilización de suelos finos con tereftalato de polietileno como material de refuerzo en la estructura de pavimentos

flexibles del distrito de puno. Tesis (título de ingeniero civil). Puno:  
Universidad Nacional del Altiplano, 2018.

## ANEXOS

Anexo 1. Tabla 14. Matriz de Operacionalización de variables

Variables	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala de Medición
VARIABLE DEPENDIENTE: MEJORAMIENTO DEL SUELO	Montejo (2018) afirma lo siguiente: La mejora del suelo se puede definir para todos los procedimientos de construcción que funcionan en el terreno natural con o sin la adición de aditivos, dependiendo de cómo sea el suelo que impone la infraestructura.	EL suelo se analizara en base de su granulometría, Límite líquido y plástico, en su resistencia con el corte directo.	Ángulo del fricción	Ensayo de Corte Directo	Razón
			Cohesión		
			Resistencia al esfuerzo Cortante		
VARIABLE INDEPENDIENTE: TEREFTALATO POLIETILENO	Di Marco (2015) afirma lo siguiente: Es un material caracterizado por su alta pureza, tenacidad y alta resistencia con propiedades de transparencia y resistencia química. Este polietileno es resistente al calor y absorbe una pequeña cantidad de agua, formando fibras fuertes y flexibles.	Para analizar el Tereftalato de polietileno reciclado será en base a su aplicación, granulometría y a la dosificación con respecto del suelo.	Porcentaje de Dosificación del PET	2.0%	Razón
			Porcentaje de Dosificación de Ceniza de Madera	20.0%	Razón

Fuente: Elaboración propia

**Anexo 2. Tabla 15.** Matriz de consistencia

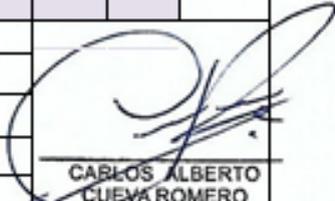
PROBLEMA	OBJETIVO	Hipótesis	VARIABLE 1: MEJORAMIENTO DEL SUELO			TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN
PROBLEMA ESPECÍFICO	OBJETIVO ESPECÍFICO	HIPÓTESIS ESPECÍFICO	DIMENSIONES	INDICADORES	INSTRUMENTOS	
¿Cómo influye el PET o la ceniza de madera en el mejoramiento de suelo?	Analizar cómo influye el PET o la ceniza de madera en el mejoramiento del suelo	La incorporación del PET o la ceniza de madera mejorara el suelo	Ángulo de Fricción	Ensayo de Corte Directo	Equipo para realizar la prueba dada en los indicadores	<b>Método:</b> Aplicado <b>Tipo:</b> Transversal <b>Nivel:</b> Correlacional-Causal <b>Diseño:</b> No experimental <b>Población:</b> Todos los ensayos realizados para la obtención de datos
			Cohesión			
			Resistencia al esfuerzo cortante			
¿Cómo influye el PET o la ceniza de madera en el ángulo de fricción del suelo?	Analizar cómo influye el PET o la ceniza de madera en el ángulo de fricción del suelo	El PET o la ceniza de madera influyen en el ángulo de fricción del suelo	VARIABLE 2: TEREFTALATO DE POLIETILENO			<b>Muestra:</b> Ensayo a realizar <b>Técnica:</b> Análisis Documental <b>Instrumentos:</b> Formato de los ensayos realizados
¿Cómo influye el PET o la ceniza de madera en la cohesión del suelo?	Analizar cómo influye el PET o la ceniza de madera en la cohesión del suelo	El PET o la ceniza de madera influyen en la cohesión del suelo	Porcentaje de Dosificación del PET	2.0%	Uso de Porcentajes	
¿Cómo influye el PET o la ceniza de madera en la resistencia al esfuerzo cortante del suelo?	Analizar cómo influye el PET o la ceniza de madera en la resistencia al esfuerzo cortante del suelo	El PET o la ceniza de madera influyen en la resistencia al esfuerzo cortante del suelo	Porcentaje de Dosificación del Ceniza de Madera	20.0%	Uso de Porcentajes	

### Anexo 3. Revisión de instrumentos de recolección de datos DPI

FICHA DE RECOLECCION DE DATOS			Tesis 1	Tesis 2
PROYECTO: MEJORAMIENTO DE SUELO CON FINES CONSTRUCTIVOS UTILIZANDO TEREFALATO DE POLIETILENO EN EL PROGRAMA DE VIVIENDA PROFAM SANTA ROSA				
AUTOR: PEREZ SINCHE WILLY JEAN				
<b>I) INFORMACION GENERAL</b>				
UBICACIÓN: SANTA ROSA, DEPARTAMENTO DE LIMA				
DISTRITO: SANTA ROSA				
PROVINCIA: LIMA				
<b>II) ENSAYOS PARA MEJORAMIENTO DE SUELO</b>				
<b>ENSAYO FISICO</b>				
SUCS (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos)				
Análisis Granulométrico por Tamizado # 200				
Limite Atterberg	Limite Líquido			
	Limite Plástico			
	Índice de Plasticidad			
<b>ENSAYOS MECANICAS</b>				
Corte Directo	Cohesión			
	Ángulo de Fricción			
	Resistencia al Esfuerzo Cortante			
<b>ENSAYO QUIMICAS</b>				
<b>III) TRITURADOR DE ADITIVO</b>				
Triturado de Tereftalato de Polietileno		Molino triturador de PET		
<b>IV) DOSIFICACION DEL ADITIVO</b>				
Dosificación del Tereftalato de Polietileno		2%	X	
Dosificación del Ceniza de Madera		20%		X
<b>V) OTROS</b>				
<b>TOTAL</b>				
Apellidos y Nombre	Cueva Romero, Carlos Alberto			
Registro CIP N°	106932			
Profesión	INGENIERO CIVIL			
Correo	acueva@egaconstructores.com			
Celular	984836848			
Observaciones:	.....			

Variable pendiente: Mejoramiento de suelo

Variable pendiente: Tereftalato de Polietileno



**CARLOS ALBERTO CUEVA ROMERO**  
INGENIERO CIVIL  
Reg. CIP N° 106932  
experto

FICHA DE RECOLECCION DE DATOS		Tesis 1	Tesis 2
PROYECTO: MEJORAMIENTO DE SUELO CON FINES CONSTRUCTIVOS UTILIZANDO TEREFTALATO DE POLIETILENO EN EL PROGRAMA DE VIVIENDA PROFAM SANTA			
AUTOR: PEREZ SINCHE WILLY JEAN			
<b>II) INFORMACION GENERAL</b>			
UBICACIÓN: SANTA ROSA, DEPARTAMENTO DE LIMA			
DISTRITO: SANTA ROSA			
PROVINCIA: LIMA			
<b>III) ENSAYOS PARA MEJORAMIENTO DE SUELO</b>			
<b>ENSAYO FISICO</b>			
SUCS (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos)			
Análisis Granulométrico por Tamizado # 200			
Limite Atterberg	Limite Líquido		
	Limite Plástico		
	Índice de Plasticidad		
<b>ENSAYOS MECANICAS</b>			
Corte Directo	Cohesión		
	Ángulo de Fricción		
	Resistencia al Esfuerzo Cortante		
<b>ENSAYO QUIMICAS</b>			
<b>III) TRITURADOR DE ADITIVO</b>			
Triturado de Tereftalato de Polietileno	Molino triturador de PET		
<b>IV) DOSIFICACION DEL ADITIVO</b>			
Dosificación del Tereftalato de Polietileno	2%	X	
Dosificación del Ceniza de Madera	20%		X
<b>V) OTROS</b>			
<b>TOTAL</b>			
Apellidos y Nombre	ARAUJO CHOQUE CHRISTIAN MARLON	 CHRISTIAN MARLON ARAUJO CHOQUE INGENIERO CIVIL Reg. CIP N° 174993	
Registro CIP N°	174993		
Profesión	INGENIERO CIVIL		
Correo	CHRISTIAN.ARAUJO.CH@GMAIL.COM		
Celular	989444933		
Observaciones:		Firma y sello del experto	

Variable dependiente: Mejoramiento de suelo

Variable independiente: Tereftalato de Polietileno

Revisión de Instrumentos de recolección de datos DPI Recibidos x



**Jach3** <jean171096@gmail.com>  
para jbenites8411

27 jun. 2020 23:57 (hace 18 horas) ☆ ↶ ⋮

Buenas tardes ING. BENÍTEZ, Soy el alumno PEREZ SINCHE WILLY JEAN, estudiante del ciclo X del curso de Proyecto de investigación de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO, Así mismo mediante el medio solicito encarecidamente pueda validar los instrumentos de recolección de datos de mi proyecto de investigación titulado "....."  
Dni: 73329933  
CÓDIGO DE ESTUDIANTE: 8700181401



**JOSE LUIS**  
para mí

00:22 (hace 17 horas) ☆ ↶ ⋮

**Estimado (a).** PEREZ SINCHE WILLY JEAN

Habiendo revisado tus instrumentos para a recolección de datos, de tu DPI titulado "....." , doy por **VALIDADO** para que pueda aplicar en su desarrollo de tesis.

**Atte. Mg. Jose Luis Benites Zuñiga**  
Ingeniero Civil  
CIP 126769

\*\*\*

**Anexo 4.** Análisis Granulométrico por tamizado y SUCS de la Tesis 1 (GARCIA, X)

**Tabla 16** Análisis Granulométrico por Tamizado

		<b>FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA</b> <b>LAB. DE MATERIALES Y MECÁNICA DE SUELOS</b>			
		<b>ANÁLISIS GRANULOMETRIA POR TAMIZADO ASTM D422</b>			
<b>OBRA:</b> Estabilización de suelos arcillosos aplicando cenizas de madera, producto de las ladrilleras artesanales, en el departamento de Ayacucho					
<b>ELABORADO:</b> Bach. Yataco Quispe, Alejandro Jesús Bach. Mamani Barriga, Lux Eva		<b>ASESOR:</b> Mg. Ing. Gary, Duran Ramirez			
<b>UBICACION:</b> Huamanga - Ayacucho		<b>COMB:</b> 70%S 30%CF		<b>N° LAB :</b> 1	
<b>Peso de muestra :</b> 65 gr					
<b>% Pasa N° 200 :</b> 69.57 %					
<b>Tamiz</b>		<b>Retenido</b>		<b>Retenido Acumulado</b>	<b>Pasa</b>
<b>(mm)</b>	<b>(pulg)</b>	<b>(gr)</b>	<b>(%)</b>	<b>(%)</b>	<b>(%)</b>
4.760	N° 4	0.00	0.00	0.00	100.00
2.000	N° 10	0.00	0.00	0.00	100.00
0.840	N° 20	0.48	0.74	0.74	99.26
0.425	N° 40	1.62	2.49	3.23	96.77
0.260	N° 60	3.57	5.49	8.72	91.28
0.106	N° 140	5.45	8.38	17.11	82.89
0.075	N° 200	8.66	13.32	30.43	69.57
Fondo		45.22	69.57	100.00	0.00
Suma		65.00			

Fuente: García, X

## Anexo 5. Límite de Atterberg de la Tesis 2 (GARCIA, X)

### 4.1.1.3 Gravedad Específica de Sólidos NTP-339.131

Este método de ensayo se utiliza para determinar la densidad de un suelo fino y/o una arena. El cálculo de este valor es importante, ya que, influye en las características mecánicas del suelo. El ensayo se realizó para determinar el valor de la gravedad específica corregida por temperatura del suelo arcilloso natural – S100 y su valor fue de  $G_s=2.71\text{ gr/cm}^3$ .

### 4.1.1.4 Límites de consistencia ASTM D4318

El ensayo tiene como finalidad determinar los diferentes estados del suelo respecto del contenido de humedad. De este ensayo se obtuvo que el valor de Límite líquido (LL)= 82.71%, Límite plástico (LP)=23.37% y el índice de plasticidad (IP)=59.34%.

Por último, mediante la clasificación del suelo arcilloso – S100 se definió mediante la clasificación del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) como un material tipo "CH", es decir, que es una arcilla inorgánica de alta plasticidad.

## 4.1.2 Ensayos mecánicos

### 4.1.2.1 Ensayo de Proctor Modificado NTP 339.141

El ensayo de Proctor Modificado tiene como objetivo hallar la densidad máxima seca para una relación óptima de agua y de esta manera garantizar las características mecánicas del suelo arcilloso. En la figura 24 se muestra la curva de compactación en la misma que se observa que el contenido de humedad óptimo es 32.2% y el peso específico seco máximo es  $1.47174\text{ g/cm}^3$ .

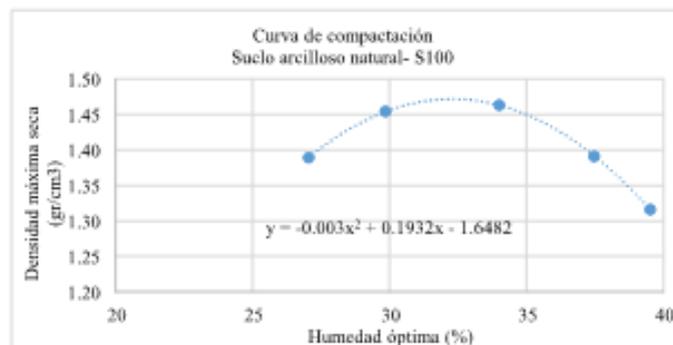


Figura 24. Curva de compactación suelo arcilloso natural - S100.

Adaptado de "Estabilización de suelos arcillosos aplicando ceniza de madera de fondo, producto de ladrilleras artesanales en el departamento de Ayacucho", por Yataco & Mamami, 2017.

Figura 35 Captura de pantalla de la tesis 2 de GARCIA, X sin certificado de validación Límite de Atterberg

En la tabla 10 se presenta los contenidos de humedad y peso específico seco máximo utilizados para cada mezcla, en función a los valores obtenido para el suelo puro.

Tabla 10  
*Contenido de humedad y peso específico para cada mezcla*

Material	Contenido de humedad	Densidad seca máxima
	Óptimo (W%)	(gr/cm <sup>3</sup> )
Suelo arcilloso puro	32.30	1.47
Mezcla 1 (arcilla + CCA)	24.40	1.43
Mezcla 2 (arcilla + caucho rallado)	30.00	1.40
Mezcla 3 (arcilla + PET)	32.00	1.45

*Nota:* Elaboración propia.

#### 4.2 Objetivo 2

Mediante el Ensayo de Corte Directo (NTP-339.171) se obtuvieron los parámetros “c” y “ $\phi$ ” para el suelo arcilloso puro y las diferentes mezclas que se muestran en la tabla 10.

##### 4.2.1 Suelo arcilloso puro – S100

Se realizó el ensayo de corte directo para las cargas verticales de 0.50 kg/cm<sup>2</sup>, 1.00 kg/cm<sup>2</sup>, 2.00 kg/cm<sup>2</sup>. De este ensayo se obtuvo que el esfuerzo al corte fue de 0.9186 kg/cm<sup>2</sup>, 1.193 kg/cm<sup>2</sup> y 1.613 kg/cm<sup>2</sup> para cada carga respectiva. En la figura 25 se muestra la curva del comportamiento esfuerzo cortante versus desplazamiento horizontal del suelo puro – S100.

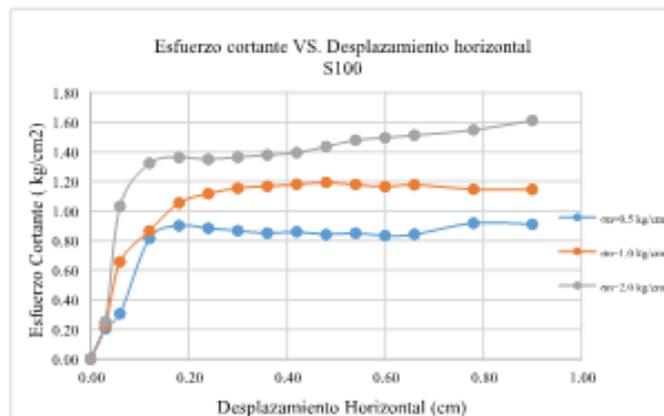


Figura 25. Curva Esfuerzo cortante vs. Desplazamiento horizontal – S100.

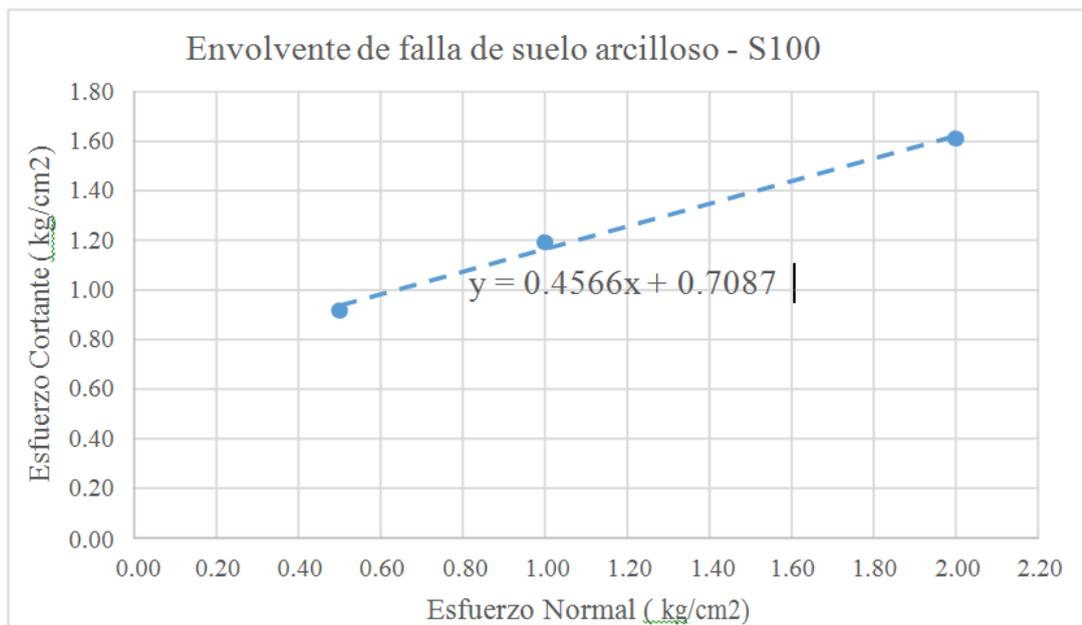
Fuente: Elaboración propia.

## Anexo 6. Corte Directo de la Tesis 1 (GARCIA, X)

**Tabla 17** Toma de datos de laboratorio del ensayo de Corte Directo del suelo natural

FACULTAD DE INGENIERÍA															
LAB. DE MATERIALES Y MECÁNICA DE SUELOS															
ENSAYO DE CORTE DIRECTO ASTM D3080															
OBRA: Optimización del diseño de un Muro de Tierra Estabilizado Mecánicamente (MSE) en un suelo arcilloso mejorado con residuos industriales															
ELABORADO: García Santos, Ximena Julieta					ASESOR: Mg. Ing. Gary Durán Ramirez					COMIBACIÓN: S100					
UBICACIÓN: Huamanga - Ayacucho										N° LABORATORIO: 1					
Caja de corte N°: ER, U, H			Longitud: 6 cm			Altura: 2.13 cm			Volumen: 76.57 cm <sup>3</sup>			%W: 32.3 %			
Ancho: 6 cm			Factor de Calibración: 0.894605			Velocidad: 2.4 mm/min			Wm: 112.56 gr						
Deformación Horizontal (cm)	Deformación Unitaria ε - %	Lc	Área corregida (cm <sup>2</sup> )	σ = 0.50 kg/cm <sup>2</sup>				σ = 1.00 kg/cm <sup>2</sup>				σ = 2.00 kg/cm <sup>2</sup>			
				Lectura Dial	Def. vertical (mm)	F.C (kg)	τ (kg/cm <sup>2</sup> )	Lectura Dial	Def. vertical (mm)	F.C (kg)	τ (kg/cm <sup>2</sup> )	Lectura Dial	Def. vertical (mm)	F.C (kg)	τ (kg/cm <sup>2</sup> )
0.000	0.0	6.00	36	0.0	0.0000	0	0	0.0	0.0000	0	0	0.0	0.0	0	0
0.030	0.5	5.97	35.82	1.0	0.0000	7.301235	0.20383124	2.0	0.0000	8.19584	0.22880625	3.0	0.0	9.090445	0.25378127
0.060	1.0	5.94	35.64	5.0	0.0000	10.879655	0.30526529	19.0	0.0000	23.404125	0.6566814	34.0	0.0	36.8232	1.03319865
0.120	2.0	5.88	35.28	25.0	0.0000	28.771755	0.81552594	27.0	0.0127	30.560965	0.8662405	45.0	0.1	46.663855	1.32267163
0.180	3.0	5.82	34.92	28.0	0.0000	31.45557	0.90078952	34.0	0.0127	36.8232	1.05450172	46.0	0.1	47.55846	1.36192612
0.240	4.0	5.76	34.56	27.0	0.0000	30.560965	0.88428718	36.0	0.0127	38.61241	1.11725723	45.0	0.1	46.663855	1.35022729
0.300	5.0	5.70	34.2	26.0	0.0203	29.66636	0.86743743	37.0	0.0229	39.507015	1.15517588	45.0	0.1	46.663855	1.3644402
0.360	6.0	5.64	33.84	25.0	0.0203	28.771755	0.85022917	37.0	0.0229	39.507015	1.16746498	45.0	0.1	46.663855	1.37895553
0.420	7.0	5.58	33.48	25.0	0.0203	28.771755	0.85937142	37.0	0.0254	39.507015	1.18001837	45.0	0.1	46.663855	1.393783
0.480	8.0	5.52	33.12	24.0	0.0254	27.87715	0.84170139	37.0	0.0254	39.507015	1.19284466	46.0	0.1	47.55846	1.43594384
0.540	9.0	5.46	32.76	24.0	0.0254	27.87715	0.85095085	36.0	0.0254	38.61241	1.17864499	47.0	0.1	48.453065	1.47903129
0.600	10.0	5.40	32.4	23.0	0.0254	26.982545	0.8327946	35.0	0.0254	37.717805	1.16412978	47.0	0.1	48.453065	1.49546497
0.660	11.0	5.34	32.04	23.0	0.0254	26.982545	0.84215184	35.0	0.0254	37.717805	1.17720989	47.0	0.1	48.453065	1.51226795
0.780	13.0	5.22	31.32	25.0	0.0254	28.771755	0.91863841	33.0	0.0508	35.928595	1.14714543	47.0	0.1	48.453065	1.54703273
0.900	15.0	5.10	30.6	24.0	0.0254	27.87715	0.91101797	32.0	0.0762	35.03399	1.14490163	48.0	0.2	49.34767	1.61266895

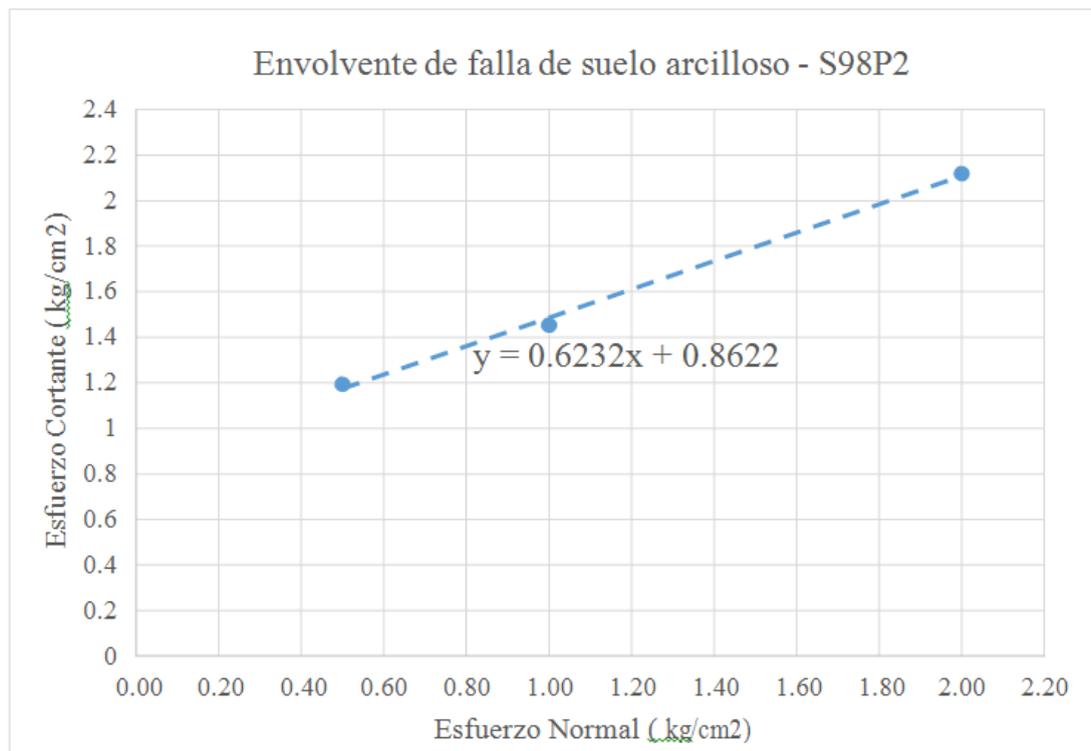
Fuente: García, X



**Tabla 18** Toma de datos de laboratorio del ensayo de Corte Directo del suelo natural con el PET

FACULTAD DE INGENIERÍA															
LAB. DE MATERIALES Y MECÁNICA DE SUELOS															
ENSAYO DE CORTE DIRECTO ASTM D3080															
OBRA: Optimización del diseño de un Muro de Tierra Estabilizado Mecánicamente (MSE) en un suelo arcilloso mejorado con residuos industriales															
ELABORADO: García Santos, Ximena Julieta				ASESOR: Mg. Ing. Gary Durán Ramirez				COMIBACIÓN: S98P2							
UBICACIÓN: Huamanga - Ayacucho															
N° LABORATORIO: 1															
Caja de corte N°:		I, L, C		Longitud:		6 cm									
Ancho:		6 cm		Altura:		2.13 cm									
Área:		36 cm <sup>2</sup>		Volumen:		76.57 cm <sup>3</sup>									
Gs:		2.68		%W:		32.00 %									
Velocidad:		2.4 mm/min		Factor de Calibración:		0.894605									
Wm:		110.26 gr													
Deformación Horizontal (cm)	Deformación Unitaria ε - %	Lc	Área corregida (cm <sup>2</sup> )	σ = 0.50 kg/cm <sup>2</sup>				σ = 1.00 kg/cm <sup>2</sup>				σ = 2.00 kg/cm <sup>2</sup>			
				Lectura Dial	Def. vertical (mm)	F.C (kg)	τ (kg/cm <sup>2</sup> )	Lectura Dial	Def. vertical (mm)	F.C (kg)	τ (kg/cm <sup>2</sup> )	Lectura Dial	Def. vertical (mm)	F.C (kg)	τ (kg/cm <sup>2</sup> )
0.000	0.0	6.00	36	0.0	0.0	0	0	0.0	0.0	0	0	0.0	0.0	0	0
0.030	0.5	5.97	35.82	2.0	0.0	8.19584	0.22880625	16.0	0.0	20.72031	0.57845645	26.0	0.0	29.66636	0.82820659
0.060	1.0	5.94	35.64	29.0	0.0	32.350175	0.9076929	34.0	0.0	36.8232	1.03319865	53.0	0.0	53.820695	1.51012051
0.120	2.0	5.88	35.28	34.0	0.0	36.8232	1.0437415	37.0	0.0	39.507015	1.11981335	63.0	0.1	62.766745	1.77910275
0.180	3.0	5.82	34.92	36.0	0.0	38.61241	1.10573912	43.0	0.0	44.874645	1.28507002	65.0	0.1	64.553955	1.8468141
0.240	4.0	5.76	34.56	39.0	0.0	41.296225	1.19491392	49.0	0.0	50.242275	1.45376953	68.0	0.2	67.23977	1.9455952
0.300	5.0	5.70	34.2	37.0	0.0	39.507015	1.15517588	43.0	0.1	44.874645	1.31212412	73.0	0.2	71.712795	2.09686535
0.360	6.0	5.64	33.84	36.0	0.1	38.61241	1.14102866	43.0	0.1	44.874645	1.32608289	73.0	0.3	71.712795	2.11917243
0.420	7.0	5.58	33.48	32.0	0.1	35.03399	1.04641547	43.0	0.1	44.874645	1.34034185	67.0	0.3	66.345165	1.98163575
0.480	8.0	5.52	33.12	31.0	0.1	34.139385	1.03077853	43.0	0.2	44.874645	1.35491078	63.0	0.3	62.766745	1.89513119
0.540	9.0	5.46	32.76	31.0	0.1	34.139385	1.04210577	39.0	0.2	41.296225	1.26056853	64.0	0.3	63.66135	1.94326465
0.600	10.0	5.40	32.4	30.0	0.1	33.24478	1.02607346	38.0	0.2	40.40162	1.24696358	62.0	0.3	61.87214	1.90963395
0.660	11.0	5.34	32.04	30.0	0.1	33.24478	1.03760237	38.0	0.2	40.40162	1.26097441	62.0	0.3	61.87214	1.93109051
0.780	13.0	5.22	31.32	31.0	0.2	34.139385	1.09001868	35.0	0.2	37.717805	1.20427219	59.0	0.3	59.188325	1.88979326
0.900	15.0	5.10	30.6	30.0	0.2	33.24478	1.08643072	33.0	0.2	35.928595	1.17413709	59.0	0.3	59.188325	1.93425899

Fuente: García, X



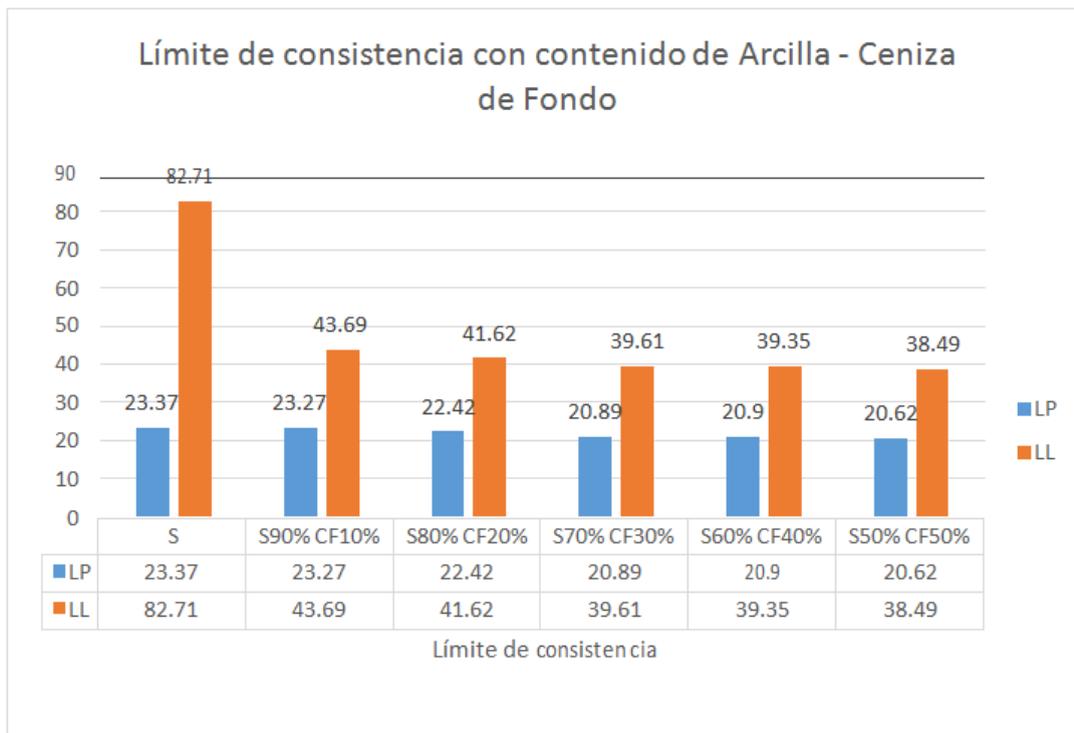
## Anexo 7. Análisis Granulométrico por tamizado de la Tesis 2 (Mamani y Quispe)

### Tabla 19 Análisis Granulométrico por tamizado

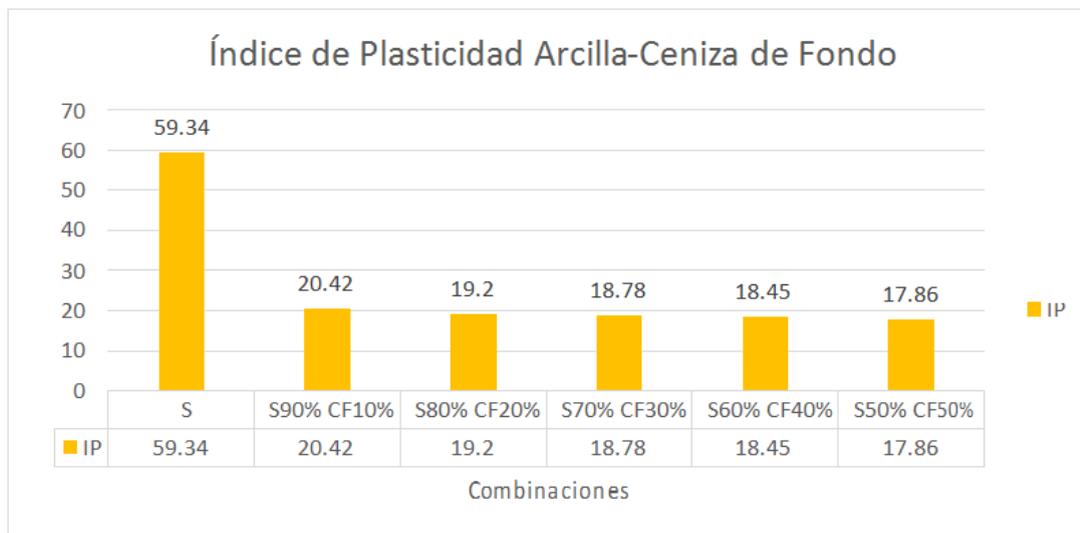
	<b>FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA</b>	
	<b>LAB. DE MATERIALES Y MECÁNICA DE SUELOS</b>	
<b>ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO ASTM D422</b>		
<b>OBRA:</b>	Estabilización de suelos arcillosos aplicando cenizas de madera, producto de las ladrilleras artesanales, en el departamento de Ayacucho	
<b>ELABORADO:</b>	Bach. Yataco Quispe, Alejandro Jesús Bach. Mamani Barriga, Lux Eva	<b>ASESOR:</b> Mg. Ing. Gary, Duran Ramírez
<b>UBICACION:</b>	Huamanga - Ayacucho	<b>COMB:</b> 100%S <b>Nº LAB.:</b> 1

Peso de muestra :	65	gr			
% Pasa Nº 200	59.51	%			
Tamiz		Retenido		Retenido Acumulado	Pasa
(mm)	(pulg)	(gr)	(%)	(%)	(%)
4.760	Nº 4	0.00	0.00	0.00	100.00
2.000	Nº 10	0.00	0.00	0.00	100.00
0.840	Nº 20	1.12	1.72	1.72	98.28
0.425	Nº 40	2.72	4.18	5.91	94.09
0.260	Nº 60	6.47	9.95	15.86	84.14
0.106	Nº 140	10.15	15.62	31.48	68.52
0.075	Nº 200	5.86	9.02	40.49	59.51
Fondo		38.68	59.51	100.00	0.00
Suma		65.00			

**Anexo 8. Límite de Atterberg de la Tesis 2 (Mamani y Quispe)**



*Figura 37 Límite de consistencia*



**Figura 3.5. Variación de Índice de Plasticidad entre arcilla – ceniza de fondo.**

**Fuente:** Elaborado por los autores

*Figura 38 Gráfica de índice de plasticidad*

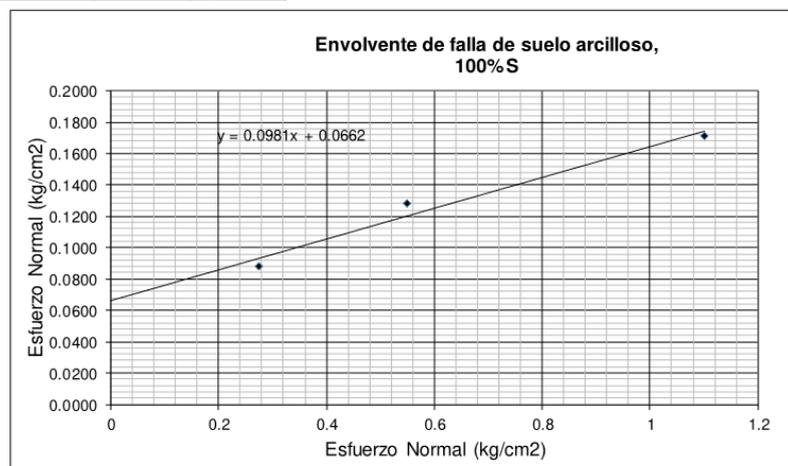
## Anexo 9. Ensayo de Corte Directo de la Tesis 2 (Mamani y Quispe)

**Tabla 20** Toma de datos de laboratorio del ensayo de Corte Directo del suelo natural 100%

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA												
LAB. DE MATERIALES Y MECÁNICA DE SUELOS												
ENSAYO DE CORTE DIRECTO ASTM D3080												
<b>OBRA :</b>		Estabilización de suelos arcillosos aplicando cenizas de madera, producto de las ladrilleras artesanales, en el departamento de Ayacucho										
<b>ELABORADO:</b>		Bach. Yataco Quispe, Alejandro Jesús				<b>ASESOR:</b> Mg. Ing. Gary, Duran Ramírez						
		Bach. Mamani Barriga, Lux Eva										
<b>UBICACIÓN :</b>		Huamanga - Ayacucho				COMB: 100%S			Nº LAB: 1			
<b>CAJA DE CORTE Nº :</b>		62-64-81		<b>LONG :</b> 6 cm		<b>CARGA AXIAL</b>						
<b>ANCHO :</b>		6 cm		<b>ALTURA :</b> 4 cm		9.9						
<b>AREA :</b>		36 cm <sup>2</sup>		<b>VOLUMEN :</b> 144 cm <sup>3</sup>		19.8						
<b>Gs :</b>		2.71		<b>%W :</b> 32.27 %		39.6						
<b>VELOCIDAD :</b>		35 mm/min		<b>FACTOR DE CALIBRACION :</b> 11								
<b>Wm :</b>		119.17 gr										
				i1 0.275 Kg/cm <sup>2</sup>		i2 0.55 Kg/cm <sup>2</sup>		i3 1.1 Kg/cm <sup>2</sup>				
L	D.H	Lc	Área Corregi	L.D (un)	F.C.	U	L.D (un)	F.C.	U	L.D (un)	F.C.	U
mm	cm	cm	cm <sup>2</sup>		Kg	(Kg/cm <sup>2</sup> )		Kg	(Kg/cm <sup>2</sup> )		Kg	(Kg/cm <sup>2</sup> )
0.00	0.000	6.000	36.000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.10	0.010	5.990	35.940	1.4400	1.4400	0.0401	2.8680	2.868	0.0798	3.5950	3.595	0.1000
0.20	0.020	5.980	35.880	2.5000	2.5000	0.0697	3.9280	3.928	0.1095	4.9880	4.988	0.1390
0.30	0.030	5.970	35.820	2.8890	2.8890	0.0807	4.3170	4.317	0.1205	5.6960	5.696	0.1590
0.40	0.040	5.960	35.760	2.9910	2.9910	0.0836	4.4190	4.419	0.1236	6.0020	6.002	0.1678
0.50	0.050	5.950	35.700	3.0940	3.0940	0.0867	4.5220	4.522	0.1267	6.1130	6.113	0.1712
0.60	0.060	5.940	35.640	3.1300	3.1300	0.0878	4.5580	4.558	0.1279	6.1120	6.112	0.1715
0.70	0.070	5.930	35.580	3.1290	3.1290	0.0879	4.5570	4.557	0.1281	6.0630	6.063	0.1704
0.80	0.080	5.920	35.520	3.1090	3.1090	0.0875	4.5370	4.537	0.1277	5.9660	5.966	0.1680
0.90	0.090	5.910	35.460	3.0660	3.0660	0.0865	4.4940	4.494	0.1267	5.8470	5.847	0.1649
1.00	0.100	5.900	35.400	3.0170	3.0170	0.0852	4.4450	4.445	0.1256	5.7200	5.720	0.1616
1.10	0.110	5.890	35.340									
1.20	0.120	5.880	35.280									
1.30	0.130	5.870	35.220									
1.40	0.140	5.860	35.160									
1.50	0.150	5.850	35.100									
1.60	0.160	5.840	35.040									
1.70	0.170	5.830	34.980									
1.80	0.180	5.820	34.920									
1.90	0.190	5.810	34.860									
2.00	0.200	5.800	34.800									

Fuente: Mamani y Quispe

σ	τ	
0.275	0.0879	kg/cm <sup>2</sup>
0.55	0.1281	kg/cm <sup>2</sup>
1.1	0.1715	kg/cm <sup>2</sup>



Fuente: Elaborado por los autores

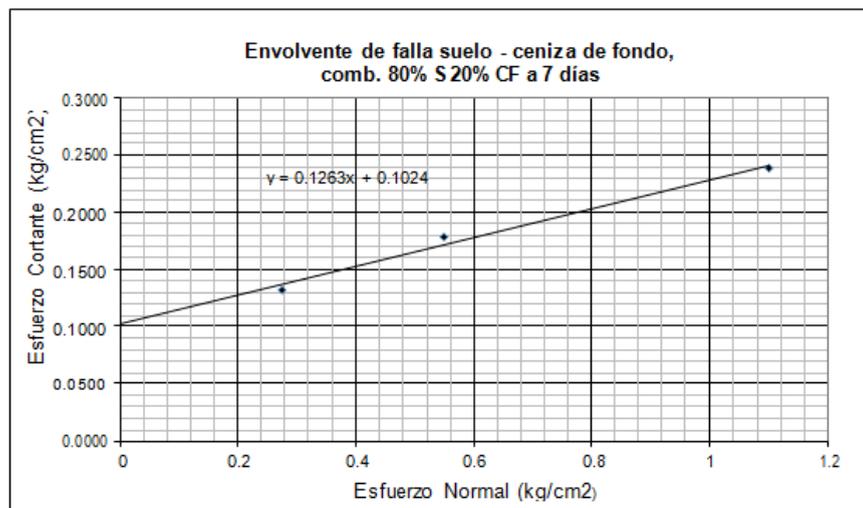
**Tabla 21** Toma de datos de laboratorio del ensayo de Corte Directo del suelo natural 80% + Ceniza de madera 20%

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA												
LAB. DE MATERIALES Y MECÁNICA DE SUELOS												
ENSAYO DE CORTE DIRECTO ASTM D3080												
Estabilización de suelos arcillosos aplicando cenizas de madera, producto de las ladrilleras artesanales en el departamento de Ayacucho												
<b>OBRA:</b>												
<b>ELABORADO:</b> Bach. Yataco Quispe, Alejandro Jesús						<b>ASESOR:</b> Mg. Ing. Gary, Duran Ramirez						
Bach. Mamani Barriga, Lux Eva												
<b>UBICACION:</b> Huamanga - Ayacucho			<b>COMB:</b> 80%S 20%CF a 7 días			<b>Nº LAB :</b> 1						
<b>CAJA DE CORTE Nº :</b>		62-64-81		<b>LONG :</b>		6 cm		<b>CARGA AXIAL</b>				
<b>ANCHO :</b>		6 cm		<b>ALTURA :</b>		4 cm		9.9				
<b>AREA :</b>		36 cm <sup>2</sup>		<b>VOLUMEN :</b>		144 cm <sup>3</sup>		19.8				
<b>Gs :</b>		2.73		<b>%W :</b>		29.31 %		39.6				
<b>VELOCIDAD :</b>		35 mm/min		<b>FACTOR DE CALIBRACION :</b>				11				
<b>Wm :</b>		122.71 gr										
				i1 0.275 Kg/cm2			i2 0.55 Kg/cm2			i3 1.1 Kg/cm2		
L	D.H	Lc	Área Corregi	L.D (un)	F.C.	U	L.D (un)	F.C.	U	L.D (un)	F.C.	U
mm	cm		AC=61.c (cm <sup>2</sup> )		Kn	(Kg/cm <sup>2</sup> )		Kn	(Kg/cm <sup>2</sup> )		Kn	(Kg/cm <sup>2</sup> )
0.00	0.000	6.000	36.000	0.0000	0.0000	0.0000	0.000	0.000	0.0000	0.000	0.000	0.0000
0.10	0.010	5.990	35.940	2.1150	2.1150	0.0588	3.006	3.006	0.0836	3.853	3.853	0.1072
0.20	0.020	5.980	35.880	2.6720	2.6720	0.0745	4.145	4.145	0.1155	5.248	5.248	0.1463
0.30	0.030	5.970	35.820	2.9920	2.9920	0.0835	4.758	4.758	0.1328	6.328	6.328	0.1767
0.40	0.040	5.960	35.760	3.2420	3.2420	0.0907	5.162	5.162	0.1444	6.991	6.991	0.1955
0.50	0.050	5.950	35.700	3.5070	3.5070	0.0982	5.502	5.502	0.1541	7.604	7.604	0.2130
0.60	0.060	5.940	35.640	3.7650	3.7650	0.1056	5.803	5.803	0.1628	7.941	7.941	0.2228
0.70	0.070	5.930	35.580	4.0150	4.0150	0.1128	6.017	6.017	0.1691	8.293	8.293	0.2331
0.80	0.080	5.920	35.520	4.2370	4.2370	0.1193	6.154	6.154	0.1733	8.487	8.487	0.2389
0.90	0.090	5.910	35.460	4.4220	4.4220	0.1247	6.245	6.245	0.1761	8.456	8.456	0.2385
1.00	0.100	5.900	35.400	4.5540	4.5540	0.1286	6.297	6.297	0.1779	8.413	8.413	0.2377
1.10	0.110	5.890	35.340	4.6370	4.6370	0.1312	6.320	6.320	0.179	8.353	8.353	0.2364
1.20	0.120	5.880	35.280	4.6710	4.6710	0.1324	6.310	6.310	0.179	8.293	8.293	0.2351
1.30	0.130	5.870	35.220	4.6550	4.6550	0.1322	6.275	6.275	0.178	8.173	8.173	0.2321
1.40	0.140	5.860	35.160									
1.50	0.150	5.850	35.100									
1.60	0.160	5.840	35.040									
1.70	0.170	5.830	34.980									
1.80	0.180	5.820	34.920									
1.90	0.190	5.810	34.860									
2.00	0.200	5.800	34.800									

Fuente: Mamani y Quispe

(ARCILLA 80% - CENIZA 20%)- FALLA

i	U	
0.275	0.1324	kg/cm <sup>2</sup>
0.55	0.1789	kg/cm <sup>2</sup>
1.1	0.2389	kg/cm <sup>2</sup>



Fuente: Elaborado por los autores

## Anexo 10. Discusión 1 y 2 del ángulo de fricción y cohesión

**Tabla 4.4**  
Comparativo de la mejora resultante de los parámetros de resistencia al corte de suelos arcillosos con adición de fibras de PET

%ADICIÓN	COHESIÓN (C)	ANGULO DE FRICCIÓN INTERNA (Ø)
0.0%	84.582	15.587
0.3%	102.789	22.656
MEJORA	18.207	7.069
MEJORA (%)	21.53%	45.35%
0.0%	84.582	15.587
0.6%	103.429	22.903
MEJORA	18.847	7.315
MEJORA (%)	22.28%	46.93%
0.0%	84.582	15.587
0.9%	85.955	25.975
MEJORA	-0.627	10.388
MEJORA (%)	-0.74%	66.64%
0.0%	84.582	15.587
1.2%	81.97	26.924
MEJORA	-2.612	11.337
MEJORA (%)	-3.08%	72.73%
0.0%	84.582	15.587
1.5%	26.770	11.183
MEJORA	-57.812	71.75%
MEJORA (%)	-68.22%	458.7%

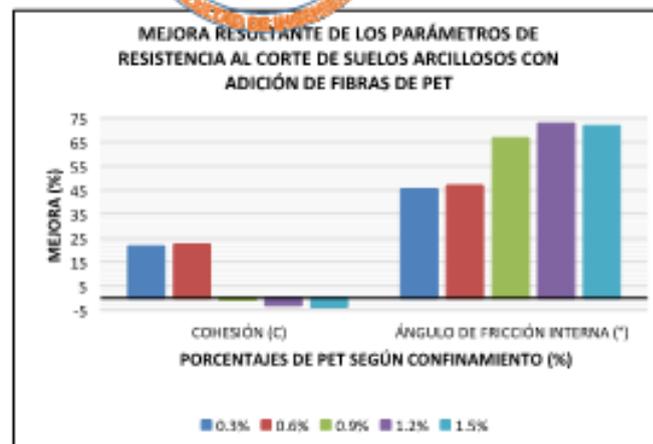


Figura 4.7 Gráfica comparativa de las mejoras obtenidas de los parámetros de resistencia al corte de suelos arcillosos con adición de fibras de PET.  
Fuente: (Elaboración propia)

## Anexo 11. Discusión 3 Resistencia al esfuerzo cortante

Civil Engineering and Urban Planning: An International Journal (CiVEJ) Vol.1, No.1, June 2014

The laboratory programme consisted of 100 direct shear tests undertaken on composite samples of Cape Flats sand and Klipheuwel sand mixed with plastic strips. The strips were added at lengths of 15 mm, 30 mm, 45 mm, widths of 6 mm, 12 mm, 18 mm and concentrations of 0.1%, 0.2%, 0.3% by weight and each sample compacted into the shear box in 3 layers before testing. For the perforated strips, the widths were kept constant at 6mm and the perforation diameters of 1mm and 2mm. For the perforated strips, the widths were kept constant at 6mm and the perforation diameters of 1mm and 2mm. The tests in the study were all conducted according to the British Standard, BS 1377: Part 7: 1990, under normal pressures of 25 kPa, 50 kPa and 100 kPa at a strain rate of 1.2 mm/min applied using a drive unit, shearing the specimen horizontally until failure occurred. The resistance of the sample against the displacement was monitored using the proving ring from which the test data was read off and the peak stress recorded at the point when the value reached the maximum shear load. A plot of the shear load versus displacement was generated from the test data obtained.

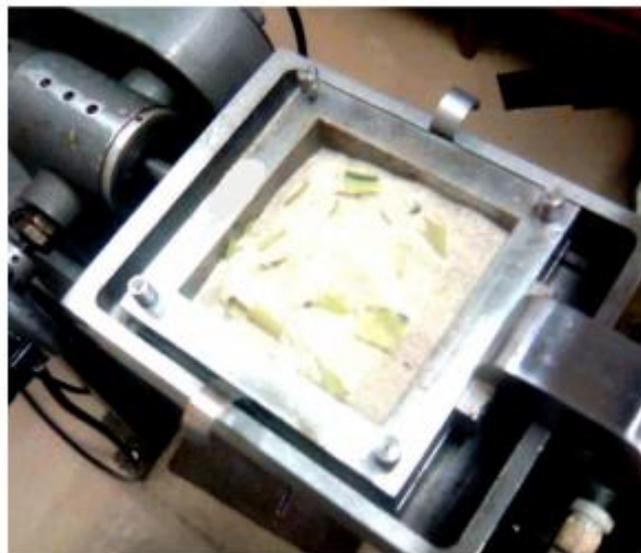


Figure 7: Soil-plastic composite sample placed in shear box for strength testing

Peak shear stresses from each test were obtained for the respective applied normal stresses and the values plotted against the normal stresses to determine the angles of internal friction from the failure envelope for each composite specimen. The response of the soils reinforced with perforated strips was compared with soil mixed with solid strips. For assurance of repeatability, three similar soil-plastic composites were prepared, subjected to a normal pressure of 100 kPa and the results of the compared for consistency. The average peak stress from the three experiments obtained was  $92.5\text{kN/m}^3$  with a deviation of approximately  $1.54\text{kN/m}^3$ . The three

Fuente: Chebet & Kalumba