

Experimental Study of the Mechanical Properties of a silty sand with recycled PET

Sandra Paredes, Bachiller¹, Jorge Ramirez, Bachiller², Gary Durán, Magister³
^{1,2,3}Ingeniería Civil, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Perú
1u201216369@upc.edu.pe, 2u201321235@upc.edu.pe, 3gary.duran@upc.edu.pe

Abstract— The global production of PET (Polyethylene Terephthalate) has been increasing in the last 50 years, however, in the last 10 years the production of plastic has increased exponentially, making the reuse of this material a worldwide challenge. This article presents the analysis of the mechanical properties of silty sand with the addition of recycled PET in percentages of 1%, 2%, 3%, 4% and 5%; for this, Granulometry, Atterberg limit, specific gravity, modified proctor and shear direct tests were performed in order to analyze the behavior of the mentioned mixtures. Experimental results showed an increase in shear strength with the addition of 3% PET.

Keywords—Silty sand, PET, shear direct test, shear strength, mechanical properties.

Digital Object Identifier (DOI):
<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2020.1.1.379>
ISBN: 978-958-52071-4-1 ISSN: 2414-6390

Estudio experimental de las propiedades mecánicas de una arena limosa con PET reciclado

Sandra Paredes, Bachiller¹, Jorge Ramirez, Bachiller², Gary Durán, Magister³

^{1,2,3}Ingeniería Civil, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Perú

¹u201216369@upc.edu.pe, ²u201321235@upc.edu.pe, ³gary.duran@upc.edu.pe

Resumen— La producción global del PET (Tereftalato de polietileno), viene aumentando en los últimos 50 años, sin embargo, en los últimos 10 años la producción de plástico se ha incrementado de una manera exponencial, siendo un desafío a nivel mundial la reutilización de este material. Este artículo presenta el análisis de las propiedades mecánicas de una arena limosa con la adición de PET reciclado en porcentajes de 1%, 2%, 3%, 4% y 5%; para ello se realizaron ensayos de granulometría, límite de Atterberg, gravedad específica, proctor modificado y corte directo, con el fin de analizar el comportamiento de las mezclas mencionadas. Los resultados experimentales mostraron un aumento en la resistencia al corte con la adición de PET del 3%.

Palabras clave—Arena limosa, PET, ensayo corte directo, resistencia al corte, propiedades mecánicas.

Abstract— The global production of PET (Polyethylene Terephthalate) has been increasing in the last 50 years, however, in the last 10 years the production of plastic has increased exponentially, making the reuse of this material a worldwide challenge. This article presents the analysis of the mechanical properties of silty sand with the addition of recycled PET in percentages of 1%, 2%, 3%, 4% and 5%; for this, Granulometry, Atterberg limit, specific gravity, modified proctor and shear direct tests were performed in order to analyze the behavior of the mentioned mixtures. Experimental results showed an increase in shear strength with the addition of 3% PET.

Keywords—Silty sand, PET, shear direct test, shear strength, mechanical properties.

I. INTRODUCCIÓN

El crecimiento de la población ha generado la necesidad de nuevas infraestructuras de obras civiles. En ocasiones, las propiedades mecánicas del suelo de la zona no cumplen con las especificaciones del proyecto, buscando así alternativas como el reemplazo de material o mejoramiento del suelo. Simultáneamente, el deterioro ambiental que actualmente viene ocurriendo a causa del consumo masivo de productos descartables elaborados con plástico (producto que se descompone en una media de 1000 años, y que está compuesto principalmente Tereftalato de polietileno), conlleva a buscar un segundo uso de este material, contribuyendo de esta manera a la reducción de la contaminación que viene afectando al agua, animales y personas [1]. Sin embargo, están surgiendo emprendimientos para darle un uso alternativo a diversos residuos, a través de investigaciones sobre el comportamiento de suelos con adición de cenizas, fibras naturales, materiales reciclados como caucho y PET, con la finalidad de obtener un valor y un destino ambientalmente adecuado.

Digital Object Identifier (DOI):

<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2020.1.1.379>

ISBN: 978-958-52071-4-1 ISSN: 2414-6390

En diferentes investigaciones se han utilizado caucho molido proveniente de neumáticos inservibles. Suelos arenosos y arcillosos fueron evaluados a través de ensayos de corte directo y triaxiales, dando como resultado una mejora en sus propiedades de resistencia y rigidez [2], [3].

El uso de PET también viene siendo estudiado por ejemplo, en el mezclado de asfaltos en caliente para ladrillos donde se indica que la mezcla de arcilla y PET se complementan muy bien, logrando resistencia máxima al polímero, reducción del peso específico, mejora de la conductividad térmica, resistencia acústica, resistencia mecánica, resistencia al fuego, y el comportamiento a la intemperie. Asimismo, para el concreto los porcentajes aplicados de PET en un 5%, 10% y 15%, demostraron que al determinar un 5% de PET en la mezcla logra mejorar la resistencia a la tracción en comparación al mortero tradicional [4]. Otra investigación señala que el efecto de la adición de fibras naturales y sintéticas en los parámetros mecánicos y el comportamiento de los materiales suelo-cemento es resistente a la erosión y, a la vez, permeable [5].

El refuerzo de la fibra de PET incrementa la resistencia pico de la rotura de los suelos cementados y no cementados, sin cambiar la rigidez inicial del suelo, por lo que en ensayos triaxiales no consolidadas no drenadas realizados en especímenes de suelo limoso con contenidos de fibra PET de 0,0 – 1,0% con relación al peso seco del suelo, indicaron que las muestras reforzadas presentan un aumento en la resistencia al corte que se asocia con el incremento de cantidades de fibra PET. [6].

Estudios experimentales con suelo arcilloso y proporciones de residuos de PET (0%, 0.5%, 1.0%, 1.5% y 3.0% en peso seco), mediante ensayos triaxiales consolidados no drenados y edométricos, determinaron que al adicionar valores que excedan el 1% de PET (Tereftalato de polietileno), varía el comportamiento no drenado de las muestras (de contracción a dilatación), lo cual depende de los valores de la densidad inicial, flexibilidad plástica y presión de confinamiento; además, mejora la resistencia al corte y reduce la comprensibilidad de la arcilla. Con 1.5% y 3%, se determinó que es más fuerte que la arcilla simple, y que para mezclas mayores al 1.5% dificulta la distribución uniforme del suelo[7]. Otra investigación, sobre las características del suelo mejorado con PET en pruebas geotécnicas se empleó suelo arcilloso con gránulos finos y gruesos de botellas de PET, cuyos resultados obtenidos en la prueba de compactación indicaron que las densidades secas óptimas con mezcla PET son menores que la densidad seca óptima de los suelos típicos (suelo arcilloso), luego se correlacionaron con la mezcla suelo-PET donde los valores de la velocidad de las ondas P y el porcentaje de mezclas

de PET varían sus coeficientes entre 0.93 y 0.73. Finalmente, en esta investigación se muestra un gran potencial para usar la mezcla de PET de desecho como material de relleno liviano [8].

Asimismo, se analizó el comportamiento mecánico de un suelo limoso que fue reforzado con PET en fibras. Los ensayos triaxiales UU se realizaron en muestras con un contenido de 0,0 y 1,0% del peso seco del suelo. Se concluyó que las muestras reforzadas presentan un incremento de resistencia al corte que fue asociada con las cantidades crecientes del PET en la mezcla y que el suelo reforzado tiene una mayor capacidad de deformación y, en algunos casos puede ser una característica positiva. Debido a la capacidad de deformación podría minimizar el riesgo de formación de grietas en ciertas capas de suelo para algunos problemas geotécnicos. Presenta, también, propiedades mecánicas atractivas y pueden ser usadas en estructuras que soliciten altas capacidades de deformación como depósitos de tratamiento de aguas residuales, vertederos y presas, de esta manera se omiten fallas por agrietamientos y fugas de agua contaminantes [9].

Una investigación experimental en Brasil del PET, buscó eliminar adecuadamente este polímero, evaluando el comportamiento mecánico del suelo arcilloso mezclado con PET triturado. Mediante ensayos de compresión triaxial drenados, se analizó la respuesta esfuerzo-deformación, cuyos resultados fueron, en la primera mezcla (suelo 90% y 10% PET) la mejora del suelo, mostrando con el tiempo el aumento del esfuerzo desviador en la falla de 31.33% y 13.7% bajo una presión de confinamiento de 150 kPa y 300 kPa, respectivamente. La segunda mezcla (suelo 80% y 20%PET) mostró una pequeña mejora de la resistencia. Cuando la presión confinada era de 150 kPa, el esfuerzo desviador al fallar aumentaba 10.1%, y cuando la presión confinada era de 300 kPa, el aumento fue de 9.6% [10].

Se analizaron pruebas de presión no confinada y pruebas de compresión triaxial drenadas saturadas, para evaluar el beneficio de la fibra PET, solas y combinadas con cemento Portland de endurecimiento rápido con el fin de mejorar el comportamiento de una arena fina y uniforme. El impacto separado y en conjunto del contenido de fibra hasta 0.9% en peso y con una longitud de fibra de 36 mm, contenido de cemento de 0 a 7% en peso, y tensión efectiva media inicial de 20, 60 y 100 kN/m². Los resultados mostraron que el refuerzo de fibra PET mejoró la resistencia máxima del suelo cementado y no cementado y se redujo mínimamente la fragilidad de la arena cementada. [11].

Mezclas de arcilla de alta plasticidad (CH) y PET (0.5%, 1.0%, 2.5% y 3.5% en relación al peso seco) fueron estudiadas a partir de los resultados de ensayos de corte directo. Se determinó que la mezcla con 1% de PET proporcionó un mejor comportamiento mecánico comparado con el suelo puro y las otras muestras ensayadas [12]

Por todo lo expuesto, este artículo se centra en analizar el comportamiento geotécnico de una arena limosa, con la inserción del PET reciclado en porcentajes de 1%, 2%, 3%, 4% y 5% mediante ensayos de granulometría, límite de Atterberg,

gravedad específica tanto al suelo como al PET; ensayos de Proctor Estándar y Corte Directo para todas las mezclas, con la finalidad de esblecer aquella mezcla que proporciona mejoras en el comportamiento mecánico.

II. MATERIALES

A. Suelo

Para este análisis se tomó muestras del suelo del distrito de Chorrillos, departamento de Lima, Perú. Este sector se caracteriza por la presencia de limos arenosos de plasticidad media, mediante compactos seguido por estratos de arenas limosas y arenas mal graduadas, medianamente densas y en estado saturado. En el área norte, adyacente a los pantanos se encuentran estratos de arcillas limosas de baja plasticidad (CL); le siguen arcillas OH y arcillas limosas CH de alta plasticidad de consistencia blanda y saturada. El nivel freático se encontró a 1.10 m. La geomorfología del área de estudio menciona que presenta suelos arenosos con una capa de relleno de 1.00 m aproximadamente y de regular pendiente. La zona está formada por depósitos aluviales, en su mayoría suelos de granulometría fina conformado por arenas y arcillas arenosas, mientras que los cerros son producto de procesos tectónicos y plutónicos, dando lugar a la formación de mantos rocosos, sobre impuestos por los procesos de geodinámica interna y externa que han modelado la geología en esta zona [13]. La muestra de suelo se clasifica como una arena limosa pobremente graduada (SP-SM), no presenta plasticidad y límite de consistencia. Este material fue extraído del distrito de Chorrillos, departamento de Lima en Perú, con una granulometría por tamizado con un porcentaje que representa al 89.1 % de arenas y 10.9% de su peso.

B. Tereftalato de Polietileno (PET)

Es un polímero termoplástico cristalino para fibra que fue desarrollado durante la segunda guerra mundial en 1941 por J.R Whinfield y J.T Dickson para reemplazar la materia prima que se usaba en la textilería (algodón) por la fibra de poliéster. Ya en inicios de 1980 se empieza utilizar masivamente en la fabricación de envases que es aceptado tanto por los consumidores y los productores, y que han aumentado de manera considerable año tras año [14].

Las características más importantes del PET es la compatibilidad con otros materiales que mejoran en su conjunto la calidad; es cristalino y admite cargas de colorantes, y también es reciclable; disminuye su viscosidad en función de su historia térmica; es liviano, es decir, 20 veces menos que su contenido, y su biodegradación es muy lenta ya que tiene alta resistencia química y propiedades térmicas; además tiene una gran indeformabilidad al calor, alta resistencia al desgaste y corrosión, y a su vez es impermeable. Es resistente a esfuerzos permanentes y al desgaste, posee alta rigidez y dureza, elevada resistencia a la fluencia y elevada resistencia a sustancias químicas.

Para esta investigación, el suelo de arena limosa se mezcló con la inserción del PET reciclado en porcentajes de 1%, 2%, 3%, 4% y 5%, respecto al peso seco del suelo.

III. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Para conocer las características físicas a las muestras con porcentajes de 0%, 1%, 2%, 3%, 4% y 5% de PET, con respecto al peso seco del suelo, donde se trabajó únicamente mezclas pasantes por la malla #4, se realizaron ensayos de granulometría por tamizado (SUCS) para determinar el contenido de finos del suelo. A continuación, en la tabla I se muestra las nomenclaturas empleada para cada mezcla.

TABLA I
Nomenclaturas de mezclas

Nomenclatura	Suelo	Porcentaje de PET
Suelo + 0% PET	100%	0%
Suelo + 1% PET	99%	1%
Suelo + 2% PET	98%	2%
Suelo + 3% PET	97%	3%
Suelo + 4% PET	96%	4%
Suelo + 5% PET	95%	5%

Para obtener las propiedades mecánicas del suelo, se realizó ensayos de límite de Atterberg (ASTM D4318), gravedad específica (ASTM D854) tanto al suelo como al PET, ensayos de Proctor Estándar (ASTM D698) y Corte Directo (ASTM D3080) para todas las mezclas. Finalmente se concluyó cuál es el porcentaje recomendable para la mejora de las propiedades mecánicas de la arena limosa.

IV. ANÁLISIS Y RESULTADOS

A. Ensayo de Granulometría por Tamizado (ASTM D422)

En este ensayo se analizó el tamaño de las partículas para luego ser clasificados según su tamaño y tipo de suelo mediante el sistema SUCS.

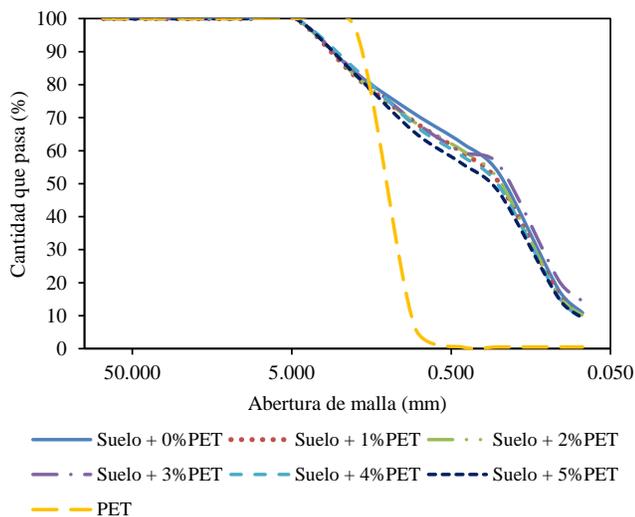


Fig. 1: Curva granulométrica de suelo, mezclas y PET.

Se observa que la curva granulométrica del suelo puro (suelo + 0%PET) es similar a las curvas granulométricas de las

mezclas, verificándose variación a partir del 80% de acumulado pasante.

B. Límites de Atterberg (ASTM D4318)

Los resultados de los ensayos indican que para el suelo + 1% PET, suelo + 2% PET, suelo + 3% PET, suelo + 4% PET, suelo + 5% PET, no presentan límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad. En base a estos resultados, se analizó las variaciones físicas respecto a diferentes porcentajes de adición de 1%, 2%, 3%, 4% y 5% de PET.

C. Proctor Modificado

Los resultados del ensayo de compactación se presentan en la Tabla II y la Figura 2 indicando la variación de la densidad seca máxima y del contenido de humedad óptimo al incrementar los porcentajes de PET del 0% al 5%.

TABLA II
Máxima Densidad Seca del suelo con PET

PET (%)	Máxima Densidad Seca (gr/cm ³)	Óptimo contenido de humedad (%)
Suelo + 0% PET	2.094	9.08
Suelo + 1% PET	2.050	9.11
Suelo + 2% PET	2.058	9.12
Suelo + 3% PET	2.045	9.35
Suelo + 4% PET	2.017	9.07
Suelo + 5% PET	1.997	9.61

Para mezclas menores e iguales de suelo + 2% PET, la densidad llega alcanzar un valor de 2.058 gr/cm³ de la máxima densidad seca; sin embargo, para mezclas de 3%, 4% y 5% la tendencia comenzó a disminuir hasta 1.997 gr/cm³. Asimismo, el contenido óptimo de humedad se incrementó hasta el 3% del PET alcanzando hasta un 9.35% de contenido de humedad, pero al incrementar un 4% de PET el óptimo contenido de humedad disminuye a 9.07%. Finalmente, en un 5% de PET, el contenido óptimo de humedad aumenta a 9.61%.

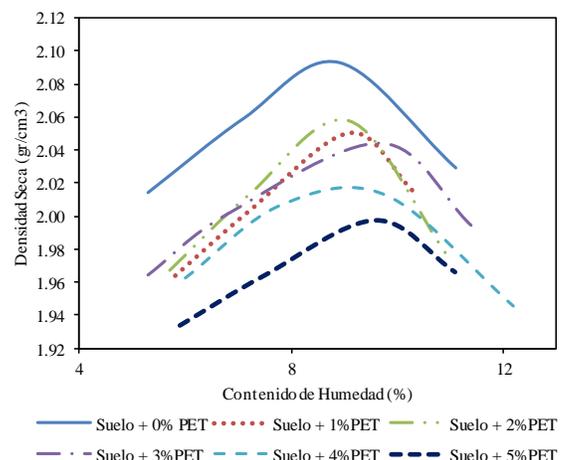


Fig. 2 Curva de compactación del suelo, mezclas y PET.

D. Corte Directo

Con este método de prueba se determinó la resistencia bajo condiciones consolidadas y drenadas, el objetivo fue obtener la resistencia máxima al corte con el incremento del PET en porcentajes de 1%, 2%, 3%, 4% y 5%. Los resultados se muestran en la tabla III, en donde un aumento del ángulo de fricción de 33.7°, valor que corresponde al suelo puro a un mayor valor de 35° que corresponde a la mezcla del suelo con 3% PET. La cohesión llegó hasta 5.6 kg/cm² como resultado de la mezcla del suelo + 3% PET en comparación con la arena limosa pura que arrojó un valor de 1.2 kg/cm². Sin embargo, a partir de la mezcla suelo + 4% PET se observa una disminución del ángulo de fricción de 34.8° hasta 34.5° valor que corresponde a la mezcla del suelo + 5% PET y la cohesión mostró un valor de 4.1 kg/cm², para la mezcla de suelo + el 4% PET y 3.5 kg/cm² para la mezcla de suelo + 5% PET.

Tabla III
ÁNGULO DE FRICCIÓN Y COHESIÓN

PET (%)	Angulo de fricción interna (Φ)	Cohesión (c) kg/cm ²
Suelo + 0% PET	33.7	1.2
Suelo + 1% PET	34.1	2.9
Suelo + 2% PET	34.6	4.4
Suelo + 3% PET	35	5.6
Suelo + 4%PET	34.8	4.1
Suelo + 5% PET	34.5	3.5

Asimismo, se realizó un análisis de cada mezcla, tomando en cuenta su grado de contracción (positivo) y expansión (negativo) sometidas a un esfuerzo normal y cortante (ver figuras 4b, 5b, 6b, 7b y 8b).

En las figuras 3(a) y 3(b) muestran las gráficas de la arena limosa (Suelo + 0% PET), resultantes del ensayo de corte directo para 50kPa, 100kPa y 200 kPa de esfuerzo de confinamiento vertical.

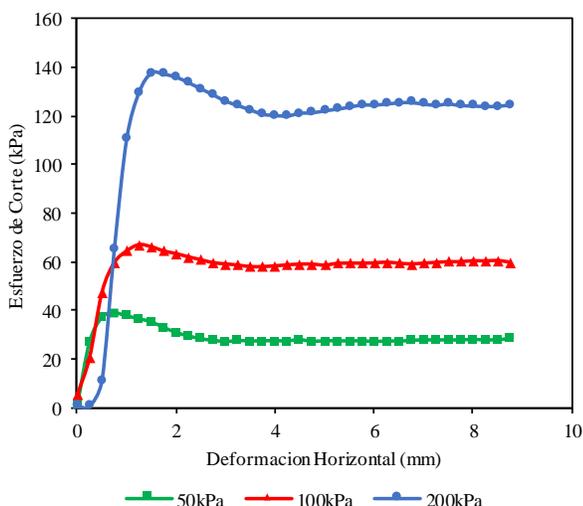


Fig. 3(a) Ensayo de corte directo (Suelo + 0% PET)
Esfuerzo cortante vs Desplazamiento Horizontal.

En la figura 3(b), se muestra una ligera contracción en los especímenes y luego se expanden.

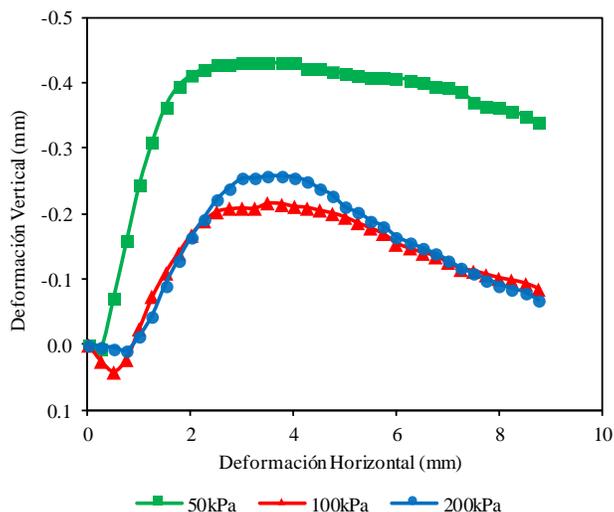


Fig. 3(b) Variación volumétrica del suelo (Suelo + 0% PET)
Desplazamiento vertical vs desplazamiento horizontal

La Figura 4a, 5a, 6a, 7a y 8a, se ve la relación del esfuerzo cortante respecto al desplazamiento horizontal con la adición del PET al 1%, 2% y 3%, 4% y 5% respectivamente. La adición del PET en el suelo de arena limosa causó un incremento en la resistencia al corte ante el incremento de un esfuerzo normal, el cual llegó hasta un desplazamiento de 8.75 mm para los 5 casos.

La mezcla con adición de 3% de PET mostró una máxima resistencia al corte en comparación con los porcentajes de 1%, 2%, 4% y 5% de PET.

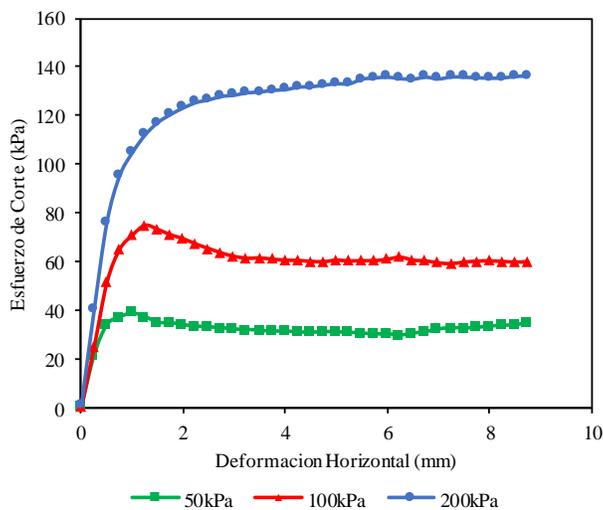


Fig. 4(a) Ensayo de corte directo (Suelo + 1% PET).
Esfuerzo cortante vs Desplazamiento Horizontal.

En las figuras 4b, 5b, 6b, 7b, 8b, se observa la relación de la deformación horizontal con la deformación vertical del PET al 1%, 2% y 3%, 4% y 5% respectivamente. Todas las mezclas, a excepción de la muestra 200kPa del Suelo + 1% PET, al inicio la tendencia es ligeramente de contracción, luego su comportamiento es únicamente de expansión frente a los esfuerzos aplicados.

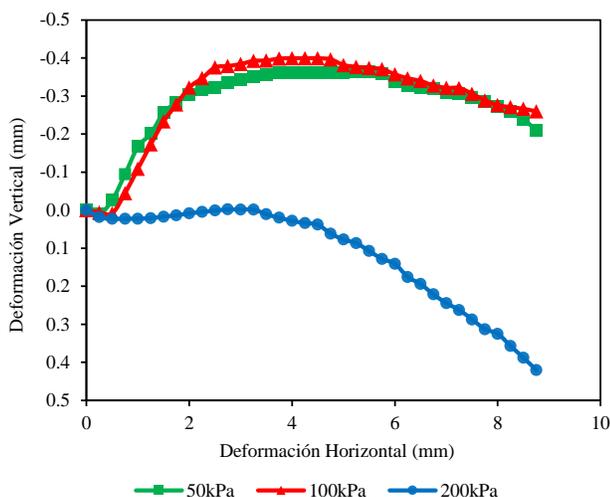


Fig. 4(b) Variación volumétrica del suelo (Suelo + 1% PET).
Desplazamiento vertical vs desplazamiento horizontal

En la Fig. 4(b), podemos observar que la muestra 200kPa del Suelo + 1% PET es la única que tiende a contraerse desde el inicio hasta el final en comparación con los otros especímenes (suelo + 0% PET, suelo + 2% PET, suelo + suelo + 3% PET, suelo + 4% y suelo + 5% PET).

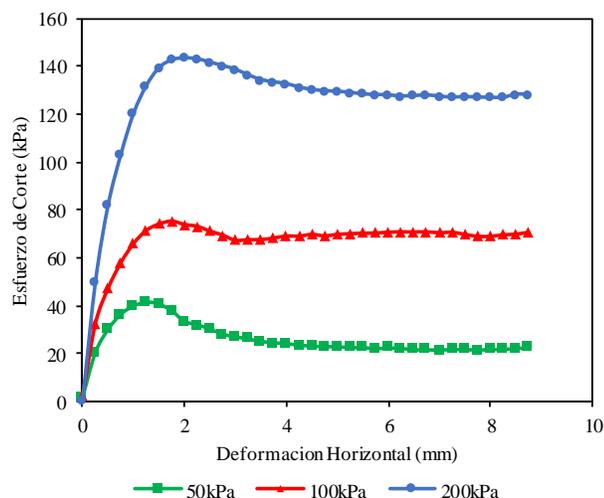


Fig. 5(a) Ensayo de corte directo (Suelo + 2% PET).
Esfuerzo cortante vs Desplazamiento Horizontal.

En la Fig. 5(a) y Fig. 5(b), se grafica los resultados obtenidos de la muestra de Suelo + 2% PET. Podemos observar que en comparación con la muestra original (Suelo + 0% PET) no existe un incremento significativo con respecto al esfuerzo de corte; además, podemos apreciar que las tres muestras de suelo (50kPa, 100kPa y 200kPa), tanto de la muestra original como la del suelo + 2% PET, se encuentran sometidas a expansión. Sin embargo, con relación a la deformación vertical podemos ver que la mezcla de suelo + 2% PET posee la propiedad de deformarse más que la muestra de suelo original.

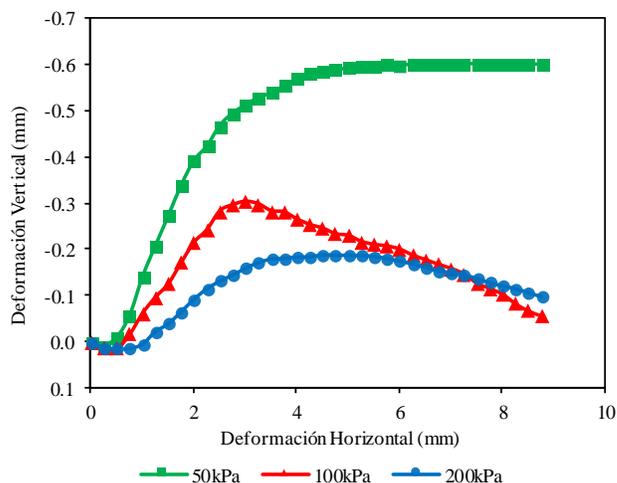


Fig. 5(b) Variación volumétrica del suelo (Suelo + 2% PET).
Desplazamiento vertical vs desplazamiento horizontal.

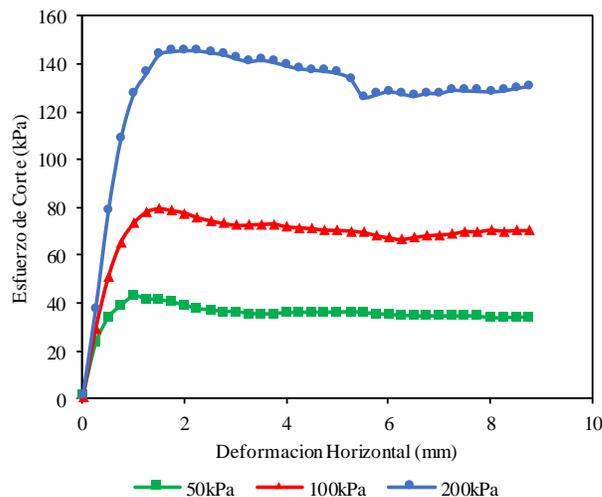


Fig. 6(a) Ensayo de corte directo (Suelo + 3% PET).
Esfuerzo cortante vs Desplazamiento Horizontal.

En la Fig. 6(a) y Fig. 6(b), se grafica los resultados obtenidos de la muestra de Suelo + 3% PET. Podemos observar que en comparación con la muestra original (Suelo + 0% PET)

existe un pequeño incremento respecto al esfuerzo de corte; además, podemos apreciar que las tres muestras de suelo, tanto de la muestra original como la del suelo + 3% PET, se encuentran sometidas a expansión. Sin embargo, con relación a la deformación vertical podemos ver que la muestra de suelo + 3% PET posee la propiedad de deformarse más que la del suelo original.

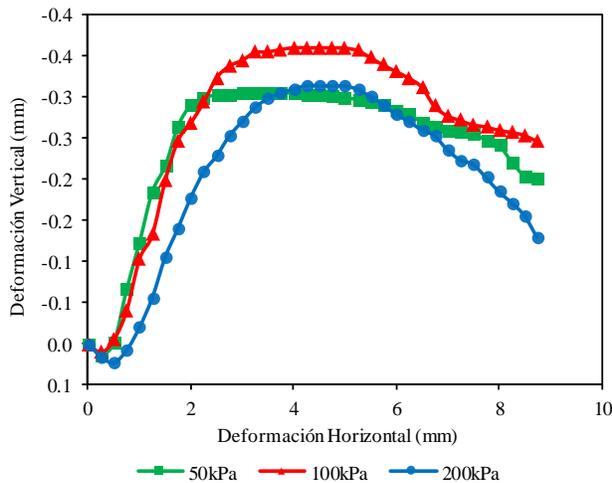


Fig. 6(a) Variación volumétrica del suelo (Suelo + 3% PET). Desplazamiento vertical vs desplazamiento horizontal

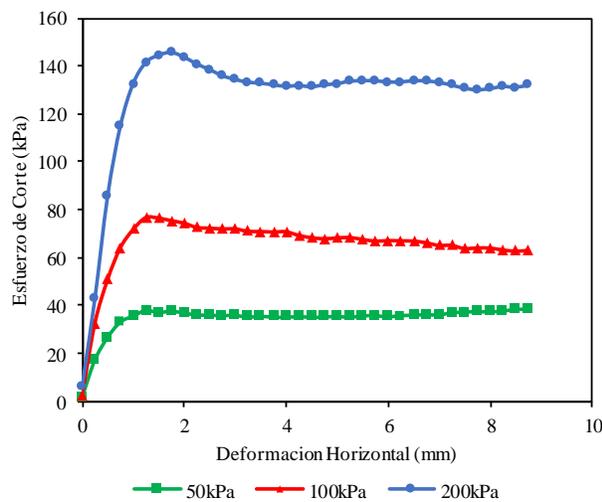


Fig. 7(a) Ensayo de corte directo (Suelo + 4% PET). Esfuerzo cortante vs Desplazamiento Horizontal.

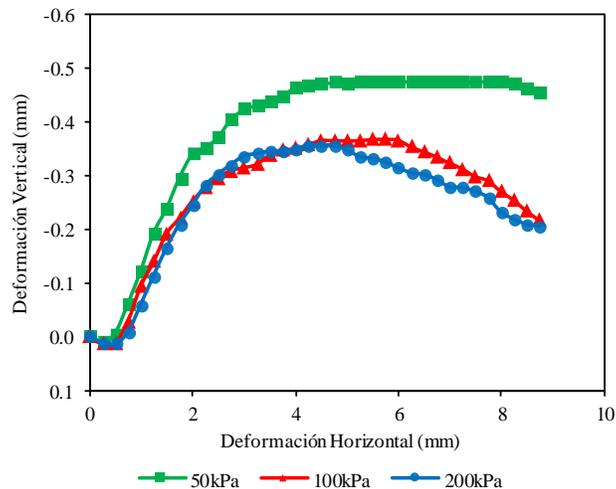


Fig. 7(b) Variación volumétrica del suelo (Suelo + 4% PET). Desplazamiento vertical vs desplazamiento horizontal

En la Fig. 8(a) Suelo + 5% PET, podemos observar que en comparación con la muestra Suelo + 4% PET, existe un pequeño decremento del esfuerzo de corte; además, podemos apreciar que todas las muestras se encuentran sometidas a expansión.

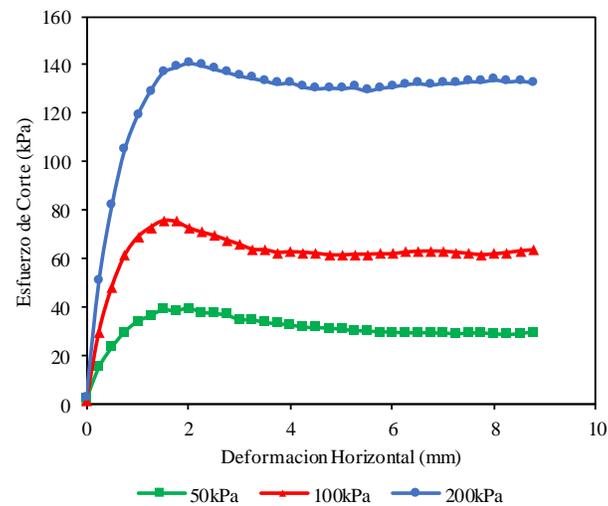


Fig. 8(a) Ensayo de corte directo (Suelo + 5% PET). Esfuerzo cortante vs Desplazamiento Horizontal.

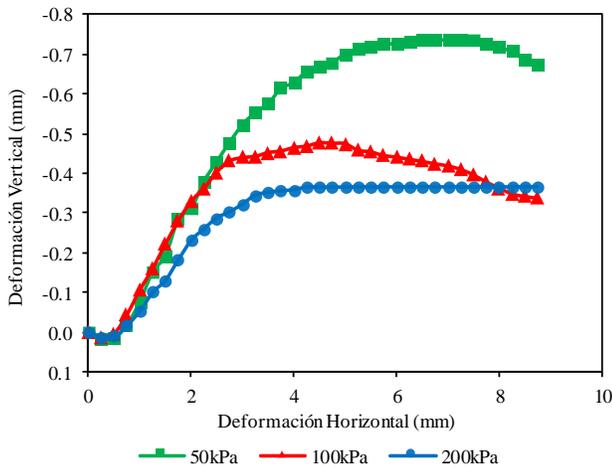


Fig. 8(b) Variación volumétrica del suelo (Suelo + 5% PET).
Desplazamiento vertical vs desplazamiento horizontal

La Fig. 9, presenta la variación de la cohesión en función del nivel de desplazamiento horizontal durante el ensayo de corte directo. Con relación a la arena limosa, se aprecia cohesión de hasta 11 kPa para desplazamiento horizontal menor a 2mm, esto se debe al comportamiento contractivo que genera una cohesión ficticia resultado del reacomodo de las partículas. Posterior a 2 mm de deformación horizontal la cohesión es 1.2 kPa. Este mismo comportamiento presenta las mezclas 1%, 2% y 5%, salvo las que poseen 3% y 4% de PET. Para deformaciones horizontales mayores la cohesión de la mezcla con 3% de PET es mayor que la del suelo puro y la mezcla con 4% de PET.

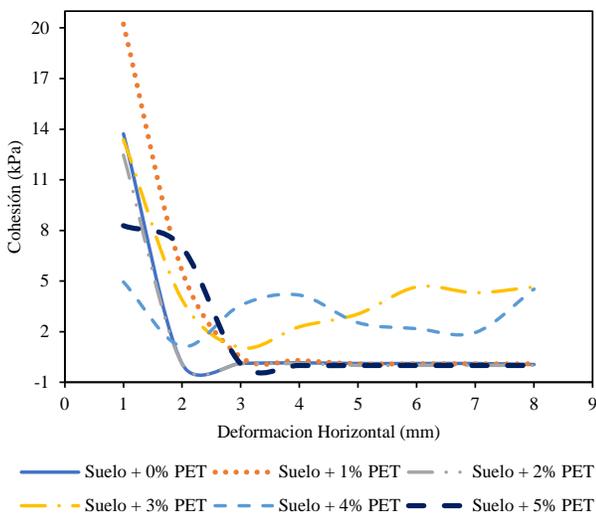


Fig. 9 Variación de cohesión a cada 1 mm de desplazamiento horizontal.

La Fig. 10, presenta la variación del ángulo de fricción en función del nivel de desplazamiento horizontal durante el ensayo de corte directo. Se aprecia que la mezcla con 3% de PET presenta mayor ángulo de fricción a partir de 2 mm de desplazamiento horizontal, disminuyendo el ángulo de fricción conforme el desplazamiento horizontal aumenta. Para deformaciones horizontales mayores a 5 mm el ángulo de fricción de la mezcla suelo+3%PET disminuye hasta el nivel del suelo puro, por el contrario las otras mezclas presentan ángulos de fricción superiores.

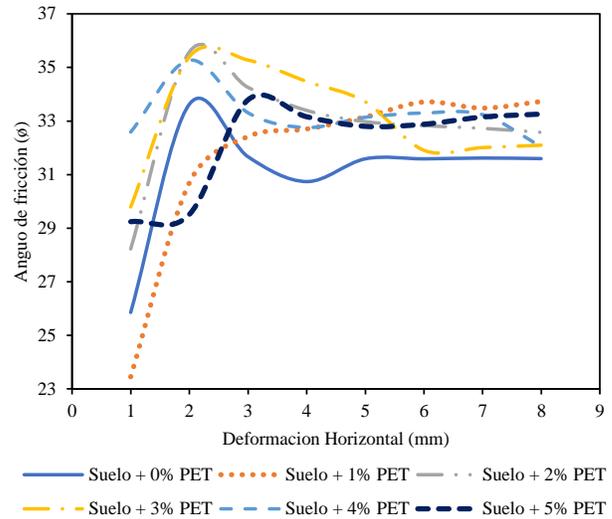


Fig. 10 Variación de ángulo de fricción a cada 1 mm de desplazamiento horizontal.

V. CONCLUSIONES

- La adición del PET en un 3 % a la arena limosa mejora sus propiedades mecánicas.
- Con referencia a los ensayos de corte, nos indica que al mezclar el suelo con un 3% de PET, mejora las características del suelo, el ángulo de fricción (ϕ) de 33.7° a 35° y la cohesión de 1.2 kPa a 5.6 kPa. Cuanto mayor es la presión normal, en el ensayo del corte directo, mayor será la resistencia al corte.
- Todas las mezclas presentan inicialmente un comportamiento contractivo, para luego de 1 mm de desplazamiento horizontal tener un comportamiento expansivo.
- Los ensayos de compactación indican que las densidades secas máximas de las mezclas suelo-PET reciclado disminuyen conforme aumenta la presencia de PET. No sucede con el contenido de humedad óptimo ya que este aumenta.
- La presencia del PET en esta arena limosa no degrada su comportamiento mecánico, por el contrario se aprecia una mejora. Por lo tanto, el PET tendría un destino adecuado como adición a este tipo de suelos con al finalidad de ser utilizados como relleno estructural, por ejemplo en terraplenes, obras viales, muros de contención de suelo reforzado, etc.

- Finalmente el uso del PET en obras geotécnicas lograría un impacto positivo en el medio ambiente al darle un valor agregado y encontrándole un destino ambientalmente correcto.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar a la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, por brindarnos los conocimientos necesarios para poder realizar el tema de investigación; y en segundo lugar al laboratorio INGEOTEST, por apoyarnos con los ensayos mencionados en la presente investigación.

REFERENCIAS

- [1] Thompson, RC, Moore, CJ, Vom Saal, FS Y Swan, SH (2009). Los plásticos, el Medio Ambiente y la salud humana: El consejo anual y tenencias de futuro. *Phil Trans. R. Soc Segundo*, Vol. 364:2153-2166
- [2] Ramirez GGD, Casagrande MDT. Experimental Study of Granular Rubber Waste Tire Reinforced Soil for Geotechnical Applications. *Key Engineering Materials 2014*;600:585–96.
- [3] E. Benavente-Huaman, M. Navarro-Cardenas and G. Duran-Ramirez, "Strength Behaviour of Shredded Rubber Silty Sand Mixtures," 2019 7th International Engineering, Sciences and Technology Conference (*IESTEC*), Panama, Panama, 2019, pp. 450-454.
- [4] Sánchez C., Peña G., y Rico L. (2018). Identificación de los usos actuales de tereftalo de polietileno en la ingeniería civil. Villavicencio: Universidad Cooperativa de Colombia.
- [5] Tajdini M., Hajjalilue M. y Golmohamadi, S. (2017). An experimental investigation on effect of Adding Natural and Synthetic Fibres on Mechanical and Behavioural Parameters of Soil – Cement Material. *Iran: International Journal of Civil Engineering*.
- [6] Ojuri, O. and Ozebe, A. (2016). Improvement of the geotechnical properties of sandy soil using shredded polyethylene terephthalate (PET) wastes. *Geo-Chicago 2016*.
- [7] Soltani H. (2016). Compressibility and Shearing Behavior of Clayey Soil Reinforced by Plastic Waste. *Irán Universidad de Ciencia y Tecnología*.
- [8] Gunaydin O., Dere T., Soylemez, M., y Dere Yaman, Z. (2016). Soil Improvement Characteristic of Polyethylene Terephthalate Wastes. *Iasi: Environmental Engineering and Management Journal*.
- [9] Botero, E., Ossa, A., Sherwell, G., y Ovando – Shelley, E. (2015). Stress-strain behavior of a silty soil reinforced with polyethylene terephthalate(PET). *Mexico: Geotextiles and Geomembranes*.
- [10] Martínez I., Louzada N., Repsold L., Casagrande M. Mechanical behavior of reinforced clayey soil with fine crushed polyethylene terephthalate. *Switzerland. Key Engineering Materials 2015*;668:404–410.
- [11] Consoli, N., Portella J., Marques, P., Savitri, G. (2002). Engineering behavior of a sand reinforced with plastic waste. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, Vol. 128, Issue 6, June, 2002.
- [12] Alvarez, A., Sosa, J., Duran, G., Pacheco, L. Improved mechanical properties of a high plasticity clay soil by adding recycled PET. *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.* 758 (2020) 012075.
- [13] CISMID. & UNI. (Setiembre, 2010). Estudio de microzonificación sísmica y vulnerabilidad en la ciudad de Lima. CISMID. & UNI. Recuperado de http://eudora.vivienda.gob.pe/OBSERVATORIO/Documentos/EstudiosyAsistencia/Estudios/MicrozonificacionSismicaLima/Chorrillos/INFORME_MICROZONIFICACION_SISMICA_CHORRILLOS.pdf
- [14] Medaña, R. (2014). Exploración de Polietileno Tereftalato (PET) proveniente de residuos sólidos urbanos, aplicación en el diseño de productos sustentables. Córdoba: Facultad de Arquitectura.