

# COMPORTAMIENTO DEL ESFUERZO ADMISIBLE DEL SUELO ESTABILIZADO CON DESECHOS DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD

**Vance G. Fernández Huamán**

Unidad de Investigación e Innovación de Ciencias Agrarias  
Programa de Investigación en Agua y Energía - Área de Construcción y Planeamiento Rural  
E-mail: vance.fernandez@unsch.edu.pe

## RESUMEN

Los parámetros de resistencia al corte que definen las características mecánicas del suelo son el ángulo de fricción y la cohesión. En la ejecución de una obra civil, estos parámetros generalmente no se ajustan a los requerimientos del proyecto, por tal razón se debe buscar una solución para la estabilidad del suelo implicado en cualquier construcción. La búsqueda del mejoramiento de las condiciones ambientales ha llevado a la utilización de los residuos del plástico para reforzar el suelo y mejorar sus propiedades mecánicas y físicas. Este proyecto de grado busca el perfeccionamiento de las propiedades mecánicas de los suelos arcillosos, agregando fibras de 3,0 y 5,0 cm de longitud de PET (polietileno Tereftalato) reciclado. Se prepararon 48 probetas de suelo con 4 porcentajes diferentes de fibra de PET (0,2%, 0,5%, 1,0% y 1,5% del peso del suelo). Mediante ensayos de compresión simple se encontró el cambio generado en el suelo debido a las fibras. Los resultados obtenidos mediante esta investigación demostraron una mejora en los parámetros evaluados en los ensayos, se debe tener en cuenta que porcentaje de fibra puede agregarse y que longitudes son aptas para moldear apropiadamente las probetas.

Palabras clave: ángulo de fricción, cohesión, refuerzo, fibras, reciclaje.

## BEHAVIOR OF THE ALLOWABLE EFFORT OF THE SOIL STABILIZED WITH HIGH DENSITY POLYETHYLENE WASTE

### ABSTRACT

The shear strength parameters which define the mechanical properties of soil are the internal friction angle and cohesion. While constructing any civil engineering structure, those parameters usually do not adjust to the requirements of the Project, therefore, there must be a solution for the soil stability in any civil work. Seeking to improve the environmental conditions have led to use plastic waste for soil reinforcement and enhance its mechanical and physical properties. The purpose of this thesis is to improve the mechanical properties of clayey soil by including fibers of 3,0 and 5,0 cm of recycled polyethylene terephthalate (PET). 48 groups of soil samples were prepared at four different percentages of PET fiber content (0,2%, 0,5%, 1,0% y 1,5% by weight of soil). Unconfined compression test was carried out to find if the fiber had improved the soil properties. The tests results indicated that the inclusion of fiber reinforcement improve the shear strength parameters (cohesion). It is necessary to consider what percentage of fiber can be added and also what is the idea length to prepare the samples.

Keywords: Internal friction angle, cohesion, reinforcement, fiber, recycling.

### INTRODUCCIÓN

Los residuos de los polímeros son reciclables y aprovechados para la fabricación de nuevos productos como envases, textiles, recipientes, etc. Para el refuerzo de suelos se han diseñado geotextiles, mallas y geogrillas con materiales poliméricos.

Se ha encontrado que la industria de plástico en Perú está en crecimiento y genera gran cantidad de residuos al año. Según Acoplásticos la cantidad de desechos oscilan entre las 220.000 y 280.000 toneladas al año (Acoplásticos, 2011). Para esta investigación se propone la reutilización de los desechos poliméricos para mejorar las propiedades mecánicas y físicas del suelo y reducir el impacto ambiental que éstos crean. A través de ensayos de laboratorio y la homogenización

del suelo con fibras de plástico reciclado (POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD), este proyecto presenta las ventajas que podría traer las fibras para el refuerzo de suelos arcillosos.

En Perú donde existen dos épocas de lluvia, donde los mayores problemas que traen son la desestabilización de taludes y grandes movimientos de tierra, ocasionando tragedias y cierre de carreteras, se quiere buscar una solución al cambio de las propiedades mecánicas del suelo debido a la saturación de éste y buscar un uso a los residuos de plástico para dar una posible solución a la estabilización de taludes, construcción de terraplenes y dar un refuerzo adicional al suelo para que pueda cumplir con las características que exigen las construcciones u obras civiles que se van a ejecutar.

#### Problema Principal

¿Cuál será el esfuerzo admisible del suelo estabilizado con desechos de polietileno de alta densidad?

#### Problemas Secundarios

- a. ¿Cuál será el esfuerzo admisible del suelo estabilizado con desechos de polietileno de alta densidad dispuesta en capas espaciadas a 5 cm?
- b. ¿Cuál será el esfuerzo admisible del suelo estabilizado con desechos de polietileno de alta densidad dispuesta en capas espaciadas a 7.5cm?
- c. ¿Cuál será el esfuerzo admisible del suelo estabilizado con desechos de polietileno de alta densidad dispuesta en capas espaciadas a 10 cm?
- d. ¿Cuál será el esfuerzo admisible del suelo estabilizado con desechos de polietileno de alta densidad dispuesta en capas espaciadas a 15 cm?

#### Objetivo General

Determinar el esfuerzo admisible del suelo estabilizado con desechos de polietileno de alta densidad.

#### Objetivo Específicos

- a. Determinar el esfuerzo admisible del suelo estabilizado con desechos de polietileno de alta densidad dispuesta en capas espaciadas a 5 cm
- b. Determinar el esfuerzo admisible del suelo estabilizado con desechos de polietileno de alta densidad dispuesta en capas espaciadas a 7.5cm.
- c. Determinar el esfuerzo admisible del suelo estabilizado con desechos de polietileno de alta densidad dispuesta en capas espaciadas a 10 cm
- d. Determinar el esfuerzo admisible del suelo estabilizado con desechos de polietileno de alta densidad dispuesta en capas espaciadas a 15 cm

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Materiales

- Cámara fotográfica digital.
- Computadora personal.
- Memoria USB.
- Laboratorio de mecánica de suelos
- PET
- Suelo arcilloso
- Agua

La muestra fue tomada en el Obelisco de la Pampa de la Quinoa en el distrito de Quinoa Provincia de Huamanga departamento de Ayacucho, las muestras se extraen de un talud con una pendiente pronunciada el cual podría necesitar ser reforzado para su estabilidad las cuales fueron recolectada en costales para ser llevada al laboratorio de suelos de la EIA y proceder con los respectivos ensayos de laboratorio.

### Metodología

Se explicarán los procedimientos de acuerdo a cada uno de los objetivos propuestos.

- Caracterizar física y mecánicamente un suelo arcilloso mediante ensayos de laboratorio y las fibras plásticas empleadas para el refuerzo de éste.

Identificar el sitio: se estudió la geología del área aledaña al monumento del Obelisco de la Pampa de la Quinua en el distrito de Quinua Provincia de Huamanga departamento de Ayacucho, para identificar que zonas abarcan suelos arcillosos a partir de una debida revisión bibliográfica. Indagando a las personas relacionadas con la ingeniería geotécnica que tengan el conocimiento de la zonificación geológica del área en mención. Los suelos de este sector presentan inestabilidades geológicas y baja cohesión, por tal razón se buscó la mejora de sus propiedades mecánicas a partir de los reforzamientos con fibras de plástico reciclado. Toma de muestra: fue llevada a cabo la excavación necesaria para tomar la suficiente cantidad de muestra para moldear 52 probetas de aproximadamente 510 cm<sup>3</sup> y 500 gr para los ensayos de clasificación del suelo y ser llevada al laboratorio de suelos de la Escuela Profesional de Ingeniería de Civil de la UNSCH. Características físicas del suelo: se realizaron los debidos ensayos de laboratorio a la muestra obtenida para determinar e identificar las propiedades físicas, siguiendo la norma ASTM (American Society for Testing and Materials) se ejecutaron ensayos de granulometría por hidrómetro, límites de Atterberg, gravedad específica y compactación, en los laboratorios de suelos de la Escuela Profesional de Ingeniería de Civil de la UNSCH.

Características mecánicas del suelo: de la muestra obtenida se armaron 4 probetas sin el agregado de plástico para ser falladas por compresión simple, obteniendo las propiedades mecánicas para ser comparadas con las muestras alteradas con la fibra de plástico.

Determinar el porcentaje de material que se debe agregar para mejorar las propiedades mecánicas del suelo.

- Se realizará una revisión bibliográfica de las propiedades del plástico (POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD). El material de plástico será agregado de manera aleatoria, la cantidad de fibra plástica se ha determinado del 0,2%, 0,5%, 1,0% y 1,5% del peso total de la muestra y se establecieron fibras de 3,0 y 5,0 cm de longitud y un diámetro de 0,5 mm. Realizando de cada porcentaje 6 probetas para cada longitud para un total de 48 probetas alteradas.
- Observar los resultados obtenidos determinando los cambios producidos por el agregado de plástico en las propiedades mecánicas del suelo.

Finalizados los ensayos, se procedió a comparar los resultados obtenidos entre las muestras testigo y las muestras con agregado de plástico, determinando los cambios que se generaron al adicionar la fibra, por medio de gráficos de esfuerzo deformación.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Clasificación Del Suelo De Estudio

#### Granulometría, hidrómetro y límites de Atterberg

Para llegar a una conclusión para saber con qué tipo de suelo se está trabajando fue necesario calcular el porcentaje retenido en cada tamiz. De acuerdo al sistema USCS de clasificación de suelos y teniendo en cuenta que más de la mitad de la muestra pasa el tamiz N°200, clasificamos el suelo, sabiendo que el límite líquido es menor que 50 y de acuerdo a la carta de plasticidad según Casagrande, el suelo es de tipo ML como se describió anteriormente, es un limo con minerales de arcilla o una arcilla con ligera plasticidad.

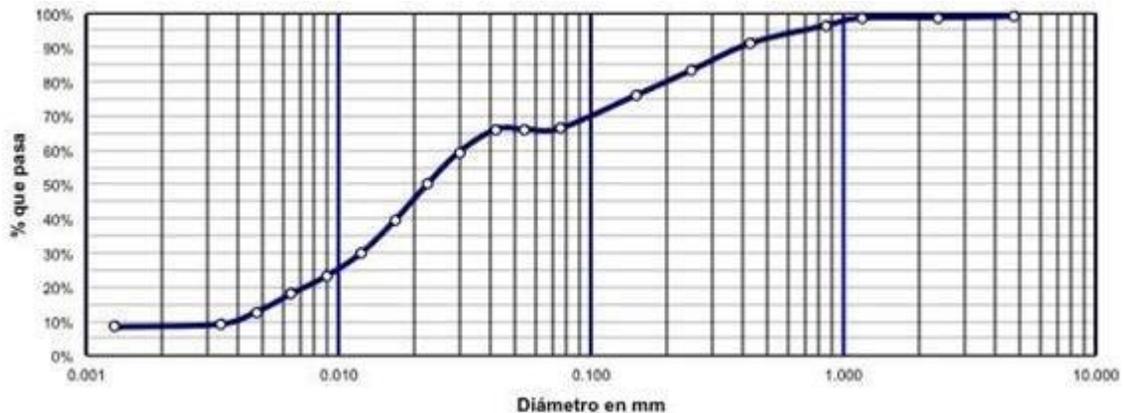


Figura 1. Distribución granulométrica.



Figura 2. Ensayo de higrómetro (izquierda) y ensayo de Casagrande (derecha).

### Ensayo Proctor Estándar

Con los datos encontrados se halla la máxima densidad y su humedad correspondiente. Observando que la humedad óptima es de 21.52% correspondiente a los 100 ml de agua. Esta humedad óptima de compactación es hallada para moldear las probetas que serán alteradas con la fibra y ayuda a incrementar las características de resistencia del suelo.

### Ensayo de Compresión Simple

Cohesión no drenada con fibras de 5.0 y 3.0 cm

En las Figuras 3 y 4, se observa la relación entre el parámetro de resistencia al corte, cohesión, y el porcentaje contenido de fibra, indicando que a medida que se aumenta el contenido de fibra mejora significativamente la cohesión. Con respecto a la muestra testigo el contenido de fibra de 5.0 cm muestra un aumento de 23.58 kPa con un 0.2% de fibra, de 26.71 kPa con un 0.5% de fibra, de 29.85 kPa con un 1.0% de fibra y de 29.43 con un 1.5% de fibra, para las longitudes de 3.0 cm el aumento en la cohesión fue de 11.3, 13.79, 27.21 y 30.45 kPa con un 0.2, 0.5, 1.0 y 1.5% de fibra, respectivamente. El máximo valor de cohesión es de 100.71 kPa con la fibra de 3.0 cm y un porcentaje de 1.5%.

En las Tablas 1 y 2 se muestran las tasas de incremento de la cohesión de cada porcentaje de fibra con respecto a la muestra testigo y en la Tabla 3 se muestra el Incremento que se da entre las diferentes longitudes de acuerdo al porcentaje de fibra agregado el suelo.

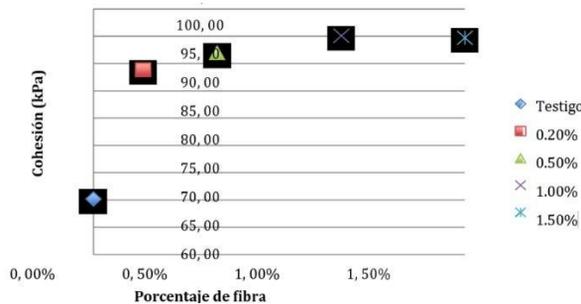


Figura 3.

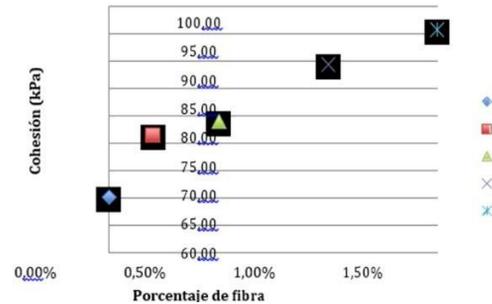


Figura 4.

3.0 cm	
Cantidad de Fibra (%)	Incremento (%)
0.2	16.1
0.5	19.6
1	34.5
1.5	43.3

*Tabla 1. Tasa de incremento cohesión fibra 3 cm*

5.0 cm	
Cantidad de Fibra (%)	Incremento (%)
0.2	33.6
0.5	38
1	42.5
1.5	41.9

*Tabla 2. Tasa de incremento cohesión fibra 5 cm*

3.0 cm - 5.0 cm	
Cantidad de Fibra (%)	
0.2	15.1
0.5	15.4
1	6
1.5	

*Tabla 3. Tasa de incremento de la cohesión con las dos longitudes.*

### Esfuerzo – deformación con fibra de 3.0 cm

Las curvas de esfuerzo-deformación obtenidas a partir de los ensayos de compresión se observan en la Figura N° 05 para el suelo reforzado con fibras de 3.0 cm. Se puede observar que la resistencia aumenta a medida que aumenta el porcentaje de fibra en el suelo, los porcentajes de 1.0 y 1.5 muestran que el suelo con la fibra puede ser más dúctil alcanzando una deformación unitaria del 5%, con los demás porcentajes se deforma un 1% más que la muestra testigo, siendo del 3% la deformación unitaria que alcanza la muestra sin alterar.

Entre 0.2 y 0.5% de fibra es muy reducido el cambio en el esfuerzo.

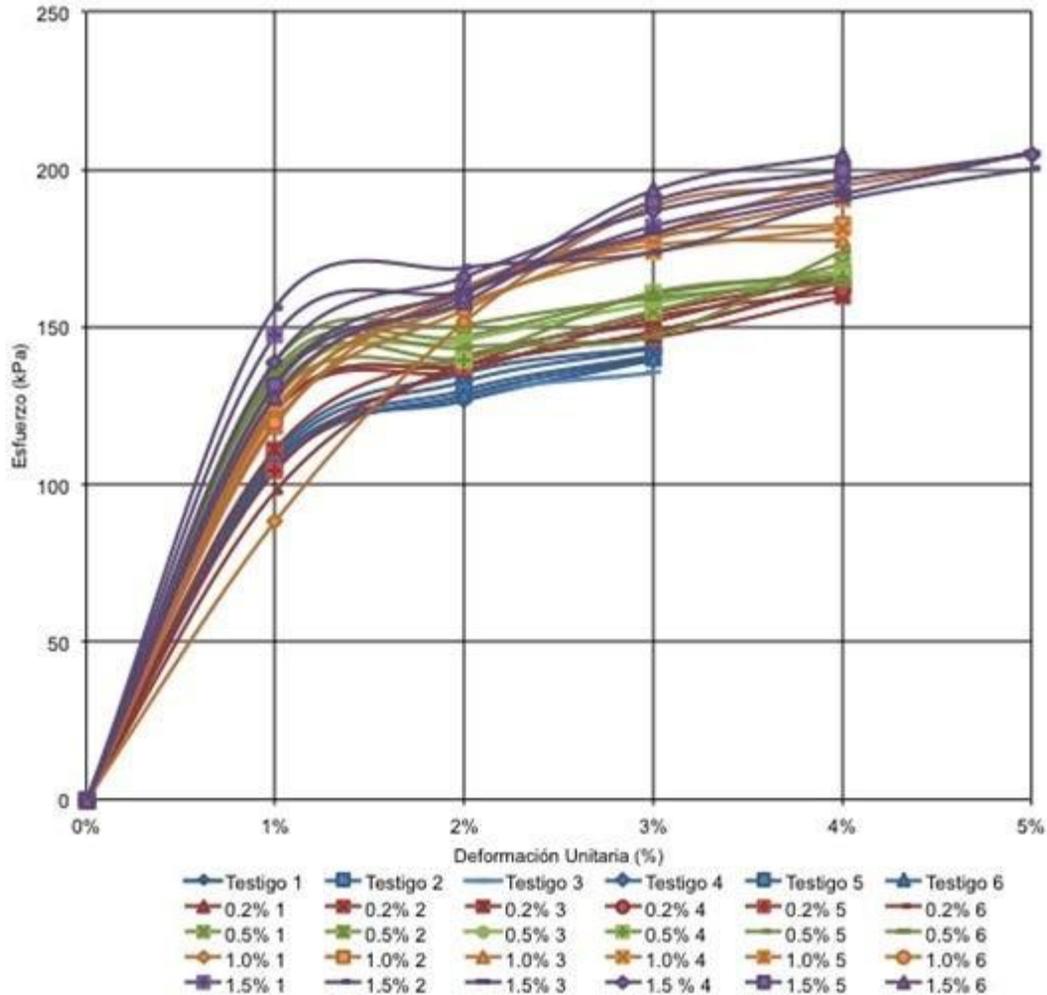


Figura 5.

### Esfuerzo – deformación con fibra de 5.0 cm

Observando la Figura 6 también se nota una diferencia en los esfuerzos a los que es sometido el suelo, la resistencia aumenta a medida en que se incrementa el porcentaje de fibra, las variaciones entre la muestra testigo y las muestras alteradas es notable, pero entre las muestras con fibra es mínimo el cambio en la resistencia del suelo. La muestra testigo muestra un 3% de deformación unitaria y las muestras alteradas un 4% de deformación, se nota un aumento en la ductilidad del suelo.

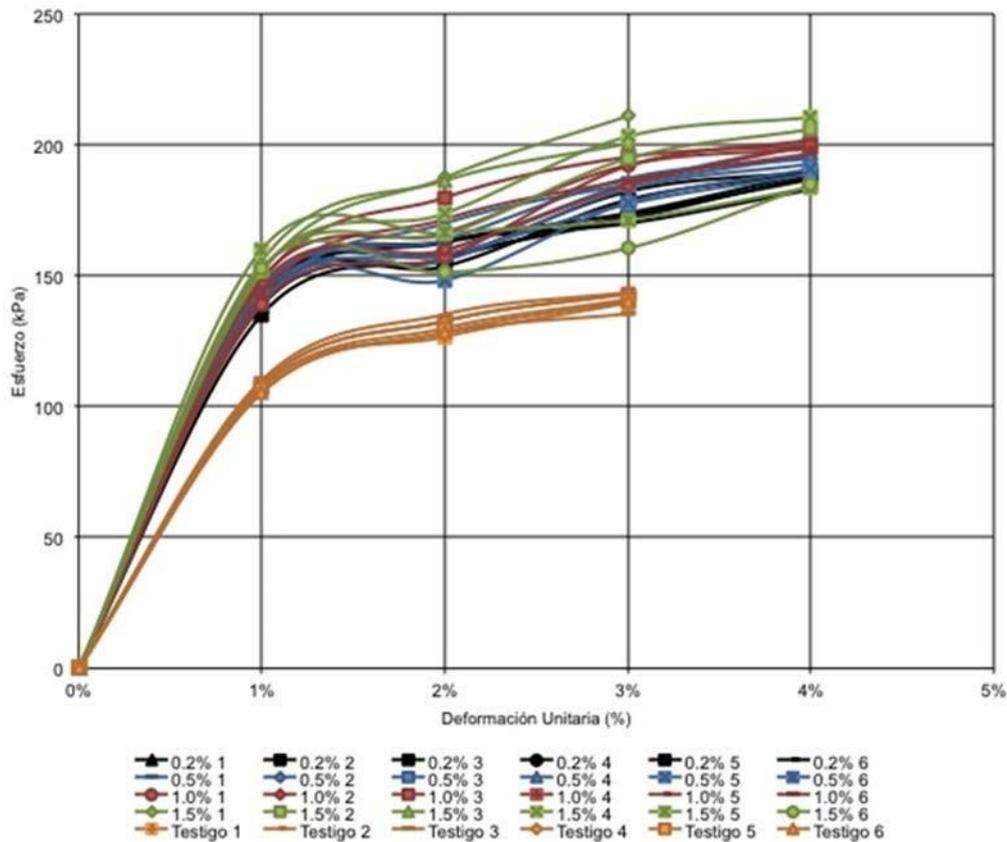


Figura 6. Esfuerzo – deformación con las dos longitudes.

Con la fibra de 3.0 cm se puede observar que con los porcentajes de 1.0 y 1.5 el suelo alcanza una deformación del 5%, las variaciones en la resistencia son variadas pero muy reducidas, el rango de valores de esfuerzo de las fibras de 3.0 cm está entre 163 y 204 kPa, mientras que el de las fibras de 5.0 cm son de 187 y 200 kPa.

## CONCLUSIONES

- El suelo estabilizado con desechos de polietileno de alta densidad dispuesta en capas espaciadas a 5 cm presentan mejores características de esfuerzo admisible en comparación con un suelo en condiciones normales.
- El suelo estabilizado con desechos de polietileno de alta densidad dispuesta en capas espaciadas a 7.5cm presentan mejores características de esfuerzo admisible en comparación con un suelo en condiciones normales.
- El suelo estabilizado con desechos de polietileno de alta densidad dispuesta en capas espaciadas a 10 cm presentan mejores características de esfuerzo admisible en comparación con un suelo en condiciones normales.
- El suelo estabilizado con desechos de polietileno de alta densidad dispuesta en capas espaciadas a 15 cm presentan mejores características de esfuerzo admisible en comparación con un suelo en condiciones normales.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aburrá, Á. M. (2004). Microzonificación Sísmica Detallada De Los Municipios De Barbosa, Girardota, Copacabana, Sabaneta, La Estrella, Caldas y Envigado.
- Acoplásticos. (2011). Acoplásticos. Recuperado el 10 de agosto de 2012, de <https://www.acoplasticos.org/acoplasticos2/index.php>
- Consoli, N. C., Arcari Bassani, M. A., & Festugato, L. (2010). Effect of fiber reinforcement on the strength of cemented soils. Federal University of Rio Grande do Sul, Civil Engineering. Porto Alegre: ELSEVIER.
- ENKA. (s.f.). EKO. Recuperado el 8 de agosto de 2012, de <http://www.eko.com.co/reciclaje>.
- Das, B. M. (1985). Fundamentos de ingeniería geotécnica. En B. M. Das. Sacramento, California.

- Fernández Calvo, C. (2006). Estudio experimental de refuerzo de suelos con fibras sintéticas. Geogaceta.
- Guerra Posada, A., & Martínez Gutiérrez, L. (2010). Cambios con el tiempo en el comportamiento de diferentes tipos de suelos. Escuela de Ingeniería de Antioquia, Ingeniería Civil, Envigado.
- Juárez Badillo, E., & Rico Rodríguez, A. (2005). Mecánica de suelos. México: Limusa. Jaramillo Gómez, D., & Londoño Mejía, D. (2012). Suelos reforzados con fibras naturales. Escuela de Ingeniería de Antioquia, Ingeniería Civil, Envigado.
- Lambe, T., & Whitman, R. V. (1979). Mecánica de suelos. Limusa.
- Powrie, W. (2004). Soil Mechanics: Concepts and Applications. Taylor and Francis.
- Tang, C., Shi, B., Gao, W., Chen, F., & Cai, Y. (2006). Strength and mechanical behavior of short polypropylene fiber reinforced and cement stabilized clayey soil. Nanjing University. Nanjing: ScienceDirect.