



Estabilización de suelos finos con hojas de eucalipto para alcanzar la resistencia a la compresión inconfínada

Stabilization of fine soils with *eucalyptus* leaves to achieve their unconfined compressive strength

Betty María Condori Quispe¹, Edwin Pérez Vilcapoma²



0000-0002-7056-6750

Autor correspondiente: eperezv@uncp.edu.pe

bcondori@uncp.edu.pe

Cómo citar:

Condori Quispe, B. M. & Pérez Vilcapoma, E. (2021). *Estabilización de suelos finos con hojas de eucalipto para alcanzar la resistencia a la compresión inconfínada*. *Prospectiva Universitaria*, revista de la UNCP. 18(1), 29-34. <https://doi.org/10.26490/uncp.prospectivauniversitaria.2021.18.1413>

Resumen

Se determinó la resistencia a la compresión inconfínada mediante la estabilización de suelos con hojas de eucalipto; para ello, se aplicó un diseño pre experimental en el cual se utilizó 18 muestras obtenidas del distrito de Chayapalca, La Oroya. Las hojas de eucalipto fueron recogidas de la ciudad universitaria de la UNCP. Los procedimientos para los ensayos de compresión inconfínada fueron, según la Normas Técnicas Peruanas, conformadas en dos grupos. Las resistencias encontradas fueron de 0.97 y 1.99 kg/cm² para contenidos de humedad de 14.24 a 16.13 expresadas en porcentajes. Por lo tanto, la resistencia del suelo con el uso de hojas de eucalipto en condiciones secas mejora considerablemente, mostrando su estabilidad y disminución de deformaciones del suelo.

Palabras Clave: suelos finos, resistencia a la compresión, compresión inconfínada, clasificación de suelos, estabilidad de suelos, *eucalyptus*

Abstract

The purpose of the study was to determine the resistance to unconfined compression by stabilizing soils with eucalyptus leaves; for this purpose, a pre-experimental design was applied in which 18 samples obtained from the Chayapalca, La Oroya district were used. The eucalyptus leaves were obtained from the UNCP university city. The procedures for compression and unconfined tests, were according to Peruvian technical standards formed into two groups. The strengths found were 0.97 and 1.99 kg/cm² for moisture contents of 14.24 to 16.13 expressed in percentages. Therefore, the resistance of the soil with the use of eucalyptus leaves in dry conditions improves considerably, showing its stability and reduction of soil deformations.

Keywords: thin soils, compressive strength, formwork compression, soil classification, soil stability, *eucalyptus*

Introducción

La presencia de suelos finos, plásticos con un alto contenido de humedad viene ocasionando inestabilidad, deslizamientos que conduce a pérdidas humanas y materiales; en tal sentido, es necesario estabilizar los suelos, que para este trabajo, fue con hojas secas de eucalipto para contribuir con el medio ambiente. Con esos elementos se determinó la resistencia a la compresión inconfiada.

La estabilidad se puede definir como la cualidad de estable y firme en el espacio, permanencia y duración en el espacio (Oceano, n. d.).

También, en las NTP indican que los suelos podrán estabilizarse con otros métodos de acuerdo a la recomendación del profesional responsable y que cuente con el sustento técnico que lo respalde (C020 NTP, 2006).

Altamirano & Axell (2015) mencionan que el funcionamiento a largo plazo de cualquier proyecto de construcción depende de la calidad de los suelos subyacentes. Los suelos inestables pueden crear problemas significativos en las estructuras y pavimentos. Con el diseño y técnicas de construcción apropiados, el tratamiento con determinado aditivo transforma químicamente los suelos inestables en materiales utilizables.

Uno de los aspectos para tratar la estabilidad, es conocer si los sistemas de clasificación de suelos presentan herramientas poderosas, no solo para facilitar la identificación del suelo, sino para predecir su posible comportamiento. Si bien el uso de estándares arbitrarios basados en la distribución del tamaño de partículas puede ser aplicable a suelos de grano grueso, aquellos enfoques basados exclusivamente en principios de textura son ineficaces para clasificar suelos de grano fino, donde el contenido de arcilla y su mineralogía dictan propiedades generales. En tal sentido, la medición de la plasticidad representa un parámetro más apropiado que el tamaño de partícula. Este hecho ha llevado a diversos autores y comités técnicos a desarrollar sistemas de clasificación de suelos de grano fino basados en la plasticidad. (Moreno et al., 2021).

En el caso de los suelos de baja plasticidad, los cambios de humedad producen deformaciones por colapso cuando se humedecen, esa deformación se acentúa en suelos poco compactados. Como los suelos compactados están parcialmente saturados, es conveniente estudiar su estabilidad volumétrica, tomando en cuenta los conceptos propios de la mecánica de suelos parcialmente saturados (Chávez et al., 2016).

La distribución del tamaño de las partículas se determina mediante varios métodos, como la dispersión por difracción láser, el recuento de imágenes, el tamizado y los métodos de sedimentación, ninguno de los cuales es perfecto y debe perfeccionarse en los campos de la ciencia del suelo y la ingeniería civil. Este estudio intentó lo-

grar un método más preciso para la gradación de suelos de grano fino. En cuanto al concepto de sedimentación y espectrofotometría, se han realizado estudios experimentales y teóricos sobre la medición del tamaño de partículas de diecisiete muestras de suelo de grano fino. El diámetro de las partículas se determinó sobre la base de la Ley de Stokes, de la velocidad de sedimentación para partículas en suspensión colocadas en la cubeta, mientras que el porcentaje más fino que estos diámetros se determinó mediante una fórmula derivada de este documento utilizando el método de espectrofotometría en el rango de operación de 900–1000 nm (Rahimi et al., 2018).

Se aplican métodos directos e indirectos para identificar, clasificar y determinar el potencial y la presión de expansión de las arcillas, se aplica la geoestadística, como herramienta matemática para determinar la variación espacial del contenido de agua y del potencial de expansión de las arcillas (Jorge et al., 2015).

El ensayo de compresión no confinada, simple o uniaxial permite obtener un valor de carga última del suelo, el cual se relaciona con la resistencia al corte del suelo y entrega un valor de carga que puede usarse en proyectos que requieran valores conservadores.

Para evaluar la resistencia al corte de un suelo a través de las curvas esfuerzo – deformación; para ello, se utilizó los experimentos de compresión inconfiada, con la construcción de Círculo de Mohr, la resistencia al corte o cohesión (C) puede ser calculada de la manera siguiente:

$$C = \frac{q_u}{2}$$

Donde:

- q_u = resistencia a la compresión inconfiada del suelo

Este cálculo se basa en el hecho que $\sigma_3 = 0$ (atmosférico), se supone que el ángulo de fricción interna $\phi = 0$, similar a la obtenida en el ensayo no consolidado no drenado sobre un suelo saturado, se le llama a menudo “no drenado” o ensayo U.

La deformación unitaria es igual a $\epsilon = \frac{\Delta L}{L_o}$ mm/mm.

Donde:

- ΔL = deformación total de la muestra (axial), mm
- L_o = long. Original de la muestra en mm.

El esfuerzo instantáneo σ del ensayo sobre la muestra se calcula como:

$$\sigma = \frac{P'}{A'} \text{ (KPa)}$$

Donde:

- P' = carga sobre la muestra en cualquier instante para el correspondiente valor de ΔL , en KN.
- A' = área de la sección transversal de la mues-

tra para la carga correspondiente P , en m^2 .

El área original A_o se corrige considerando que el volumen total del suelo permanece constante.

Volumen total inicial de la muestra es:

$$V_t = A_o * L_o$$

Pero después de algún cambio ΔL en la longitud de la muestra.

$$V_t = A' (L_o - \Delta L)$$

igualando ambas ecuaciones

$$A' = \frac{A_o}{1 - \epsilon}$$

(Bowles Joseph, 1981)

Puede observarse que, para la trayectoria de secado, la resistencia alcanza un máximo para cierta humedad y, al continuar el proceso de secado disminuye. Esa serie de pruebas de compresión simple resultó importante para continuar con las pruebas triaxiales consolidadas y drenadas; porque a partir de ello, se tuvo tendencia de comportamiento, en ese caso de estudio (Julio César et al., 2013).

Cuando una probeta saturada de arcilla que ha sido completamente consolidada bajo la presión de confinamiento p_3 , se retira de la cámara triaxial, la presión p_3 se reemplaza por una presión capilar p_h de igual intensidad y como consecuencia, tanto el contenido de agua como las tensiones efectivas en la arcilla, permanecen prácticamente inalteradas. Por tanto, si la probeta es luego sometida a un ensayo de compresión simple, los resultados que se obtienen son prácticamente idénticos a los que arroja un ensayo normal de compresión consolidado no drenado ejecutado con el mismo material $p_h = -u_w$ (Karl & Peck, 1980).

En referencia a las hojas de *Eucalyptus*, Borgoño (2006) menciona que el género *Eucalyptus* pertenece a la familia *Mirtaceae* y consta con cerca de 700 especies y variedades, la mayoría de las cuales se distribuyen en el continente oceánico, distribuido en todas las regiones tropicales y subtropicales en forma de densos bosques. Además, de las poblaciones naturales existentes en Australia y algunas islas cercanas, en el mundo existen más de dieciocho millones de hectáreas plantadas con especies del género *Eucalyptus*. En términos generales, estas especies superan normalmente los 45 metros de altura y pueden alcanzar diámetros de más de 6 metros. Un considerable número de ellas, de gran valor comercial, no alcanzan grandes dimensiones, presentando alturas que no superan los 35 m. En particular, los árboles adultos de *Eucalyptus nitens* presentan alturas que pueden variar entre 60-70 m de altura y con diámetros que fluctúan entre 1 y 2 m (en condiciones de crecimiento como bosque natural en Australia).

Las hojas de *Eucalyptus globulus* se utilizaron como objeto de desarrollo del bioplaguicida original de la

planta. En primer lugar, se identificaron los componentes químicos mediante espectrometría de masas, se acoplaron 69 ingredientes de hojas de *Eucalyptus globulus* con el receptor repelente (2KSL) para obtener ácido protocatecuico con fuerte actividad biológica potencial. Las pruebas de actividad mostraron que el ácido protocatecuico tiene actividad anti alimentaria, lo que demuestra plenamente que la eficacia del método ayuda a desarrollar un nuevo bioplaguicida original de planta a partir de hojas de eucalipto y ayuda a identificar compuestos activos potenciales en matrices complejas (Pan et al., 2020).

Las películas de extracto de hoja de almidón nanocompuesto (SNC) -*Eucalyptus globulus* con una concentración de nano-fibras del 5 % y el 10 % formaron películas continuas; mientras que las películas con una concentración del 15 % y el 20 %, no formaron películas continuas y aparecieron grietas en ellas. El extracto de hoja de *Eucalyptus globulus* contiene 41 polifenoles, identificados por el informe LCMS. StarchNano Composite (SNC), con 10 % de nanofibras tenía la máxima resistencia a la tracción y elongación a la rotura independientemente de la HR; sin embargo, la resistencia de diez silen fue comparativamente mayor al 50 % que al 75 % de HR. La película SNC al 10 % fue la concentración optimizada para aplicaciones posteriores. Se fabricaron las películas de nanocompuestos incorporadas con diferentes concentraciones de extracto de hoja de *Eucalyptus globulus* (1 %, 2 %, 3 % y 4 %) y se midieron las propiedades físico-químicas (Ghoshal & Singh, 2020).

Es necesario mencionar que, la madera de primera corta de *Eucalyptus globulus Labill* presenta: Contenido de humedad que varía de 94,57 % -138,99 %, densidad verde 0,990 g/cm^3 -1,150 g/cm^3 , densidad seca al aire 0,576 g/cm^3 -0,805 g/cm^3 , densidad anhidra 0,543 g/cm^3 -0,778 g/cm^3 y densidad básica 0,440-0,580 g/cm^3 . La contracción longitudinal varía de -0,07 % -0,50 %, la contracción radial de 4,18 % -7,80 %, contracción tangencial 9,63 % -20,28 %, contracción volumétrica 14,61 % -28,31 % y la relación de la contracción tangencial y radial 1,91 % -3,27 %. La madera de tercera corta de *Eucalyptus globulus Labill* presenta: Contenido de humedad que varía 75,75 % -125,90 %, densidad verde 0,99 g/cm^3 -1,14 g/cm^3 , densidad seca aire 0,62 g/cm^3 -0,90 g/cm^3 , densidad anhidra 0,60 -0,87 g/cm^3 y densidad básica 0,421 -0,584 g/cm^3 (De la O, 2016)

Para la investigación se ha considerado el efecto de la inclusión aleatoria de fibras de sisal sobre el comportamiento de resistencia y estabilidad de taludes de suelos de grano fino. Este estudio se basa en determinar la efectividad de las fibras de Sisal sobre las características de resistencia de dos tipos de suelos arcillosos. Se seleccionaron diferentes longitudes de fibra y porcentaje de inclusión a la masa del suelo y se llevaron a cabo pruebas de resistencia a la compresión no confinada y relación de carga de California. Luego, los resultados experimentales se uti-

lizaron para modelar el suelo reforzado como relleno de terraplén en software de elementos finitos, para determinar los factores de seguridad (Ramabhadran et al., 2017).

El interés es alcanzar resistencias uniaxiales que superen los 2.5 kg/cm² o CRB superiores al 7 %. El proyecto es sostenible debido a la disponibilidad de recursos en la zona, la aplicabilidad con recursos naturales sin dañar el ecosistema.

Durante la ejecución de la investigación de campo, uno de los problemas fueron las lluvias presentes en la extracción de suelos finos; en tal sentido, fue necesario obtener los recursos en épocas de sequía. En el trabajo se experimentó el efecto de las hojas de eucalipto en la estabilización natural de suelos.

Materiales y métodos

En el Laboratorio de Investigación en Suelos de la FIC-UNCP, se prepararon los especímenes o probetas de suelos. Para la investigación, se utilizó 20 kg de tierra y 2 Kg de hojas secas trituradas y agua, las cuales fueron mezcladas y tamizadas por la malla Nro. 4.

Las probetas fueron remoldeadas, altura 14 cm y diámetro de 7 cm, como puede observarse en la Figura 3, fue un total de 18. Un primer grupo de 9, para probetas puramente de tierra; un segundo grupo de 9 probetas de tierra más hojas de eucalipto tamizadas, $2 < L/d < 3$; cada muestra o probeta para su estabilización, se ha compactado en tres capas recibiendo 12,

25 y 56 golpes para ser ensayadas.

Las probetas fueron ensayadas en la máquina de compresión confinada automática; los deformímetros son de 0.01 mm/división, los cuales son obtenidos de manera directa, se obtiene las cargas aplicadas al espécimen y los desplazamientos los cuales se requieren para el cálculo de deformaciones (%), áreas corregidas y esfuerzos (Kpa)

El equipo de compresión confinada fue para determinar rápidamente la resistencia al corte de un suelo, se determinó la cohesión mediante los círculos de Mohr. Este método es aplicable a materiales cohesivos que no expulsan agua durante la etapa de carga y que mantienen su resistencia intrínseca después de remover las presiones de confinamiento como las arcillas. Las arcillas son suelos conformados por partículas inferiores a los 0.002 mm. También, se usó la balanza de humedad y el horno para obtener el contenido de humedad %.

Resultados

Resistencia a la compresión confinada

La resistencia de muestras compactadas de 12 golpes por capa fue de 0.44 a 0.77 kg f/cm² para contenido de humedad de 10.83 % a 17.36 %, el incremento es muy pequeño en muestras compactadas con 25 golpes a diferencia de las muestras compactadas a 56 golpes; en estas se observa un incremento hasta 1.1 kg-f/cm². En la Tabla 1 se observa este crecimiento, también, se tiene contenidos de humedad, cohesión y deformaciones.

Tabla 1

Resistencia a la compresión confinada sin hojas de eucalipto.

		12 golpes			25 golpes			56 golpes		
		M-1	M-2	M-3	M-1	M-2	M-3	M-1	M-2	M-3
Resistencia a la compresión confinada	(kgf/cm ²)	0,44	0,57	0,7	0,53	0,9	0,74	1,1	0,82	0,97
	Kpa							107,93	80,7	94,74
Cohesión	(kgf/cm ²)	0,22	0,285	0,35	0,265	0,45	0,37	0,55	0,41	0,45
	Kpa							53,72	40,35	47,37
Deformación	%	1,55	1,21	5,17	1,55	2,41	5,17	1,38	1,9	3,97
Contenido de humedad	%	14,12	10,83	17,36	13,84	10,98	16,33	14,6	12,82	16,13

En la Tabla 2, se observa mayor cantidad de ensayos de muestras compactadas a 56 golpes, los valores de resistencia a la compresión en promedio son de 0.93 g-f/cm².

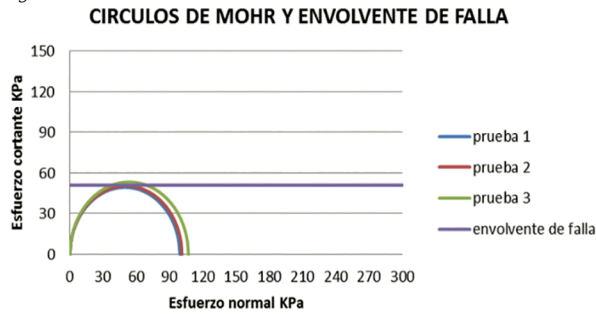
Tabla 2

Resistencia a la compresión, cohesión, deformación y contenido de humedad % a 56 golpes de compactación.

		56 golpes			56 golpes		
		M-1	M-2	M-3	M-1	M-2	M-3
Resistencia a la compresión confinada	(kgf/cm ²)	1,01	0,57	0,81	1,09	0,9	0,75
	Kpa	99,04666	101,00798	79,43346	106,89194	88,2594	73,5495
Cohesión	(kgf/cm ²)	0,505	0,515	0,402	0,55	0,45	0,38
	Kpa	49,52333	50,50399	39,422532	53,9363	44,1297	37,26508
Deformación	%	4,48	7,58	9,99	6,89	8,87	9,05
Contenido de humedad	%	14,85	15,56	15,42	13,7	14,19	14,07

Figura 1

Trazado de círculos de Mohr y envolvente de falla, considerando los esfuerzos normales.

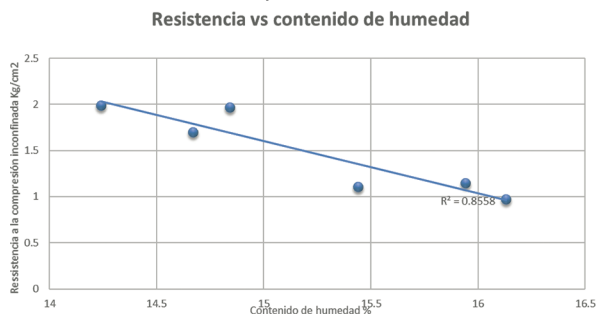
**Tabla 3**

Compresión inconfiada, muestra de tierra y eucalipto remodelada a los 56 golpes.

		56 golpes			56 golpes			56 golpes		
		M-1	M-2	M-3	M-1	M-2	M-3	M-1	M-2	M-3
Resistencia a la compresión inconfiada	(kg/cm ²)	1,11	1,15	1,5	1,1	0,82	0,97	1,99	1,97	1,7
	Kpa	108,85	112,77	147,09	107,87	80,41	95,12	195,15	193,19	166,71
Cohesión	(kg/cm ²)	0,56	0,57	0,75	0,55	0,41	0,45	0,99	0,99	0,83
	Kpa	54,91	55,89	73,54	53,93	40,20	44,12	97,08	97,08	81,39
Deformación	%	2,41	3,27	3,96	1,38	1,9	3,97	2,922	4,129	3,78
Contenido de humedad	%	15,44	15,94	10,03	14,6	12,82	16,13	14,24	14,84	14,67

Figura 2

Variación de la resistencia inconfiada de 1.11; 1.15; 0.97; 1.99; 1.97 y 1.7 kg/cm² respecto a contenido de humedad de 15.44; 15.94; 16.13; 14.24; 14.84 y 14.67 %.



Ramkrishnan et al. (2017) manifiestan que la efectividad de las fibras de sisal sobre las características de resistencia de suelos arcillosos, se realizaron ensayos de compresión no confinada y la relación de carga de California, los resultados se usaron para modelar el suelo reforzado como relleno de terraplén en software de elementos finitos. Los resultados mostraron que la distribución aleatoria de fibras de sisal tuvo efectos positivos en los parámetros de resistencia y estabilidad de las pendientes; como se observa en la Figura 3. Un aumento en los valores de UCS y CBR con la adición de fibras de sisal con longitud de fibra 1 cm y porcentaje de inclusión de 0,75 %. Compactar hasta su máxima densidad seca, dan valores más altos.

Discusión

Respecto a la estabilización de suelos finos con hojas de eucalipto para alcanzar la resistencia a la compresión inconfiada manifiesto que para el logro el logro de la resistencia de muestras se ha colocado diversos porcentajes de contenido de hojas trituradas de eucalipto de lado 1cm en promedio, en la Tabla 3 se tiene respuestas para el caso de 56 golpes de compactación el incremento es cercano al 50 % y como valor obtenido fue 1.99 Kg f/cm² el cual es cercano a 2.5 kg/cm². La Figura 2, indica que a mayor resistencia inconfiada menor contenido de humedad.

Figura 3

Muestras de suelo fino con hojas de eucaliptos ensayadas, altura de la muestra 14.5 cm, diámetro 7 cm y peso 901.44 gr.



Udawattha et al. (2018), en la experimentación inicial, demuestran que solo tres polímeros naturales son adecuados para estabilizar bloques de tierra, como resina de pino, Dawul kurudu y el bagazo de caña de azúcar. La resistencia máxima a la compresión con latex de pino fue de 2.65 N/mm². El material en seco de 2 N/mm² y la resistencia en húmedo 1 N/mm²; asimismo, para el caso de Sugar cane resin obtuvo 0.87 N/mm², Wood apple resin fue de 0.25 N/mm² (2.5492 kp/cm²), valores similares a los de Agarwood resin, estos últimos similares a los obtenidos con hojas de eucalipto.

Conclusiones

- Bajo las condiciones experimentales, se concluye que la humedad afecta la cohesión del suelo fino, no hay ángulo de rozamiento interno suelo-suelo. Con la adición de hojas secas de eucalipto en 100 g aumenta la resistencia unitaria del suelo hasta 1.99 kg/cm² con una humedad de 14.24 %, decrece al disminuir la cantidad de hojas de eucalipto y aumenta la humedad. Los recursos utilizados son naturales, evita la contaminación y mejora la calidad de vida.
- El suelo mejorado es utilizado para disminuir los asentamientos, deformaciones, también puede ser utilizado para mejorar las subrasantes de un pavimento.

Referencias bibliográficas

- Altamirano, G. & Axell, D. (2015). *Estabilización de suelos cohesivos por medio de cal en las vías de la comunidad de San Isidro del Pegón*. Municipio Potosí-Rivas.
- Borgoño, A. (2006). *Comportamiento pulvable de Eucalyptus nitens normal y suprimido crecido en la X Región de Chile*. Universidad Austral de Chile.
- Bowles, Joseph E. (1981). *Manual de laboratorio de suelos en ingeniería civil*. Mc Graw Hill, México.
- C020 Normas Técnicas Peruanas. (2006). *Estabilización de suelos y taludes*. Perú.
- Chávez Negrete, C.; Espinosa Arreola, J. de J.; Alarcón Ibarra, J. & Arreygue Rocha, J. E. (2016). *Colapso por humedecimiento en los terraplenes de la autopista Páztcuaro-Uruapan*. Ingeniería, Investigación y Tecnología, 17(2), 201–210. <https://doi.org/10.1016/j.riit.2016.06.005>
- De la O Hinostroza, S. (2016). *Anatomía y propiedades de la madera de primera y tercera corta de eucalyptus globulus Labill-Huanchar*. Concepción.
- Ghoshal, G. & Singh, D. (2020). *Synthesis and characterization of starch nanocellulosic films incorporated with Eucalyptus globulus leaf extract*. International Journal of Food Microbiology, 332(June), 108765. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2020.108765>
- Jorge, O. R.; Gabriel, A. G. & Moisés, J. C. (2015). *Caracterización del subsuelo y análisis de riesgos geotécnicos asociados a las arcillas expansivas de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez*. Ingeniería, Investigación y Tecnología, 16(3), 453–470. <https://doi.org/10.1016/j.riit.2015.05.010>
- Julio César, L. V.; Gustavo, G. F. & Eduardo, R. G. (2013). *Estimación de esfuerzos efectivos a partir del parámetro χ de Bishop en una arena limosa*. Ingeniería, Investigación y Tecnología, 14(2), 139–151. [https://doi.org/10.1016/s1405-7743\(13\)72232-7](https://doi.org/10.1016/s1405-7743(13)72232-7)
- Terzagui, Karl & Peck, Ralph B. (1980) *Mecánica de suelos en la ingeniería práctica*. Segunda edición- industrias graficas M.Pareja-Montaña, 16-Barcelona
- Moreno Maroto, J.; Alonso Ascárate, J. & O’Kelli, B. (2021). *Review and critical examination of fine-grained soil classification systems based on plasticity*. Applied Clay Science, 200.
- Oceano, P. (n.d.). *Diccionario de la lengua española*.
- Pan, M.; Lei, Q. & Zhang, H. (2020). *Prediction and confirmation of active ingredients in Eucalyptus globulus Labill leaves*. Industrial Crops and Products, 154(May), 112631. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112631>
- Ramabhadran, Ramkrishnan; Sruthy, M.; Sharma, Animesh & Viswanathan, Karthik. (2017). *Effect of random inclusion of sisal fibres on strength behavior and slope stability of fine grained soils*. Materials Today: Proceedings, 5(11), 25313–25322. Department of Civil Engineering, Amrita School of Engineering, Coimbatore, Amrita Vishwa Vidyapeetham, Amrita University, I.
- Rahimi, E.; Malekzadeh, A. & Ahmad Ghasemy. (2018). *Introduction of a new method for determining the particle-size distribution of fine-grained soils*. (Department of Engineering geology, Damghan University, Damghan, I. R. I. MEASUR 5899, 1, 1–27.
- Salimnezhad, A.; Soltani Jigheh, H. & Soorki, A. A. (2021). *Effects of oil contamination and bioremediation on geotechnical properties of highly plastic clayey soil*. Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering. <https://doi.org/10.1016/j.jrme.2020.11.011>
- Udawattha, C.; Eranga Da Silva, D.; Himahansi, G. & Rangika, H. (2018). *Performance of Natural Polymers for Stabilizing Earth Blocks*. Materialia. Vol. 2, 23–32.