

Estabilización de la subrasante arenosa con ceniza de cebada y yeso en una localidad costera peruana

Stabilization of sandy subgrade with barley ash and gypsum in a peruvian coastal locality

Frank Antony Zapata Terrones 
Universidad Cesar Vallejo
Lima, Perú
fazapataz@ucvvirtual.edu.pe

Havickzoon Ruisdael Vásquez Gonzales 
Universidad Cesar Vallejo
Lima, Perú
hrvasquezv@ucvvirtual.edu.pe

Fecha de recepción: 01/08/2023 / **Fecha de aprobación:** 21/11/2023

RESUMEN

En la actualidad, las carreteras que conectan los asentamientos humanos del distrito de Nuevo Chimbote, ubicado en el departamento de Ancash, no están pavimentadas. La mayoría de estas rutas están unidas por trocha carrozable con una fina capa de agregado grueso, causando daños a los vehículos y dificultando el transporte de manera rápida. La investigación realizada ha arrojado resultados que pueden ser beneficiosos para estabilizar el suelo en zonas arenosas al añadirle ceniza de cebada y yeso. En cuanto al análisis granulométrico, según el sistema de clasificación SUCS, el suelo se clasifica como SP (arenas mal clasificadas, arenas gravosas). Conforme al sistema de clasificación AASHTO, se clasifica como A-3(0), lo que significa que está formado por arena fina, sin limo ni arcilla fina. El suelo natural sin aditivos no presenta plasticidad, ya que es arenoso. La densidad seca máxima de la muestra natural es 1,844 g/cm³, y añadiendo 3 %, 5 % y 8 % de cemento (CC) junto con 10 % de yeso (Y), las densidades secas obtenidas son de 1,766 g/cm³, 1,745 g/cm³ y 1,686 g/cm³, respectivamente. En cuanto a la capacidad portante del suelo, el California Bearing Ratio (CBR) al 100 % muestra un 20,29 % para el suelo natural. Sin embargo, añadiendo 3 %, 5 % y 8 % e CC junto con 10 % de Y, los valores de CBR a una penetración de 0,1" son 29,01 %, 42,20 % y 30,92 %, respectivamente.

Palabras clave: Estabilización, suelo, ceniza, cebada, yeso.

ABSTRACT

Currently, the roads connecting the human settlements in the district of Nuevo Chimbote, located in the Ancash department, are not paved. The majority of these routes are connected by dirt tracks with a thin layer of coarse aggregate, causing damage to vehicles and making smooth transportation difficult. The conducted research has yielded results that can be beneficial for soil stabilization in sandy areas by adding barley ash and gypsum. Regarding the granulometry analysis, according to the SUCS classification system, the soil is categorized as SP (Poorly graded sands, gravelly sands). As for the AASHTO classification system, it falls under A-3(0), which means it consists of fine sand, without any silt or clay fines. The natural soil without any additives does not exhibit plasticity as it is sandy. The maximum dry density of the natural soil is 1,844 g/cm³, and by adding 3 %, 5 %, and 8 % of cement (CC) along with 10 % of gypsum (Y), the dry densities obtained are 1,766 g/cm³, 1,745 g/cm³, and 1,686 g/cm³, respectively. Concerning the soil's bearing capacity, the California Bearing Ratio (CBR) at 100 % shows 20,29 % for the natural soil. However, by adding 3 %, 5 %, and 8 % of CC along with 10 % of Y, the CBR values at a penetration of 0.1" are 29,01 %, 42,20 %, and 30,92 %, respectively.

Keywords: Stabilization, soil, ash, barley, gypsum.

Introducción

En diversas partes del mundo, las redes viales, cruciales para el desarrollo continuo de los países, enfrentan problemas debido a la falta de construcción o al deterioro, lo que genera inquietud y desafíos para los gobiernos. Por lo general, la construcción y el mantenimiento de carreteras representa la partida más costosa en los presupuestos gubernamentales a nivel global, con un costo anual que puede rondar el billón de dólares (Junco del Pino, 2010).

En Perú existe una red vial aproximada de 26 017,07 km y de la cual 12 444,93 km se hallan pavimentados, lo que representa un 48 %, 11 150,91 km se encuentran en estado de subrasante lo que representa un 43 %, y el resto se halla en proyección, que representa al 9 % (MTC, 2015).

Asimismo, cabe mencionar que el uso de aditivos químicos para la estabilización de un suelo suele ser provechoso en distintos aspectos, como aumentar las propiedades de resistencia a la compresión, disminuir el índice de plasticidad y aumentar de la durabilidad para soportar condiciones ambientales desfavorables (Behnood, 2018).

Es por ello que cuando se habla de suelo, se refiere a una delgada capa que cubre la corteza del planeta que varía de grosor de unos pocos centímetros hasta varios metros y que contiene minerales (45 %) los cuales son derivados de la roca, contiene aire (25 %), agua (25 %) y, por último, 5 % de materia orgánica (Montaño Arias *et al.*, 2017).

Cabe recalcar que el suelo tiene usos muy diversos, es por ello que estudiar las propiedades establece su comportamiento constituyendo una gran parte importante en la cartografía geotécnica (Pereira Teixeira-Pires *et al.*, 2016)

Siendo así que los suelos exhibidos al aire libre pueden mostrar daños por condiciones ambientales tales como lluvia, radiación UV, humedad; de allí el alcance de comprender la incidencia de estos factores, individuales y combinados, sobre sus cualidades (Llano *et al.*, 2020).

Asimismo, la resistencia que tienen los suelos en relación con la deformación y fluidez encontrándose bajo la acción mecánica va a depender mucho del

contenido de humedad en el que se encuentre; la resistencia mecánica se debe a las fuerzas de cohesión de la estructura del suelo incorporando las propiedades de friabilidad, dureza, adherencia y, por último, de plasticidad (Ríos Cabrera *et al.*, 2010).

Es por ello que también se habla sobre el suelo arenoso ya que normalmente es considerado como un suelo inerte estructuralmente, esto se debe a que poseen una estructura frágil que del mismo modo carecen de propiedades de expansión y contracción (Hossne, 2014), por lo que resulta necesario incorporar aditivos para mejorar esas condiciones.

Para el mejoramiento de suelos arenosos, es considerado de suma importancia el uso de la ceniza de cebada. La producción de cebada ocupa el quinto lugar a nivel de producción en todo el mundo (INEC, 2010); donde el 50 % del área y 63 % de la cantidad de su producción se dan en Europa y su producción alcanza los 90 millones de toneladas al año, ya que es un recurso importante en la industria alimentaria y más aún en la industria cervecera (Lema Aguirre *et al.*, 2017).

Otra opción ha sido el uso de la ceniza, que es un polvo muy fino silicoaluminoso el cual contiene propiedades puzolánicas y está compuesto por pequeñas partículas esféricas y huecas. En su mayoría, se utiliza como relleno para la elaboración de cemento, no obstante, estudios científicos han demostrado que la ceniza contiene elementos los cuales permiten ser utilizados en distintos tipos de aplicaciones (Amaya *et al.*, 2005).

Asimismo, es importante mencionar también el uso de la plasticidad ya que es una propiedad que tienen los suelos para poder deformarse, hasta un cierto límite, sin romperse. Mediante esto se puede medir el comportamiento del suelo (Chirinos *et al.*, 2021).

Es por ello que también se tiene en cuenta el uso del proctor modificado, ya que se utiliza para encontrar la máxima densidad seca de las muestras extraídas, y finalmente el ensayo de CBR (Californian Bearing Ratio), el cual utilizó para poder encontrar la capacidad de soporte que tiene la muestra de suelo en su estado natural y con las adiciones respectivas (Rajapakse, 2017).

En relación con estudios ya realizados por arqueólogos, refieren que el uso del yeso viene

desde hace mucho tiempo atrás, en el cual lo utilizaban de manera artesanal, pese a ello, al pasar del tiempo en el siglo XVIII se inicia los estudios en relación al yeso llegando a realizarse el proceso de industrialización en el cual se controla todo el proceso de fabricación incorporando algunos productos como aditivos (Negrin Hernandez *et al.*, 2019).

Con el paso del tiempo, la aplicación de yeso ha sido fundamental para reducir los riesgos de solidificación en los suelos, asimismo cabe mencionar que aún se practica en algunas regiones áridas y semiáridas. Es importante tener en cuenta que, al aplicar el yeso, se mejora la propiedad del suelo ya que se desplaza el Na^+ y se intercambia con el Ca^{2+} , obteniendo como resultado un aumento de fuerza iónica en las partículas del suelo (López Aguilar *et al.*, 2012).

En relación con los conceptos mencionados, se busca como objetivo determinar qué tan positivo resulta aplicar la ceniza de cebada y el yeso en la estabilización de suelos de la carretera del asentamiento humano Lomas del Sur.

Metodología

La presente investigación es de tipo aplicativo, con un diseño de investigación experimental puro y un enfoque cuantitativo, como población de la investigación, se tiene el reconocimiento de 1 km de la carretera del asentamiento humano Lomas del Sur, Nuevo Chimbote, la cual será la zona de estudio para extraer las calicatas de las zonas críticas, en donde se identifica tres calicatas: C-01, C-02, C-03. Se procede a realizar la excavación a 1.50 m de profundidad, con 1 m de largo y 1 m de ancho, respectivamente; seguidamente; las muestras extraídas de las calicatas son llevadas al laboratorio para llevar a cabo los ensayos respectivos.

Cabe recalcar que a través de un proceso de calcinación del grano de cebada y un proceso de secado se obtuvo la ceniza de cebada de manera natural utilizando fuego directo, a comparación del yeso que se obtuvo de manera comercial.

Se procedió con determinar la humedad natural que posee la muestra en estudio obtenida en campo,

para luego realizar su proceso de secado y proceder con el ensayo de granulometría.

De la misma manera, se pasó la muestra del suelo natural por los tamices, para de este modo, determinar la clasificación del suelo mediante la granulometría, siendo esta la división de partículas en porcentajes distintos de los diferentes tamaños del agregado en una determinada muestra (Toirac Corral, 2012).

Del mismo modo se realizó el ensayo de proctor modificado para lograr determinar cuál es la máxima densidad seca (MDS) en las muestras obtenidas, y finalmente, se realizó el ensayo de California Bering Ratio (CBR) para poder determinar la capacidad de soporte que tiene la muestra de suelo natural con las adiciones respectivas.

En la presente investigación, la ceniza de cebada y yeso son considerados como agentes que pueden llegar a estabilizar el suelo, por lo que se probó distintas proporciones de 3 %, 5 % y 8 % y de esta manera, determinar las propiedades físicas en el laboratorio.

Asimismo, se puede evidenciar en la Figura 1 un resumen de todos los procesos que se llevaron a cabo.

Análisis de resultados

En el Cuadro 1, se aprecian los resultados de la muestra natural, donde se practicaron los ensayos de laboratorio para la clasificación SUCS de acuerdo con la norma (NTP 339.134-2014) y AASHTO según la norma (NTP 339.135-2014) donde se obtiene de resultados según SUCS, una clasificación SP, el cual se les denomina a las arenas pobremente graduadas y del mismo modo con el sistema AASHTO, se ubica en el grupo A-3(0).

En la Figura 2, se puede apreciar que el mayor porcentaje que pasa se encuentran entre los tamices N° 4 y N° 20, debido a que es un suelo arenoso.

En el cuadro 2, según la NTP 339.129 y el Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC, 2014), un valor mínimo de I.P. = 0 identifica un material no plástico (NP).

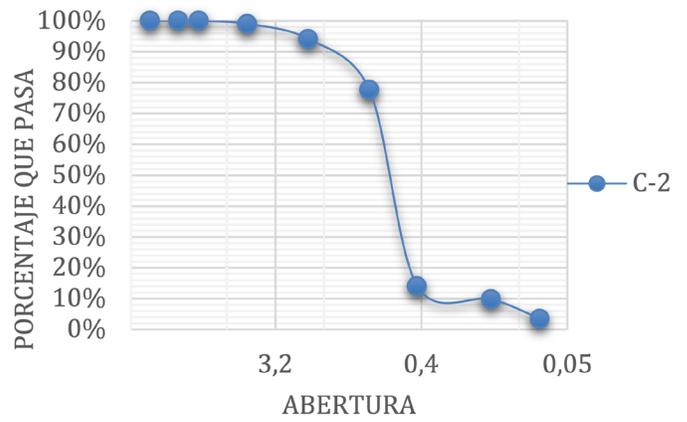
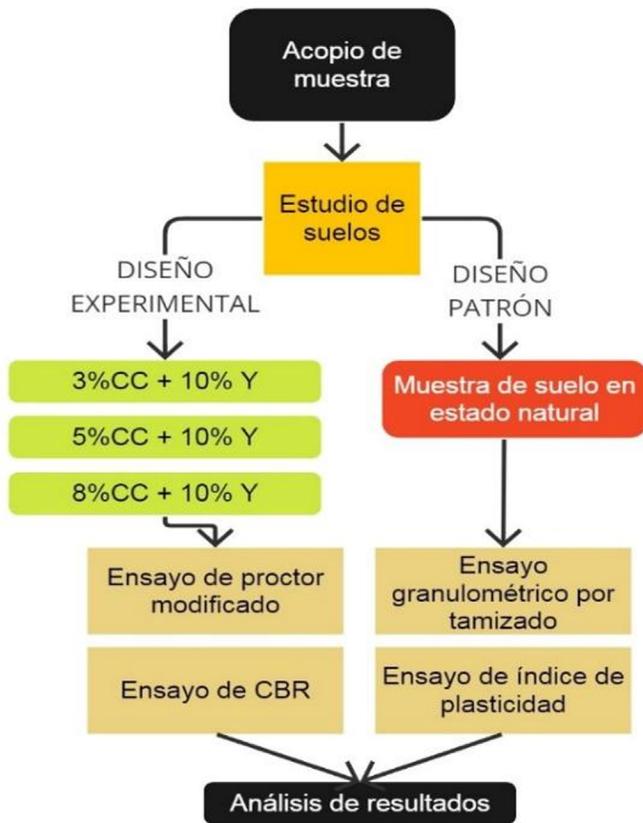


Figura 2. Curva granulométrica de suelo natural de la calicata C-02

Figura 1. Esquema de diseño de investigación y ensayos de laboratorio

Cuadro 1. Granulometría y su clasificación según SUCS y AASHTO de la muestra del suelo natural

Tamiz	Abertura	Suelo natural
3/4"	19,050	100,00
1/2"	12,700	100,00
3/8"	9,525	10,00
N°4	4,760	99,00
N°10	2,000	94,10
N°20	0,840	77,60
N°40	0,426	14,10
N°100	0,149	9,80
N°200	0,074	3,50
PLATO		0
SUCS		SP
AASHTO		A-3(0)

Cuadro 2. Límites de consistencia de la muestra de suelo natural

Límites de consistencia			
Identificación	L.L. (%)	L.P. (%)	I.P. (%)
Muestra suelo natural	NP	NP	NP

Cuadro 3. Óptimo contenido de humedad (CHO) y densidad seca máxima (MDS) con la adición en diferentes proporciones de ceniza de cebada y yeso

Muestra	CHO (%)	MDS (g/cm ³)
Suelo natural	9,11	1,844
S + 3 % CC + 10 % Y	8,29	1,766
S + 5 % CC + 10 % Y	8,19	1,745
S + 8 % CC + 10 % Y	9,31	1,686

Los resultados del suelo natural no presentan límites de consistencia, ya que es un suelo arenoso y las arenas no tienen plasticidad.

Del Cuadro y de la Figura 3, los resultados del suelo natural dan una densidad seca máxima del 1,844 g/cm³, la cual va disminuyendo conforme se va realizando las adiciones de ceniza al suelo natural debido a la reacción de la ceniza con el yeso dando los siguientes valores; S + 3 % CC + 10 % Y da un valor de 1,766 g/cm³, y en la muestra S + 5 % CC + 10 % Y da un valor de 1,745 g/cm³ y de la tercera adición de S + 8 % CC + 10 % Y el resultado es de 1,686 g/cm³, en el cual se puede comparar con la investigación del autor Canto, (2019), donde se evidencia que la máxima densidad seca y contenido humedad disminuyen, mientras que el porcentaje de ceniza aumenta llegando a una conclusión de que el suelo requiere de menos agua para ser compactado.

En el Cuadro y en la Figura 4, se visualiza el resultado del CBR del suelo natural, donde el ensayo de CBR al 100 % arrojó un valor de 20,29 % a una penetración de 0,1, lo que equivale a 2,54 mm, según el Manual de Carreteras: "Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos"; la muestra del

Cuadro 4. Ensayo de CBR del suelo natural y del suelo más la adición de ceniza de cebada y yeso

Muestra	Penetración	CBR al 100 %
Suelo natural	1"	20,290
	2"	24,019
S + 3 % CC + 10 % Y	1"	29,014
	2"	35,631
S + 5 % CC + 10 % Y	1"	42,203
	2"	52,165
S + 8 % CC + 10 % Y	1"	30,928
	2"	39,583

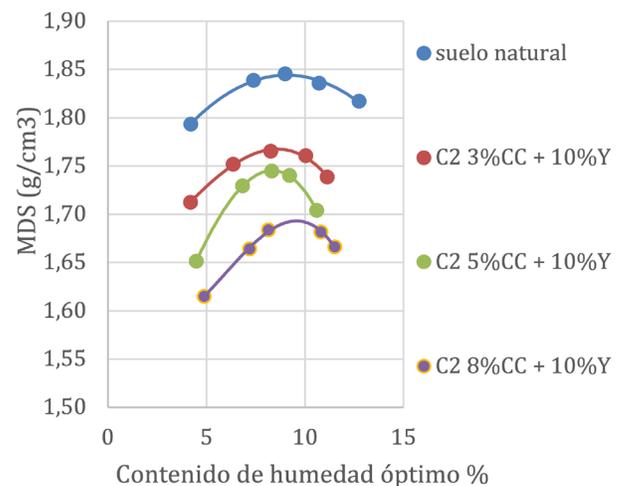


Figura 3. Proctor modificado del suelo natural y suelo con adición de ceniza de cebada y yeso.

suelo arenoso en su estado natural se considera óptimo para una subrasante. Por lo consiguiente, se puede apreciar que el CBR máximo se obtuvo al adicionar el 5 % de ceniza de cebada y 10 % de yeso, por lo que se puede decir que se logró aumentar la capacidad portante del suelo natural con este porcentaje de adición de ceniza, el cual dio un valor de 42,20 % de CBR.

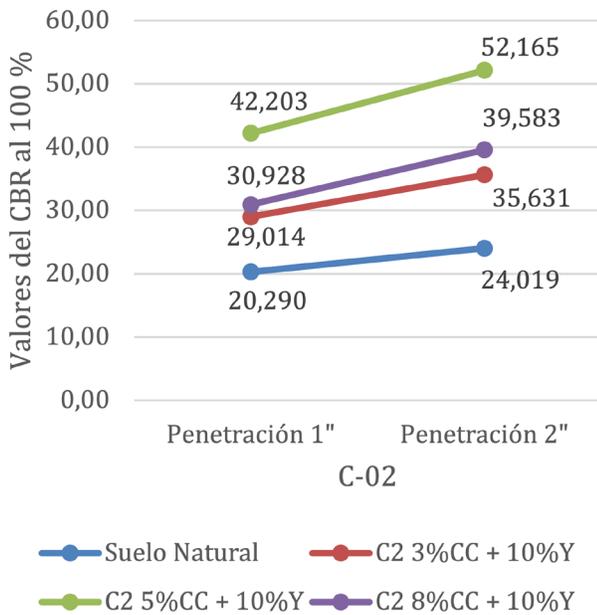


Figura 4. Ensayo de CBR del suelo natural y suelo con adición de ceniza de cebada y yeso

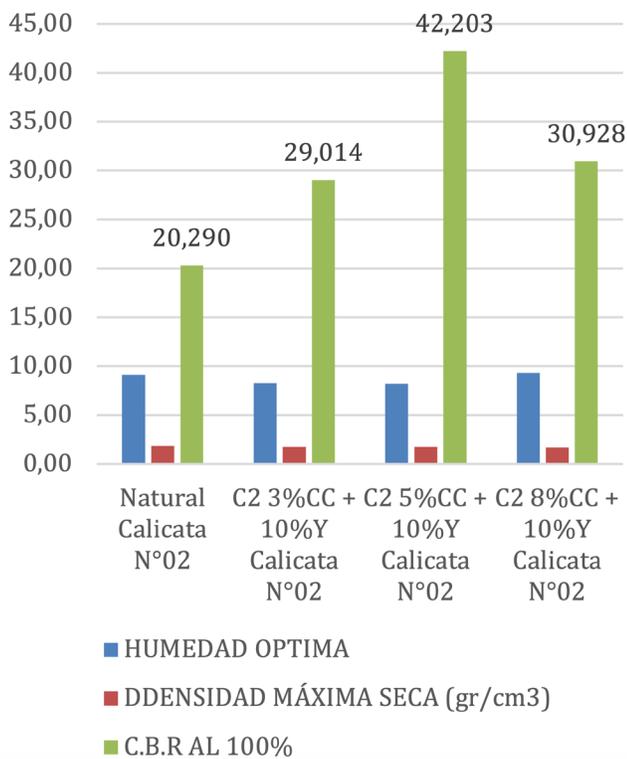


Figura 5. Ensayo de CBR de suelo natural y suelo con adición de ceniza de cebada y yeso

En la Figura 5 se visualiza como aumenta gradualmente la resistencia del suelo natural al ir adicionando los porcentajes de ceniza de cebada, donde la resistencia máxima se logra con la calicata C-02 + 5 % CC + 10 % Y, CBR al 100 % es de 42,203 %, que en este caso sería el porcentaje óptimo de adición donde el suelo alcanza su máxima resistencia, mientras que al seguir añadiéndole más porcentaje se observa que empieza a disminuir, así como se aprecia al añadirle el 8 % de ceniza de cebada, dando un valor de CBR al 100 % de 30,928 %, lo que concuerda con Mamani Gonzalo y colaboradores (2023), en base a los resultados de su investigación, ya que refiere que al aumentar el porcentaje de ceniza, se logra obtener un aumento de la capacidad de soporte del suelo al realizar el ensayo de CBR.

Conclusiones

Se concluye que la muestra obtenida de la calicata C-02 de suelo natural, no presenta índice de plasticidad, ya que es un suelo arenoso. Según la NTP 339.129 y el Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotécnica y Pavimentos del MTC (2014), el valor mínimo de I.P. = 0 indica que es un material no plástico (NP), lo que se comprueba al obtener un IP = 0 en los resultados de laboratorio, y nuestro suelo arenoso en investigación pertenece a ese rango. La densidad seca máxima adicionando al suelo natural 3 %, 5 % y 8 % de ceniza de cebada, más 10 % yeso, resulta en 1,766 g/cm³, 1,745 g/cm³ y 1,686 g/cm³, respectivamente; disminuyendo el valor del suelo natural que se tuvo (1,844 g/cm³), obteniendo resultados favorables ya que al disminuir dicho valor, implica que va requerir el uso de menos agua para su compactación. La capacidad de soporte del CBR logró aumentar a medida que los porcentajes de ceniza iban incrementando, como es el caso de la adición de 3 % CC y 5 % CC, en los que se llegó a obtener los valores de 29,014 % y 42,203 % en su CBR al 100 %, siendo favorable ya que se puede observar que se logra estabilizar el suelo, mientras que al incrementar el 8 % CC, el CBR disminuye a 30,928 %, esto quiere decir que el porcentaje óptimo donde el suelo alcanza su mayor capacidad de soporte se da cuando se le añade el 5 % CC.

Referencias

- Amaya, J., Tristancho, A., y Sánchez, F. J. (2005). *Utilización de ceniza volante y catalizador FCC gastado en la recuperación de cromo (III) de los efluentes líquidos de las curtiembres*. *Ingeniería e Investigación*, 25(1), 39-48.
- Behnood, A. (2018). Soil and clay stabilization with calcium-and non-calcium-based additives: A state-of-the-art review of challenges, approaches and techniques. *Transportation Geotechnics*, 17, 14-32. <https://doi.org/10.1016/j.trgeo.2018.08.002>
- Ccanto, D. A. (2019). *Estabilización de suelo arcilloso con cenizas de Bagacillo (CB) para el mejoramiento de la sub rasante de la Av. Universitaria, Lima 2019* (Tesis de grado). Universidad Cesar Vallejo, Perú.
- Chirinos, E., Rodríguez, E., y Muñoz, S. (2021). Métodos de estabilización de suelos arcillosos para mejorar el CBR con fines de pavimentación: una revisión literaria. *Suelos Ecuatoriales*, 51(1), 72-92.
- Hossne, A. (2014). Elastoplasticidad de un suelo franco arenoso de sabana. *Saber*, 26(2), 153-167.
- INEC (Instituto Nacional de Estadística y Censos). 2010. Sistema agroalimentario de la cebada. Quito, ECU. Recuperado de: www.inec.gob.ec
- Junco del Pino, J. M., (2010). Estabilización de Suelos mediante el empleo de Sales Cuaternarias. *Revista de Arquitectura e Ingeniería*, 4(3).
- Lema-Aguirre, A. C., Basantes-Morales, E. R., y Pantoja-Guamán, J. L. (2016). Barley (*Hordeum vulgare* L.) yield with normal and coated urea in Pintag, Quito, Ecuador. *Agronomía Mesoamericana*, 28(1), 97-112. <https://doi.org/10.15517/am.v28i1.22705>
- Llano, E., Ríos, D., y Restrepo, G. (2020). Evaluación de tecnologías para la estabilización de suelos viales empleando intemperismo acelerado. Una estrategia de análisis de impactos sobre la biodiversidad. *Tecnológicas*, 23(49), 185-199. <https://doi.org/10.22430/22565337.1624>
- López-Aguilar, R., Rodríguez-Quezada, G., Naranjo-Murillo, A., Beltrán-Morales, L. F., Troyo-Diéguez, E., Casanova-Cruz, A., y Peralta-Patrón, O. (2012). Uso de yeso para una agricultura orgánica sustentable en zonas áridas y semiáridas. *Interciencia*, 37(8), 594-601.
- Mamani Gonzalo, G., De La Cruz Vega, S. A., Vega Neyra, C. S., Yllescas Rodríguez, P. M., y Rea Olivares, W. M. (2023). Estabilización de la subrasante con ceniza de quinua y cal en la Carretera Lago Sagrado, Puno, Perú. *Infraestructura Vial*, 25(44), 1-7. <https://doi.org/10.15517/iv.v25i44.53569>
- MTC (2014). Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos. Aprobado por resolución directoral n° 10-2014- MTC/14. Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC), Perú.
- Montaño Arias, N., Navarro Rangel, M., Patricio López, I., Chimal Sánchez, E., y Miguel de la Cruz, J. (2018). *The soil and its multifunctionality: What happens down there?* *CIENCIA Ergo-Sum*, 25(3). <https://doi.org/10.30878/ces.v25n3a9>
- Negrin-Hernández, L. I., Pérez-Ruiz, E. A., Cárdenas-Olivier, N., de Lima-Nunes, J. D., Pinheiro-de Amorim, F., Figueiredo-Neto, A., y Dantas, A. C. (2019). *Caracterización mecánica del material compuesto de matriz yeso reforzado con fibras de caña de azúcar*. *Ingeniería Mecánica*, 22(2), 79-84.
- MTC, (2015). *Especificaciones técnicas generales para construcción*. Aprobado por resolución directoral n° 22-2013- MTC/14. Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC), Perú.
- Pereira Teixeira-Pires, G. J., Fernández-Núñez, H. M., y Sacasas León, C. (2016). Modelación de la aptitud ingeniero-geológica de los suelos de la ciudad de Luanda. *Minería y Geología*, 32(2), 17-34.
- Rajapakse, R. (2017). *Construction Engineering Design Calculations and Rules of Thumb*. Butterworth-Heinemann, 355-370. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809244-6.00020-2>

Ríos Cabrera, M. M., Ruiz Dáger, M., Maduro Rojas, R., y García, H. (2010). Estudio exploratorio de las propiedades físicas de suelos y su relación con los deslizamientos superficiales: Cuenca del río Maracay, estado Aragua-Venezuela. *Revista Geográfica Venezolana*, 51(2), 225-247.

Toirac Corral, J. (2012). Caracterización granulométrica de las plantas productoras de arena en la República Dominicana, su impacto en la calidad y costo del hormigón. *Ciencia y Sociedad*, XXXVII(3), 293-334. <https://doi.org/10.22206/cys.2012.v37i3.pp293-334>.

Los contenidos de este documento, representan insumos dentro de un proceso de gestión del conocimiento que, por sí mismos, a priori, no constituyen una declaración de una normativa, procedimiento, criterio o herramienta oficial de acatamiento obligatorio en la gestión de proyectos de obra vial pública de Costa Rica, por parte del LanammeUCR. Cualquier posición oficial para Costa Rica sobre aspectos puntuales contemplados en este documento, se realizarán por los medios que corresponden, según los lineamientos de la Universidad de Costa Rica, de la Ley 8114 y su Reglamento al Art 6 (Decreto 37016 – MOPT).