

RESUMEN

Los suelos granulares no cohesivos de la región Lambayeque presentan características físicas y mecánicas, que dificultan los procesos de diseño y construcción de las diversas infraestructuras que se ejecutan sobre ella, es por tal motivo que aplicando bacterias calcificantes se buscó mejorar sus propiedades con el fin de estabilizarlo. Para dicho proceso se utilizó el método inductivo aplicando la experimentación y conocimientos en biotecnología, seleccionando catorce muestras de suelos del tipo SP extraídas dentro de la región Lambayeque y las que fueron sometidas a diversas pruebas en estado natural y aplicando bacterias calcificantes que permitieron evaluar los resultados obtenidos. Los parámetros que garantizan la estabilización del suelo son: disminuir los espacios vacíos, la permeabilidad y el aumento de la cohesión, que se lograron debido a la precipitación de Carbonato de Calcio producto de la acción de las bacterias calcificantes en el medio donde se inocularon aumentando su presencia de 0,32 a 5,44% como valor máximo en las muestras de la provincia de Chiclayo, y la alcalinidad del suelo aumento en un rango de 3,85 a 9,37%. Los valores obtenidos en peso específico relativo aumento de 9,5 a 13,5%, que indican la disminución de los espacios vacíos, de igual forma la permeabilidad manifiesta una disminución de 9,5 a 22,7% y además la cohesión aumento de 0,074 a 0,1703 y de 0,0022 a 0,1632. La adición de bacterias calcificantes mejoran las propiedades físicas y mecánicas asegurando la estabilidad de los suelos granulares no cohesivos en la región Lambayeque.

Palabras Clave: Suelos Granulares, bacterias, biotecnología, calcita.

ABSTRACT

The non-cohesive granular soils of the Lambayeque region have physical and mechanical characteristics that hinder the design and construction processes of the various infrastructures that run on it, which is why applying calcifying bacteria sought to improve their properties in order to stabilize it. For this process, the inductive method will be used applying the experimentation and knowledge in biotechnology, using samples of SP-type soils extracted within the Lambayeque region and those that were sometimes subjected to various tests in the natural state and applying calcifying bacteria that allow the recognition of results expected. The parameters that affect soil stabilization are: decrease empty spaces, permeability and increased cohesion, which were achieved due to the precipitation of calcium carbonate resulting from the action of calcifying bacteria in the environment where they were inoculated its presence from 0,32 to 5,44% as maximum value in the samples of the province of Chiclayo, and the alkalinity of the soil increased in a range of 3,85 to 9,37%. The values obtained in relative specific weight increase from 9,5 to 13,5%, which indicate the decrease of the empty spaces, in the same way the permeability manifests a decrease of 9,5 to 22,7% and also the cohesion increased from 0,074 to 0,1703 and from 0,0022 to 0,1632. The flexibility of calcifying bacteria improves physical and mechanical properties ensuring the stability of non-cohesive granular soils in the Lambayeque region.

Keywords: Soils, bacteria, biotechnology, calcium calcite.

© Los autores. Este artículo es publicado por la Revista UCV HACER Campus Chiclayo. Este es un artículo de acceso abierto, distribuido bajo los términos de la Licencia Creative Commons Atribución - No Comercial - Compartir Igual 4.0 Internacional. (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>), que permite el uso no comercial, distribución y reproducción en cualquier medio, siempre que la obra original sea debidamente citada.

Recibido: 12 de marzo de 2020

Aceptado: 16 de abril de 2020

Publicado: 20 de abril de 2020

INTRODUCCIÓN

Los diversos estudios relacionados a la interacción suelo – estructura, han buscado mejorar las propiedades físicas y mecánicas del suelo, siendo la estabilización según Álvarez (2010), un conjunto de acciones físicas y químicas.

Según Occupational Safety & Health Administration (2015) los procedimientos de estabilización químicos suponen un riesgo para los operarios que los emplean, estos pueden generar complicaciones respiratorias y dérmicas, así Hakkinen y Vares (1998, p.14), indican que la utilización de insumos químicos en la estabilización de los suelos puede afectar directamente al medioambiente.

Por ello que la presente investigación tuvo como objetivo principal estabilizar el suelo del tipo granular no cohesivo (SP) aplicando bacterias calcificantes denominadas actinomicetos del tipo *Streptomyces*, que son un grupo de bacterias gram positivas, cuyo hábitat natural es el suelo (Fernández de Heredia, 1996, p.1), además son bacterias BGP aerobias, con un contenido de guanina más citosina de $69 \pm 78\text{mol}\%$. Presentan hifas largas y ramificadas, con un diámetro de $0,5 - 2,0 \mu\text{m}$ que raramente fragmentan. El género *Streptomyces* presenta la característica de producir esporos en forma endógena, por segregación del protoplasma, en cuerpos cilíndricos u ovals. Las cadenas de esporos son generalmente espiraladas (Amigot, 2009, p.44) y cuya característica principal es inducir la precipitación de carbonato de calcio en el medio donde se aplique (Flores & Rivas, 2015, pp. 38-39), teniendo como propósito disminuir los espacios vacíos, la permeabilidad y aumentar la capacidad de soporte, características primordiales en la estabilización de los suelos.

Cabe resaltar que dentro los procesos aplicados hemos utilizado conocimientos relacionados a la biotecnología que garantizan una tecnología limpia y amigable con el medio ambiente, tales como los estudios realizados en bioremediación por Ismail, Joer, Randolph, y Kucharski (1999)

que aplicaron bacterias en el suelo para aumentar su capacidad mecánica, además de solucionar un problema social en el uso de suelos en la región Lambayeque justificando la realización del presente trabajo desde el punto de vista tecnológico, científico, ambiental, etc.

Entre los estudios realizados que se tomaron como referencia encontramos a Whiffin (2004) Microbial CaCO_3 precipitation for the production of biocement quien indica el tratamiento de las bacterias y su relación con la producción de carbonato de Calcio, Flores (2006, p.56) estabilización de suelos con Biocemento, encuentra una relación entre el comportamiento de la bacteria y la rigidez que toma el suelo durante el proceso de estudio, además Arrieta, Valencia y Echeverri (2011) Biomineralización aplicada a procesos Erosivos superficiales, estimuló la producción de precipitación carbonato de calcio por parte de las bacterias oriundas encontrando que la erodabilidad del suelo disminuye comparado con el suelo en condiciones normales y Daehyeon, Kyungho, y Dongwook (2013) Effects of Ground Conditions on Microbial Cementation in Soils, cuyo propósito es comprender y analizar los efectos de las condiciones del suelo sobre la cementación microbiana.

METODOLOGÍA

Todo proceso involucra un método de aplicación que se adapte a la naturaleza del estudio que se vaya a realizar, es por ello que analizando todos los métodos existentes, se aplicó el método Inductivo, característico por cuatro procesos que inicia con tabular cada hecho particular a partir de la observación y registro de sucesos, para luego clasificar y evaluar todos los resultados obtenidos que nos permite elaborar una teoría y contrastar nuestra hipótesis por medio de la experimentación realizando las diversas pruebas biológicas y a nivel de Mecánica de Suelos establecidas para el presente estudio

El Tipo de Investigación es experimental y tomando en cuenta que nuestro grado de control es mínimo, dentro de los tipos de investigación

experimental podemos decir que la investigación es preexperimental, que coincide con Hernández, Fernández y Baptista (2014) Los preexperimentos se llaman así porque su grado de control es mínimo (p. 141).

El diseño preexperimental utilizado es de preprueba / posprueba con un solo grupo, debido a que se aplicó una prueba previa al estímulo o tratamiento experimental, después se le administra el tratamiento y finalmente se le aplica una prueba posterior al estímulo.

La muestra se determinó tomando como referencia los resultados obtenidos de los antecedentes relacionados con nuestro estudio y bajo esa premisa la muestra es no probabilística del tipo intencional o conveniencia, suponiendo un procedimiento de selección orientado por las características de la investigación más que por un criterio estadístico de generalización (Hernández et al., 2014, p.189).

Se utilizaron 14 muestras obtenidas de un horizonte de suelo y que se reduce a tamaños, cantidades representativos y más pequeñas según procedimientos ((MTC, 2018, p.16), establecidos alrededor de toda la región Lambayeque y que se ubicaron tomando como referencia los mapas geotécnicos del Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI, 2013), del proyecto denominado “Plan de Prevención ante desastres: usos del suelo y medidas de mitigación”.

Todas las muestras analizadas son del tipo Maltal como lo sugiere la NTP 339.151 (2015), en una cantidad aproximada de 50 Kg, y que según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (NTP 339.134, 1999), son del tipo SP (arena mal gradada) e incluidas en la Norma E.050 (2006)

Dichas muestras fueron analizadas en forma natural a lo que le denominamos muestras no tratada (MNT), para después ser analizadas aplicando las bacterias calcificantes asignándole el nombre de muestras tratadas (MT).

Las bacterias calcificantes del tipo actinomicetos utilizadas para el tratamiento de estabilización se

obtuvieron del Laboratorio de Agrobiotecnología de la Universidad Señor de Sipán, que fueron estudiadas con antelación por Horna, Sialer, Incio, Hernández y Leiva (2014), quienes aislaron e identificaron sus características microscópicas y macroscópicas.

Localizadas las cepas de actinomicetos en estado de congelamiento, se procedió a recuperarlas y estabilizarlas un total de 15, siendo reconstituidas utilizando 40 ml de avena líquida elaborada con avena en hojuelas y sacarosa con un pH de 6,8, e inoculadas en 100 uL en aislamientos de criopreservados. Los medios se sometieron a un proceso de agitación de 120rpm por un periodo de 5 días a una temperatura de 20°C, (Sánchez y Corrales ,2005, pp. 21-29).

El banco utilizado para la estabilización se obtuvo sembrando las cepas en placas de agar avena con nistatina al 0.1% (v/v) por un periodo de 10 días a una temperatura de 25°C, obteniendo cepas viables para pases sucesivos en los agares en que se trabajó, observando colonias húmedas en los primeros días, pero convirtiéndose en opacas y pulverulentas.

Estando las bacterias reactivadas y reconocida la de mejor producción se procedió a inocularla en las muestras por medio de un sustrato que está compuesto por acetato de calcio en 2,5 gr., urea 10 gr, dextrosa 5gr.y levadura 4gr, disueltas en 1000 ml. Gómez, L. (2006, p. 55).

Los datos obtenidos fueron registrados en formatos por cada prueba de laboratorio realizada tanto para las muestras tratadas como no tratadas y cuyos resultados fueron analizados por la prueba t student para verificar que la estabilización de los suelos tipo SP si se estabilizan al aplicarse las bacterias calcificantes del tipo actinomicetos.

RESULTADOS

Los resultados obtenidos en las muestras analizadas antes y después del tratamiento, garantizan la estabilización de los suelos tipo SP, las mismas que paso a detallar en las siguientes figuras.

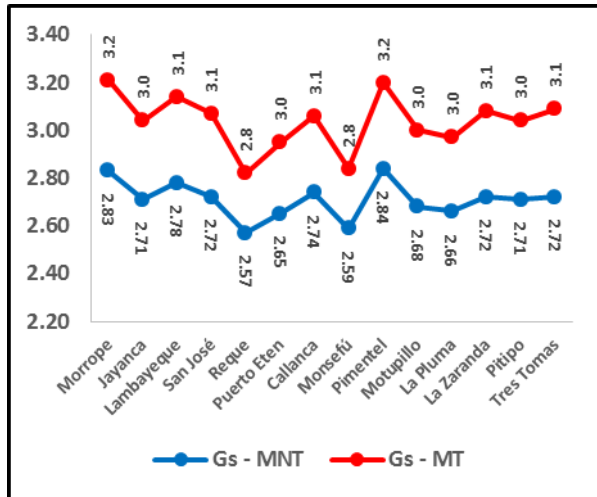


Figura 1. Comparación del Peso específico relativo (G_s) entre la MNT y MT.

Los valores de la MT y MNT con respecto al ensayo de G_s muestran un aumento notorio cuando inoculamos las bacterias, siendo la muestra 14 (Tres Tomas) donde se produjo el mayor aumento con un 13,60%, evidenciando una disminución de espacios vacíos presentes en el suelo.

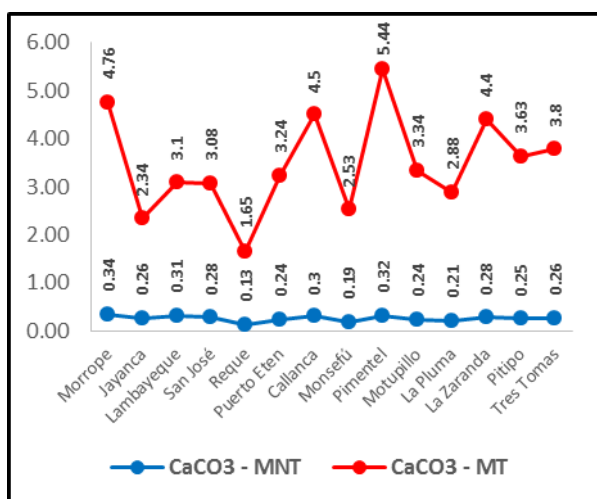


Figura 2. Comparación del $CaCO_3$ entre la MNT y MT.

La precipitación de carbonato de calcio al aplicarse las bacterias calcificantes aumenta tal

como se aprecia en los valores encontrados tales como: en la provincia de Lambayeque la Muestra 01 (Mórrope) aumento de un 0,34 a 4,76%, mientras en provincia de Chiclayo la Muestra 09 (Pimentel) presenta un aumento de un 0,32 a 5,44%. y en la provincia de Ferreñafe la muestra 12 (La Zaranda) aumento de un 0,28 a 4,40%.

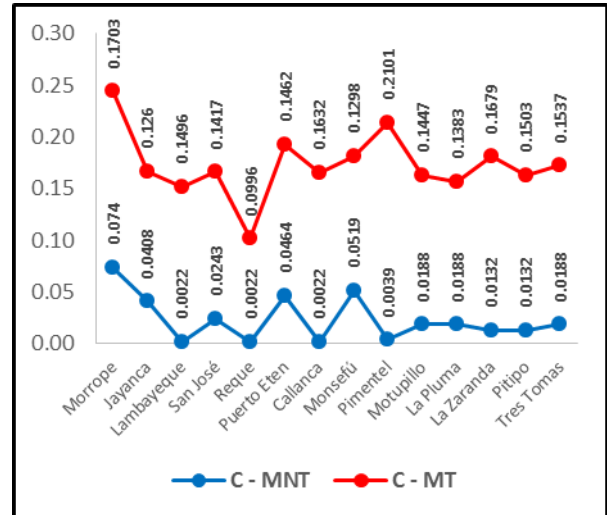


Figura 3. Comparación de la cohesión entre la MNT y MT.

Los valores de la MT con respecto a la MNT presentan un aumento en la Cohesión, debido al aumento de la precipitación de carbonato de calcio, encontrando en la muestra 03 (Lambayeque) un ascenso de 0,0022 a 0,1496, la Muestra 07 (Callanca) manifiesta un valor que van desde 0,0022 a 0,1632 y la Muestra 12 (La Zaranda) valores de 0,0132 a 0,1679.

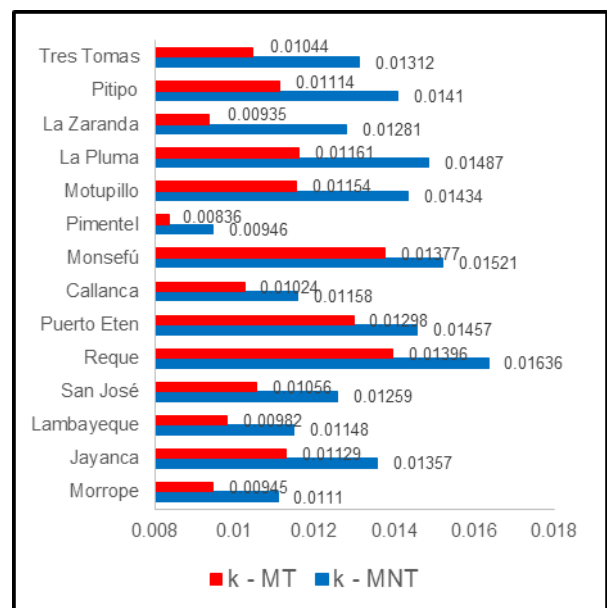


Figura 4. Comparación de la permeabilidad entre la MNT y MT.

Las MT con referencia a la MNT presenta una disminución en su permeabilidad (K), siendo la Muestra 02 (Jayanca) donde se produjo una mejora de 16,8%, la Muestra 05 (Reque) en 14,7% y la Muestra 12 (La Zaranda) en 22,7%, esta disminución es producto de la disminución de relación de vacíos, originado por la precipitación del carbonato de calcio.

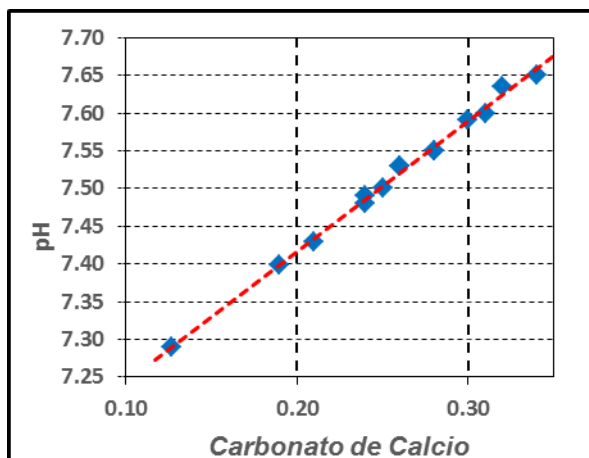


Figura 5. Correlación del pH Vs. Carbonato de Calcio de la Muestra no tratada.

Podemos observar que a mayor presencia de carbonato de calcio el pH presenta un mayor valor, siendo el valor mínimo encontrado en la Muestra 05 (Reque) con un 0,13% de CaCO_3 y un pH de 7,29, mientras que la Muestra 01 (Morrope) presenta el mayor valor con un 0,34% de CaCO_3 y un pH de 7,65.

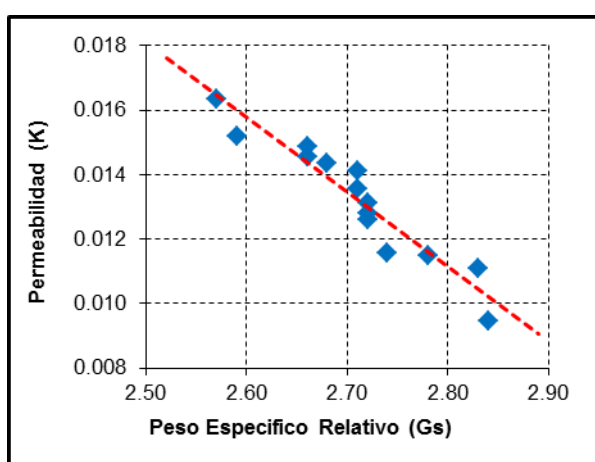


Figura 6. Correlación de la K Vs. Carbonato de Calcio de la Muestra no tratada.

Podemos observar que a mayor G_s la permeabilidad presenta menores valores debido a que presenta menos espacios vacíos, encontrado como valor máximo 2,84 para el G_s en la Muestra

09 (Pimentel) con una constante de permeabilidad de 0,00946 cm/seg.

DISCUSIÓN

A partir de los resultados encontrados, aceptamos la hipótesis alternativa general que establece que al aplicar bacterias calcificantes los suelos granulares no cohesivos de la región Lambayeque se estabilizan.

Estos resultados guardan relación con lo que sostiene Arrieta, Valencia y Echeverri (2011) en Aplicación de la biomineralización en suelos de la ciudad de Medellín para mitigar procesos erosivos, quienes señalan el aumento del peso específico relativo cuando se aplica el nutriente B4 para aumentar la precipitación de carbonato de calcio por medio de las bacterias nativas. Estos autores expresan que la biotecnología puede ser utilizada como herramienta para mejorar las propiedades mecánicas de los suelos, proporcionando mayor resistencia y estabilidad ante el ataque de agentes erosivos. Ello es acorde con lo que en este estudio se halla.

Pero en lo que no concuerda el estudio de los autores referidos con el presente, es que ellos mencionan que la aplicación se realizó en suelos de tipo limosos. En este estudio no se encuentran resultados con el mencionado tipo de suelo.

Al evaluar las propiedades físicas y mecánicas de las muestras correspondiente a los suelos granulares no cohesivos de la región Lambayeque, los resultados obtenidos evidencian que el tipo de suelo utilizado es del tipo SP, además en la figura 3 podemos evidenciar la bajo cohesión y el ángulo de fricción característico de este tipo de suelos, datos que al ser comparado con Flores (2006) en su tesis titulada estabilización de suelos con biocemento, quien concluyo que la muestra a estudiar según la clasificación SUCS es de características SP, con estos resultados se puede inferir que los suelos granulares no cohesivos presentan una mejor disposición al tratamiento con bacterias por su

permeabilidad y tamaño de partículas.

Cuantificando el efecto de la aplicación de las bacterias calcificantes en los suelos granulares no cohesivos de la región Lambayeque, los resultados obtenidos en las figuras 1,2,3 y 4, evidencian la mejora de los valores obtenidos aplicando las bacterias calcificantes los mismos que guardan relación con Flores (2006) en estabilización de suelos con biocemento, quien determino la disminución de la relación de vacíos y el aumento del pH, concluyendo que hay una mejora en las mencionadas propiedades cuando se aplica bacterias.

Sin embargo, hay una contradicción del autor con el presente, debido a que el ángulo de fricción interna y la cohesión no se observan mejoras cuando se aplican las bacterias.

La comparación de los resultados entre la muestra no tratada (MNT) y la muestra tratada (MT) demuestra que los suelos granulares no cohesivos de la región Lambayeque se estabilizan tal como se aprecia en los figuras del 1 al 6 al mejorar sus propiedades intrínsecas en concordancia con Whiffin (2004) en Microbial CaCO₃ precipitation for the production of biocement que concluye que se puede lograr una cementación económica de alta resistencia utilizando la precipitación de carbonatos por medio de bacterias a través de la hidrólisis de urea. Este es el primer estudio publicado que logra la consolidación efectiva de arena suelta mediante la aplicación de cultivos bacterianos.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos demuestran que los suelos granulares no cohesivos de la región Lambayeque se estabilizan al aplicarse bacterias calcificantes, producto de la precipitación de carbonato de calcio que aumento su presencia de 0,32 a 5,44%, dicha precipitación permitió que la alcalinidad del suelo aumente en un rango de 3.85 a 9,37%, que los espacios vacíos disminuyan por tal motivo el peso específico relativo aumento de 9,5 a 13,5%, de igual forma la permeabilidad

manifiesta una disminución de 9,5 a 22,7% y además la cohesión aumento de 0,074 a 0,1703 y de 0,0022 a 0,1632.

REFERENCIAS

- Administration Occupational Safety and Health (2015). United States department of labor. Washington, USA: osha.gov. Recuperado de <https://www.osha.gov/>
- Álvarez, J. (2010). Estabilización de subrasantes. [Diapositivas de PowerPoint]. Recuperado 2 de octubre, 2019, de <https://www.cuevadelcivil.com/2016/01/subrasantes-estabilizacion.html>
- Amigot, M. (2009). Control biológico de hongos toxigénicos presentes en forrajes conservados empleando cepas de *Streptomyces* (Tesis de doctorado). Universidad Nacional Del Litoral, Argentina.
- Arrieta, M., Valencia, Y. y Echeverri, O. (2011). Aplicación de la biomineralización en suelos de la ciudad de Medellín para mitigar procesos erosivos. *Boletín Ciencias de la Tierra*. 32 (1). Recuperado desde <http://www.scielo.org.co/pdf/bcdt/n32/n32a04.pdf>
- Daehyeon, K., Kyungho, P. y Dongwook, K. (2013). Effects of Ground Conditions on Microbial Cementation in Soils. *Materials*, 7 (1), 143-56.
- Fernández de Heredia, M. (1996). Análisis molecular de una nueva poliquétido sintetasa en *Streptomyces antibioticus* (Tesis de doctorado). Universidad Complutense de Madrid, España.
- Flores, F., Rivas, R. (2015). Bacterias Productoras de Biocemento. *Investigación y ciencia*. (463), 38-39
- Flores, J. (2006). Estabilización de suelos con Biocemento. Tesis de Maestría en Ingeniería Civil, Universidad de los Andes, Colombia.
- Gómez, E. (2006). Evaluación de las propiedades geotécnicas de suelos arenosos tratados con bacterias calcificantes (Tesis de Maestría). Universidad nacional de

- Colombia, Medellín Colombia.
- Häkkinen, T., Vares, S. (1998) "Environmental Burdens of concrete and concrete products", Technical Research Centre of Finland 1998
- Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, M. (2014). Metodología de la Investigación, sexta edición, México. McGraw-Hill / interamericana editores, s.a. De c.v.
- Horna, D., Sialer, C., Incio, M., Hernández, A. y Leiva, J. (2014). Antifúngicos de origen natural frente a los de síntesis química para el control de hongos fitopatógenos en chenopodium quinoa "quinua". Ingeniería: Ciencia, Tecnología e Innovación. Recuperado de <http://revistas.uss.edu.pe/index.php/ING/article/view/115>
- INDECI. (2003). Estudios de Ciudades Sostenibles. Recuperado de Estudios Región Lambayeque: Recuperado de http://bvpad.indeci.gob.pe/html/es/estudios_cs/lambayeque.htm
- Ismail, M., Joer, H., Randolph, M., y Kucharski, E. (1999) "Cementation of porous materials using calcite precipitation." Univ. of Western Australia Geomechanics Group, Geotech. Rep. G1422.
- MTC (2018). Glosario de Términos. Recuperado de http://transparencia.mtc.gob.pe/idm_docs/normas_legales/1_0_4032.pdf
- Norma E.050. Diario Oficial el Peruano, Lima, Perú, 09 de junio del 2006.
- NTP 339.134. Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales, Lima, Perú, 14 de junio de 1999.
- NTP 339.151. Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales, Lima, Perú, 2015
- Sánchez, L., y Corrales, R. (2005, 27 de octubre). Evaluación de la congelación para conservación de especies autóctonas bacterianas. NOVA, 3(4), 21-29. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/411/41130403.pdf>
- Whiffin, V. (2004). Microbial CaCO₃ Precipitation for the production of Biocement (Tesis doctoral). Murdoch University, Western Australia