

ARTÍCULO DE REVISIÓN CIENTÍFICA

DOI: 10.47864/SE(50)2020p54-69_116

Sociedad Colombiana
de la Ciencia del Suelo

USO DE ESTABILIZADORES PARA SUELOS ARCILLOSOS UNA REVISIÓN LITERARIA.

Kattia Fonseca Sanchez¹, ✉ Yafanor Becerra Eneque², Socrates Muñoz Perez³

¹ Estudiante de Ingeniería Civil. Universidad Señor de Sipán. ✉ e-mail: benequeyafan@crece.uss.edu.pe

² Estudiante de Ingeniería Civil. Universidad Señor de Sipán.

³ Magister, Ingeniero Civil.

PALABRAS CLAVES:
Estabilización de suelos, arcillas, aditivos, compactación, propiedades.

RESUMEN

El obtener un suelo mejorada ha sido por excelencia un producto en desarrollo constante, precisamente son los estabilizadores una alternativa de solución muchas veces indispensables para mejorar las características y propiedades de los suelos en obras viales. Es de conocimiento que en este tipo de obras se trabaja con material de préstamo o de canteras y muchas veces estos lugares están muy distantes del destino, lo cual incrementa los costos significativamente radicando acá el problema. Los objetivos de estudio giran en base al logro de relacionar las dosificaciones de los estabilizantes tradicionales, mostrar las ventajas de sus propiedades del suelo arcilloso mejorado después de ser estabilizados, mediante la comparación de dos casos de estudios ya realizados y dar a conocer el ahorro de usar estabilizadores de suelos. La investigación es de carácter descriptiva, pues se revisa y compara dos casos ya estudiados obteniendo la discusión y relación entre sus resultados.

USE OF STABILIZERS FOR CLAY SOILS A LITERARY REVIEW

KEY WORDS:

Stabilization of soils, clays, additives, compaction, properties.

ABSTRACT

Obtaining an improved soil has been par excellence a product in constant development, stabilizers are precisely an alternative solution that is often essential to improve the characteristics and properties of soils in road works. It is known that in this type of works work is done with loan material or quarries and many times these places are very far from the destination, which increases costs significantly, and the problem lies here. The study objectives revolve based on the achievement of relating the dosages of traditional stabilizers, showing the advantages of their properties of improved clay soil after being stabilized, by comparing two case studies already carried out and making known the savings in use soil stabilizers. The research is descriptive in nature, since two cases already studied are reviewed and compared, obtaining the discussion and relationship between their results

Rec.: 24.11.2020

Acep.: 30.11.2020



INTRODUCCIÓN

Los trabajos relacionados a estudiar los diferentes tipos de suelo y buscar una respuesta de mejora, llevan mucho tiempo desarrollándose, algunas causales para ellos son la realidad de las infraestructuras viales, rehabilitar estas y volver a ejecutar aquellas que sufrieron desgaste, el desempeñar la recuperación de las carreteras es una necesidad. (Gajanayake, Khan, & Zhang, 2020). Representan un activo necesario estas vías de comunicación, aunque ciertas veces presenten dificultades controlables. (Jabulani C. & Pfano, 2019). Es vital contar con acciones de respuesta efectiva por parte de los suelos y dependiendo del procedimiento con el que se trabaje se obtendrá algún resultado que proporcione mayor ventaja sobre otro.

Mejorar un suelo en subrasante demanda de tiempo y suelen ser costosos, ante ello la presencia de la bioenzima – ceniza volante, quienes responden al ser mezcladas con arcillas un incremento en la resistencia a la compresión. (Aswathy, Raj, & Sayida, 2018). Otra opción son el uso de desechos plásticos como estabilizador en arcillas, lo cual también representa mayor resistencia al corte y mejor relación de humedad. (Mandal, Roy, & Bolsa, 2018)

En Perú, es importante tener un suelo de condiciones que permita maximizar su aprovechamiento, lo contrario son la presencia de subgrados que podemos encontrarlas en diferentes zonas y provocan surcos, fatigas y grietas. (Dinka, Agon, & Geremew, 2019).

Los estudios químicos de caracterización de suelos, no precisamente muestran una representación uniforme para toda un área determinada, el determinar sus características geológicas posibilita obtener una variabilidad entre 2 a 8%. (Lopez Julian, Pueyo Anchuela, & Fawal Portal, 208). Brasil, que es un país que cuenta con

la mayoría de sus vías de comunicación sin pavimentar, el mantener en buen estado estas vías muchas veces es muy costosa, y otras no se realizan de forma eficiente, pues el personal no maneja un buen trabajo técnico o aplicación de la tecnología adecuada. (Olivio Nervis & Peres Nuñez, 2019)

Los objetivos de estos estudios son relacionar las dosificaciones de los estabilizantes tradicionales, mostrar las ventajas en el cambio de sus propiedades gracias al uso de estabilizadores, dar a conocer el ahorro de usar suelos estabilizados a comparación de otro material y generar tablas de comparación entre la literatura de revisión.

El fin de estabilizar suelos es superar las condiciones (características, propiedades) de soporte ante determinadas cargas, entre las consecuencias de agregar aditivos obtenemos mayor durabilidad, resistencia, trabajabilidad del suelo, reducción de polvo, del espesor de pavimentos, impermeabilidad y control sobre el volumen de la masa. (De Solminihaç T., Echevarria G., & Thenoux Z., 2012). Son las cenizas encontradas en el fondo de una industria termoeléctrica una alternativa de mejora para los agregados. (Silva, Barroso, & Cabral, 2020). Son también parte de la obtención de un buen suelo la compactación, esto conlleva densificación y cambio en los aspectos mecánicos y físicos, en laboratorio verificamos densidad máxima seca y capacidad ideal de humedad. (Spagnoli & Shimobe, 2020)

Las limitaciones que nuestro estudio presentan son de carácter de accesibilidad a cierta información registrada y restringida para determinados grupos. Los ensayos para verificar la calidad del suelo son múltiples, obtener cantidad de humedad, valor de compactación, fuerza de confinamiento, son

aspectos a considerar. (Lu, Zhao, Xian, & Yao, 2020)

MATERIALES Y MÉTODOS

La caracterización de estudios con intención de dar respuesta a problemas que afectan a la sociedad y medio ambiente forman parte de un análisis interdisciplinario. (Espinoza Montes, Custodio Villanueva, & Uribe Hinostroza, 2019). Siendo el enfoque holístico lo necesariamente amplio, se trabaja en un aspecto en específico, considerando la complejidad y enlace del estudio con características medio ambientales. (Carvajal Escobar, 2010)

El estudio comprende el uso del análisis de información presente en los textos de revisión mediante un sistema en base a la argumentación (Peralta, Castellaro, & Santibañez, 2020). Es esta información el resultado de un estudio ya realizado, y representa parte del tronco del saber la ingeniería civil, mencionada como disciplina. (Sanchez & Mavillard, 2020)

Respecto a la metodología de desarrollo se adoptó una investigación documental, examinando bibliografías publicadas anteriormente para situarla con cierta perspectiva crítica, revisión de material seleccionado y comparación de casos que estos presenten.

Para la selección de este material de revisión se indago y reflexiono sobre contenidos, precisando escoger aquellos q mostraban mayor relación en sus objetivos de estudios y en sus resultados encontrados. El proceso de valoración del cuerpo de un instrumento de estudio, conecta partes importantes, en tanto los resultados se tiene en cuenta criterios formales y la prueba cuantitativa correspondiente. (Juarez Hernandez & Tobon, 2018)

La técnica empleada en esta investigación fue la de análisis de contenido, puesto que existe variedad de alcances informativos

textuales, visuales, grabaciones, medios electrónicos, etc., estas fuentes nos impulsaron a describir y explicar los resultados de los estudios comparados.

La secuencia metodológica fue describir todos los aspectos que intervienen en la estabilización de suelos arcillosos, así como las características y propiedades.

Verificar los métodos utilizados para lograr la estabilización, sintetizar la información en cuanto a su proceso y la respuesta después de ser estabilizados, destacando la dosificación con la que se desarrolló dicha estabilización en los diferentes casos revisados.

En el primer estudio presenta un caso de estabilización mediante la incorporación de ceniza originaria del producto obtenido de la quema de madera y de carbón, para lo cual se revisó las características que el autor proporcione del suelo arcilloso y el aditivo en uso, estos alcances fueron diversos entre ellos, la composición química de las muestras, los resultados obtenidos de laboratorio gracias a pruebas de límites de Atterberg, análisis granulométrico de gravedad específica de sólidos, Proctor modificado y ensayo de relación de soporte de california. Se opto por 5 dosificaciones diferentes de estabilizadores, y esta fueron desde 0, hasta 40% agregando de 10 en 10% el incremento del estabilizador respecto al total de la mezcla. Un aspecto a considerar es que al existir retraso en tiempo sobre la compactación después de realizada la mezcla se obtendrá un valor inferior de resistencia, es por ello que las compactaciones a 15, 24 y 56 golpes se presentaron una vez dosificado el suelo y el estabilizante. (Ayala, Rosadio, & Duran, 2019)

El segundo estudio de revisión presenta dos casos mediante una mejora del suelo añadiéndole sales cuaternarias (Roc Amix líquido) y cemento a los materiales provenientes de la cantera Manuela, ubicada en Mariel para el primer caso y los extraídos de la formación Vía Blanca, realizando dos dosificaciones diferentes, añadiéndole 1.5% y 2% de aditivo en relación al peso del suelo. Se analiza los resultados de ensayos de granulometría e hidrometría, Proctor modificado y normal, de relación de soporte y california, Límites de Atterberg y ascensión capilar en ambos casos. Ante lo ya expuesto procederemos mencionar los resultados en los suelos

RESULTADOS

En esta etapa del estudio presentamos las participaciones relevantes de los estabilizadores en cada estudio revisado, así como sus gráficos y tablas obtenidos de los

propios de los alrededores de la capital del Perú, Lima, los cuales fueron obtenidos a 2 m de profundidad y sus estabilizantes procede de Centro Poblado de Santa María de Huachipa, el material de la Cantera Manuela, procedente de la ciudad se Mariel y el del área de Vía Blanca, estos dos en Cuba. (Pino & M., 2011)

El tercer estudio analizado de costos, dando un alcance de la variación respecto al uso de los estabilizadores. Se considera los resultados del autor respecto a material sin estabilizador, con estabilizador y con un sustituto comercial. (Martínez Murillo & Olaya Morales, 2019)

ensayos pertinentes, priorizando los hallazgos respecto a las arcillas. También se ha incorporado las citas referentes a información contributiva a la comparación de estos estudios

CARACTERÍSTICAS, LÍMITES DE ATTERBERG Y GRANULOMETRÍA DEL SUELO:

Características de los suelos

Respecto a la relación entre su densidad, o peso volumétrico de las muestras presentadas en el cuadro de arriba indican una gravedad específica para la muestra del suelo de Lima mayor al de estabilizante que es la ceniza de fondo de ladrillera artesanal, esto se interpreta que la ceniza tiene menor concentración de soluciones respecto a la muestra.

Según los resultados de límites de Atterberg la muestra de suelo de Lima tiene menor posibilidad de comportarse como un material plástico y por lo tanto menor compresibilidad a comparación de la muestra de la Cantera Manuela y aun mayor posibilidad la tiene la muestra procedente de la Formación de Vía Blanca.

Tabla 1 Característica del material procedente de Lima, de la Cantera Manuela y de la Formación Vía Blanca

Material	Gravedad específica	Limite liquido (%)	Limite plástico (%)	Índice de plasticidad	Granulometría	Aspectos a considerar
Muestra del suelo de Lima	2.643	29.1	18.6	10.5	60% están entre 0.1 mm y 0.001 mm	Arcilla de baja plasticidad
Ceniza de fondo de ladrillera artesanal	2.51			N. P.	100% están entre 0.1 mm y 0.001 mm	No plástico, con propiedades puzolánicas
Muestra de la cantera Manuela		41	16.3	24.7	Mayor porcentaje entre tamiz N4 y 200	Alta plasticidad
Muestra de Formación Vía Blanca		68	29	39	Mayor al 50 % entre el diámetro 0.055 mm y 0.001 mm	Arcilla de alta compresibilidad y alto cambio de volumen

Fuente: Fig. 01, Tabla II y III (Ayala, Rosadio, & Duran, 2019) y Tabla V (Pino & M., 2011)

LA INFLUENCIA DE LOS ESTABILIZADORES EN LOS DIFERENTES TIPOS DE CASOS PRESENTADOS:

Ensayo de compactación Proctor estándar y modificado

En la revisión del primer estudio se cuenta únicamente con resultados de Proctor modificado, y respecto a la máxima densidad seca en este estudio, mencionamos que disminuyó respecto al incremento del estabilizante añadido de la ceniza proveniente de ladrilleras artesanales. Este efecto se obtuvo hasta la adición en 20% del

estabilizante, ya con un porcentaje de 30 y 40% incremento la máxima densidad seca. Observando la reacción del OCH, se afirma que esta incrementa siempre y cuando haya una cantidad más elevada del estabilizante, esto ocurre por la humedad del estabilizante es absorbida.

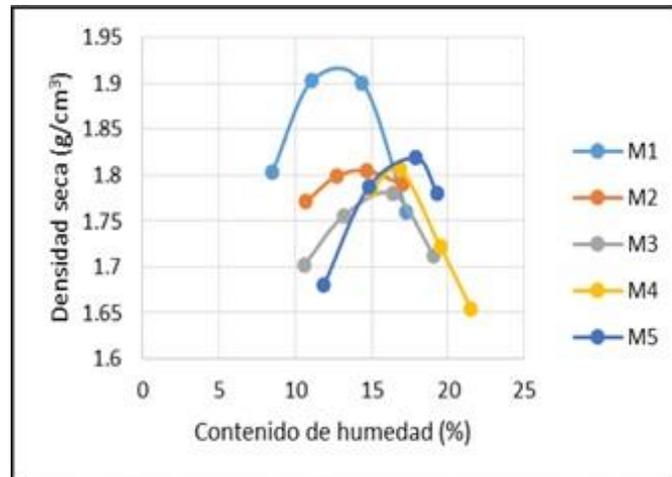


Ilustración 1. Relación de las curvas de compactación estabilizado con ceniza proveniente de ladrilleras artesanales

Fuente: Fig. 04 (Ayala, Rosadio, & Duran, 2019)

Los resultados en el estudio Aditivo químico de sales cuaternarias nos muestra resultados tanto en Proctor modificado como estándar, su compactación de acuerdo a un Proctor modificado necesito menor

porcentaje de húmedas para generar su densidad máxima en comparación al Proctor estándar. También el grafico nos muestra su curva de saturación.

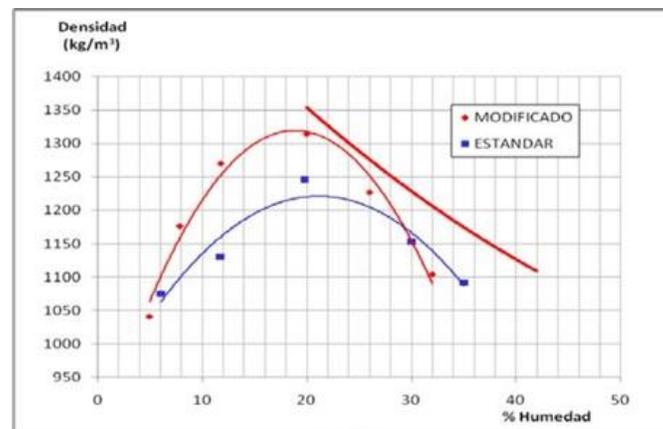


Ilustración 2. Relación de las curvas de compactación con el estabilizador de aditivo químico de sales cuaternarias

Fuente: Fig. 8 (Pino & M., 2011)

Ensayo de CBR

En relación al soporte para 0.1" y 0.2" de energía de acuerdo al ensayo de CBR, a mayor diámetro fueron más elevados los resultados, por lo que se escogió el diámetro de 0.2" respecto al estudio con estabilización de ceniza proveniente de

ladrilleras artesanales, el trabajo realizado fue con una máxima densidad seca de 95% y dichas muestras se sumergieron en un tiempo de 0 y 4 días correspondientemente. En tanto a la muestra del suelo natural extraído de la periferia de la ciudad de

Lima, presenta un CBR de 2.2%, el cual es un valor que no alcanza los parámetros mínimos de aceptación. Sin embargo, este valor varío de acuerdo a las dosificaciones de mezcla, y a un 20% de añadidura del

estabilizante, presenta un incremento al 9.5%, lo cual refleja un claro aumento en su capacidad de soporte, lo cual se vuelve aceptable como material de subrasante en pavimentos

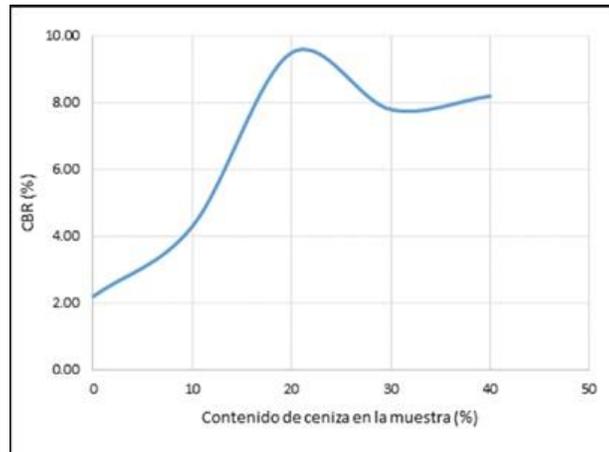


Ilustración 3. Curva C.B.R. vs Contenido de ceniza en la muestra

Fuente: Fig. 05 (Ayala, Rosadio, & Duran, 2019)

Respecto a la característica de expansión con un 40% de dosificación disminuye esta característica de 4.6 a 0.74%, la trayectoria de la gráfica disminuye, se eleva y vuelve a disminuir, no es continua en relación a la dosificación porcentual del estabilizante, la causa del comportamiento de la curva se debe al peso seco, puesto que al 30% de dosificación con el estabilizante, hidrata la

mezcla, pero no produce reacción con el suelo en estudio, desfavoreciendo la asociación de los elementos, en cambio al 40% existe una proporción no hidratada, la cual participa como relleno, teniendo el fin de suplir los vacíos dentro de las partículas de la dosificación.

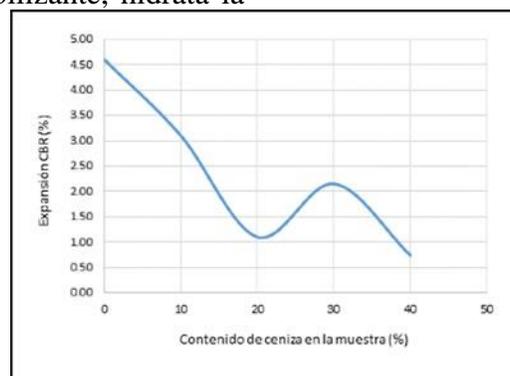


Ilustración 4. Curva de expansión C.B.R. vs Contenido de Ceniza de la muestra

Fuente: Fig. 06 (Ayala, Rosadio, & Duran, 2019)

Observando la participación en relación a su expansión de las dosificaciones en

aumento de acuerdo a 10, 25 y 56 golpes, de las 5 muestras se escoge la mezcla 3,

puesto que alcanza un valor optimo 1.1%. A diferencia de la M3, la M1 y la M5 muestran un porcentaje de menor expansión, sin embargo, observamos un comportamiento similar en la M2 y la M4 respecto a la M3, todas ellas de expansión,

no necesariamente consistente con la densidad de las muestras y teniendo presente el hecho que la expansión debe ser inferior para que la densidad llegue a valores elevados.

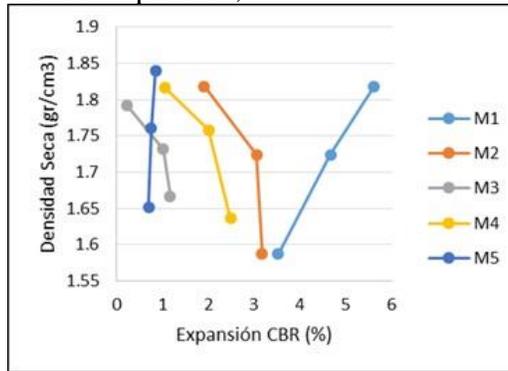


Ilustración 5. Relación de los valores de expansión C.B.R.

Fuente: Fig. 07 (Ayala, Rosadio, & Duran, 2019)

En este segundo estudio se revisó lo que respecta al ensayo de CBR modificado y estándar según el diámetro de 0.1” y 0.2” de penetración para la muestra sin dosificar y la dosificada con el estabilizante, de lo cual al después de la compactación sin necesidad del aditivo el suelo es aceptable para

pavimentos, sin embargo no lo es para tránsito pesado, revisando los resultado con añadidura de aditivo cumple en compactación estándar y modificado ser aceptable para pavimentos, pero usando un Proctor modificado es aceptable para tránsito pesado.

Tabla 2. C.B.R. (%) vs añadidura de aditivo sobre la muestra de la Cantera Manuela

Tipo	Est (suelo)	Est (aditivo)	Mod (suelo)	Mod (aditivo)
2.54	6.9	0.15	2.2	0.7
5.04	10.3	0.2	1.9	1.2
C.B.R.		1.7	11	11.4

Fuente: Tabla 2 (Pino & M., 2011)

De las muestras mostradas en el grafico se vuelve a confirmar la superioridad de la aplicación de penetración modificada sobre la estándar, según la curva – deformación de los diferentes tipos de suelos, sea natural o con añadidura del estabilizante que es el líquido ROCAMIX, se muestra una capacidad portante del suelo muy inferior, incumpliendo con los valores para ser aceptable como suelo de pavimento o núcleo de terraplenes.

Sin embargo, con la añadidura del estabilizador ya mencionado llegan de 1.2% hasta un 5.6%, incrementando sus características en cuanto a capacidad de soporte

Tabla 3. Resultados de la curva esfuerzo - deformación según el índice de C.B.R. de suelo procedente de Formación de Vía Blanca sin aditivo y con aditivo ROCAMIX

	Muestra	Muestra natural		Muestra estabilizada con ROCAMIX	
		Energía estándar	Energía modificada	Energía estándar	Energía modificada
C.B.R. (2.54)	M 1	0.87	1.01	4.2	5.51
	M2	0.43	1.16	3.48	6.23
	M 3	1.01	1.3	3.62	4.93
C.B.R. (5.08)	M 1	0.78	1.07	4.08	5.36
	M2	0.68	1.07	3.59	5.92
	M 3	0.97	1.07	3.59	4.8
C.B.R.	M 1	0.87	1.07	4.2	5.51
	M2	0.68	1.16	3.59	6.23
	M 3	1.01	1.3	3.62	4.93

Fuente: Fig.15, 16 y 17 (Pino & M., 2011)

- RELACIÓN DE COSTOS DE ESTABILIZADORES.

En relación del costo con su estabilizante la consideración en porcentaje varía de esa manera según los 4 estabilizadores considerados, si interrelacionamos sus

sustitutos de los estabilizadores, el valor del sustituto de polímero sería el más costoso, respecto a los demás.

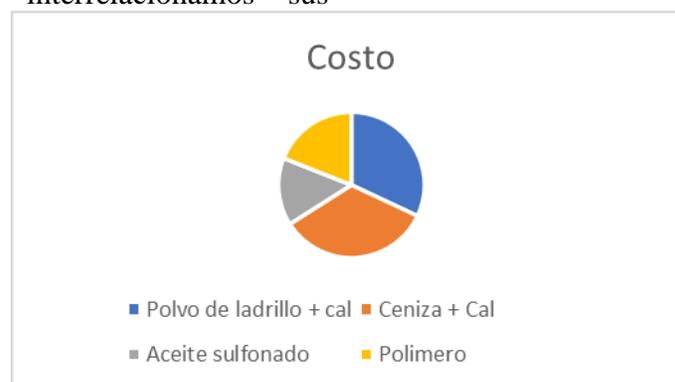


Ilustración 6. Relación de costos de los estabilizadores

Fuente: Elaboración propia en base a Fig. 4. (Martínez Murillo & Olaya Morales, 2019)

DISCUSIÓN

Según Nespereira, y otros, 2018 menciona desde una óptica relacionada a la geología, los suelos que presentan granulometría con granos del 90% mayor a 0.06 mm, límite líquido entre 90 a 100, índice de plasticidad

entre 52 y 66 son suelos cohesivos. La granulometría en esta revisión literaria, guarda relación con lo mencionado por el autor en lo que se afirmaría que presenta arcillas cohesivas, solo en el caso de la muestra de la cantera Manuela, no

cumpliría puesto que su granulometría está en mayor rango (90%) sobre la malla N 200 o 0.074mm. Los criterios para caracterizar y clasificar los suelos expansivos en base a pruebas básicas son en cuanto a los límites de Atterberg, señalándolos desde una expansividad baja hasta muy alta, correspondiendo dentro de los dos estudios revisados respecto al límite líquido la muestra del suelo procedente de la periferia de Lima es baja, la muestra de la cantera Manuela es media y la de Formación Vía Blanca considerada muy alta. De esta manera el primer estudio presenta un material con contracción lineal entre 0 a 8%, el material de la Cantera Manuela entre 8 y 13% y el de la Formación Vía Blanca mayor a 18%. (Yongfu Xu & Shazim Ali, 2020)

Según Garzon, Sanchez - Soto, Raigon, & Ruiz - Conde, 2006 al incrementar la penetración de compactación ocurre variación respecto a la densidad seca y el requerimiento de humedad, esta compactación genera un suelo con menor cantidad de vacíos, de lo cual mientras más denso, será más resistente, sin embargo a la cantidad óptima de agua podrá lubricar los granos para que se deslicen más fácilmente y se compacten. En nuestra revisión literaria sobre el suelo añadido el estabilizante de ceniza proveniente ladrillos artesanales revela que la máxima densidad seca aumenta, mientras incrementa el estabilizante. En tanto que que el estabilizador proveniente de aditivos químicos de sales cuaternarias es más efectivo porque a menor porcentaje de humedad produce mayor densidad seca. Dentro de los estudios referentes a mejoras de propiedades de suelos es imprescindible el uso del ensayo proctor, para determinar el contenido de humedad. Entre otras pruebas de laboratorio. (Selvaraj, Krithigaisrilatha, Syed Masoodhu, & Natarajan, 2020)

Según Ordoñez ruiz, Auvinet Guichard, & Moises, 2015, las arcillas con características expansivas no presentan necesariamente un problema de soporte o carga, a pesar que los estudios de revisión son sobre mejoramiento en suelos arcillosos, es necesario relacionar los resultados asociados a la capacidad portante, conjuntamente con los ensayos de C.B.R. En el primer estudio se comprobó que con el estabilizante de ceniza proveniente de ladrilleras artesanales, incremento en más de 7% su capacidad portante y su dosificación efectiva son al 40% del estabilizante. En la revisión del segundo estudio empleando un estabilizante de aditivo químico de sales cuaternarias, se apreció el incremento en su C.B.R. en más de 9%, mientras que en el suelo de Formación de Vía Blanca, usando como estabilizante el aditivo ROCAMIX, solo se precisó un aumento mayor al 5%, aclarando que el más efectivo de los tres estabilizantes es el aditivo químico de sales cuaternarias. Es de esta manera que el C.B.R.

Según Alvarez, Fernandez, & Taboada, 2012 analiza la relación de las densidades y los manejos del suelo, su granulometría y resistencia. La estabilización en suelos con fines de uso de vía de comunicación son mejorados con diferentes estabilizantes, de los cuales el polímero, aceite sulfonado, polvo de ladrillo añadido cal y esta última añadido con ceniza, fueron motivos de análisis. El autor manifiesta que el aceite sulfonado es el más económico, sin embargo en el momento de usar un sustituto la variación del aceite con su reemplazo no cambia mucho, a comparación que el segundo más económico es el polímero, pero si fuese necesario usar su sustituto el valor se elevaría, de tal manera que tendría un costo mayor al del polvo de ladrillo y cal o este último y ceniza. La caracterización de los costos al igual de sus propiedades mecánicas y físicas después de mezclada la

muestra con su estabilizador son la razón del estudio. (Behak & Peres Nuñez, 2008)

CONCLUSIONES

La aplicación de diferentes dosificaciones demostró que se tiene un límite sobre la proporción de estabilizante por cantidad de suelo, pues el añadirle una proporción mayor o menor al óptimo tiende a disminuir la resistencia, entre otros aspectos que determinan también es la cantidad de estabilizante aplicable.

Los estabilizadores usados y los mismos suelos que sirvieron de muestra demostraron tener mayor abundancia entre sus partículas de finos, lo cual permite una mayor adhesión, considerando los aspectos de límites se demostró que la expansividad en los dos casos de estudios de revisión es diferente.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a Dios, nuestros padres y nuestro Docente el Ingeniero Sócrates

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alarcon, J., Jimenez, M., & Benitez, R. (2020). Estabilización de suelos mediante el uso de lodos aceitosos. *Revista Ingeniería de Construcción RIC*, 35(1), 5 - 20.

Alvarez, C. R., Fernandez, P. L., & Taboada, M. A. (2012). Relación de la inestabilidad estructural con el manejo y propiedades de los suelos en la región Pampeana. *Ciencia del suelo*, 30(2), 173-178.

Andreas Becker, C. V. (2019). Evaluación de la resistencia a la abrasión de pisos

Pero no determinantes para reaccionar ante el estabilizante químico aplicado.

El empleo del aditivo químico de las sales cuaternarias mostro un resultado de C.B.R. mayor sobre los estabilizadores del líquido de ROCAMIX y la incorporación de ceniza originaria del producto obtenido de la quema de madera y de carbón.

Todos los estabilizadores se aplicaron sobre suelos plásticos, fue el líquido de ROCAMIX el que se aplicó en un suelo de mayor plasticidad y comprensibilidad volumétrica.

Entre los estabilizadores con un mayor ahorro económico se comprobó que son los polímeros los menos costosos.

Pedro Muñoz Pérez, quien nos guio con este propósito de investigación

mejorados en el banco de pruebas de ruedas. *Berlingeotechnik*, 42(1), 34-39. doi:10.1002 / gete.201900002

Aswathy, C., Raj, A., & Sayida, M. (2018). Efecto de la mezcla de bioenzima y estabilizador químico en la mejora de las propiedades de la subrasante. *Notas de la conferencia en ingeniería civil*, 88, 779-787. doi:10.1007 / 978-981-15-6237-2_63

Ayala, G., Rosadio, A., & Duran, G. (2019). Estudio del efecto de adición de

ceniza proveniente de ladrilleras artesanales en la estabilización de suelos arcillosos para pavimentos. *Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas*. doi:<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2019.1.1.115>

Behak, L., & Peres Nuñez, W. (2008). Caracterización de un material compuesto por suelo arenoso, ceniza de cascara de arroz y cal potencialmente útil para su uso en pavimentación. *Ingeniería de Construcción*, 23(1), 34-41.

Bian, X., Quan Ding, G., Feng Wang, Z., Peng Cao, Y., & Wen Ding, J. (2017). Compression and strength behavior of cement–lime–polymer-solidified dredged material at high water content. *Marine Georesources Geotechnology*, 35(6), 840-846. doi:<http://dx.doi.org/10.1080/1064119X.2016.1256921>

Cabrera, J. L., Fernandez Collazo, Y., Gonzalez Ramirez, N., & Bermudez Valles, S. (2000). Mortero a base de suelos. Caracterización. *Materiales de construcción*, 50(258), 67 - 72.

Carvajal Escobar, Y. (2010). Interdisciplinariedad: Desafío para la educación superior y la investigación. *Luna Azul*(31), 156-169.

De Solminihaç T., H., Echevarria G., G., & Thenoux Z., G. (2012). Estabilización Química de Suelos: Aplicaciones en la construcción de estructuras de pavimentos. *Revista ingeniería de construcción*(6), 53 - 78. Obtenido de <https://biblat.unam.mx/es/revista/revista-i>

[ingenieria-de-construccion/articulo/estabilizacion-quimica-de-suelos-aplicaciones-en-la-construccion-de-estructuras-de-pavimentos](https://biblat.unam.mx/es/revista/revista-i)

Dinka, O. G., Agon, E. C., & Geremew, A. (2019). Estudios de desempeño en la formación de subgrado con cal y cemento en proyectos de carretera. *Anales de la Facultad de Ingeniería Hunedoara - Revista Internacional de Ingeniería*, 17(4), 23-30.

Dos Santos, T. A., Pinheiro, R. J., Specht, L. P., & T., B. L. (2020). Análisis del desempeño de subrasantes viales utilizando conceptos de mecánica de pavimentos. *Materia*, 25(3), 1-14. doi:10.1590 / s1517-707620200003.1117

Elkafoury, A., & Azzan, W. (2021). Utilice goma de xantano para mejorar cbr valor del suelo de subrasante de arena fina contaminada con aceite de cocina para estructuras de pavimento. *Soluciones de infraestructura innovadoras*, 6(1), 25. doi:10.1007 / s41062-020-00389-6

Espinoza Montes, C. A., Custodio Villanueva, M., & Uribe Hinojosa, M. (2019). Caracter interdisciplinar de proyectos de investigación y solución de problemas ambientales y sociales. *Espacios*, 40(6), 7.

Falal E., J., Xu, Y., Jamhiri, B., & Shazim Ali, M. (2020). On the Recent Trends in Expansive Soil Stabilization Using Calcium-Based Stabilizer Materials (CSMs): A Comprehensive Review. *Advances in Materials Science and*

- Enginerring*, 1-23.
doi:<https://doi.org/10.1155/2020/1510969>
- Feijoo, P., & Iñiguez, C. (2020). Cortes de roca y su relacion con la resistencia a la compresion ilimitada. *Iberica de Sistemas e Tecnologias de Informacao*(30), 59-67.
- Gajanayake, A., Khan, T., & Zhang, G. (2020). Reconstruccion de infraestructura vial posterior al desastre; decision haciendo procesos en un contexto australiano. *EJTIR*, 20(1), 1-16.
- Garzon, E., Sanchez - Soto, P., Raigon, M., & Ruiz - Conde, A. (2006). Efectos de la compactacion y estabilizacion con cemento y cal en las propiedades mecanicas de filitas. *MACLA*, 7(4), 217 - 220.
- Guillen Garces, R. A., Lizama Bahena, C., Ortega Hernandez, A. G., Moeller Chavez, G. E., & Treviño Quintanilla, L. G. (2017). Evaluacion de la biodegradacion de atrazina pura y comercial (GESAPRIM) en suelos arenosos, limosos y arcillosos. *Internacional*, 33(01), 63-72. doi:10.20937/RICA.2017.33.esp01.06
- Jabulani C., N., & Pfano, M. (2019). El desarrollo de la red de caminos rurales para medios de vida sostenibles en el sur Municipios locales africanos. *Genero y comportamiento 2019*, 1255312568-.
- Jain, A., Gupta, M., & Jha, A. (2021). Enmienda del suelo utilizando residuos de marmol para la construccion de carreteras. *Notas de la conferencia de ingenieria civil*, 88, 245-256. doi:10.1007 / 978-981-15-6237-2_21
- Jijo, J., & Kasinatha Pandian, P. (2016). Residuos industriales como aditivos auxiliares para la estabilizacion de suelos con cemento / cal. *Tagore Engineering College*, 2016, 17. doi:<http://dx.doi.org/10.1155/2016/1267391>
- Juarez Hernandez, L. G., & Tobon, S. (2018). Analisis de los elementos implicitos en la validacion de contenido de un instrumento de investigacion. *Espacios*, 39(53), 23.
- Lopez Bravo, E., Tijskens, E., Gonzalez Cueto, O., Herrera Suarez, M., & Lorenzo Rojas, J. D. (2019). Simulacion de la descompactacion de un suelo arcilloso empleando el metodo de elemntos discretos. *Ciencias Tecnicas Agropecuarias*, 28(2), 8.
- Lopez Julian, P. L., Pueyo Anchuela, O., & Fawal Portal, M. A. (208). Geoquimica de elementos mayores aplicada al analisis forense en suelos arcillosos. Estudio de caso y analisis de alcance. *Geogaceta Sociedad Geologica de España*, 64, 155-158.
- Lu, Z., Zhao, Y., Xian, S., & Yao, H. (2020). Experimental Study on Dynamic Resilient Modulus of Lime-Treated Expansive Soil. *Advances in Materials Science and Engineering*, 1-10. doi:<https://doi.org/10.1155/2020/3272681>
- Mandal, M., Roy, N., & Bolsa, R. (2018). Efecto de los desechos plasticos sobre la resistencia del suelo arcilloso y la arcilla mezclada con cenizas volantes. *Notas de la conferencia en ingenieria civil*, 88,

549-564. doi:10.1007 /
978-981-15-6237-2_46

Martinez Murillo, L. I., & Olaya Morales, Y. (2019). Estimacion de costos del ciclo de vida para la estabilizacion de vias terciarias en Colombia con subproductos industriales. *Lecturas de economia*, 91, 241-277. doi:10.17533/udea.le.n91a08

Mas, M. I., Garcia, E. M., Marco, L. J., & De Marco, J. (2016). Analisis de la viabilidad ambiental de la utilizacion de morteros fabricados con polvo de vidrio en la estabilizacion de suelos. *Informacion Tecnologica*, 27(5), 77 - 86. doi:doi: 10.4067/S0718-07642016000500010

Muhammand Zahid, I., & Muhammad Zahir, F. (2017). Desarrollo de carreteras y alivio de lapobreza: el Estudio de caso del sur de Punjab. *Pakistan Revista de Ciencias Sociales*, 37(1), 255-272.

Nespereira, J., Suarez, M., Yenes, M., Martinez, Y., Ascanio, I., & Monterrubio, S. (2018). Compresibilidad de suelos arcillosos de origen continental con distinta historia geologica: la arcilla de la Armuña y la arcilla del Viso (Salamanca). *Geogaceta, Sociedad geologica España*, 64, 159 - 162.

Norambuena Contreras, J. (2015). Curva de retencion de agua del material compuesto suelo-cemento. 23(4), 647-654. doi:http://dx.doi.org/10.4067/S0718-3305 2015000400015

Olivio Nervis, L., & Peres Nuñez, W. (2019). Identificacion y discusion sobre mecanismos de socorro de caminos de

grava sin pavimentar. *Revista internacional de Investigacion y Tecnologia de Pavimentos*, 12, 88-96. doi:https://doi.org/ 10.1007 / s42947-019-0011-6

Ordoñez ruiz, J., Auvinet Guichard, G., & Moises, J. C. (2015). Caracterizacion del subsuelo y analisis de riesgos geotecnicos asociados a las arcillas expansivas de la ciudad de Tuxtla Gutierrez. *Ingenieria Investigacion y Tecnologia*, 16(3), 453 - 470. doi:doi: http://dx.doi.org/10.1016/j.riit.2015.05.01 0

Orobio, A. (2011). Consideraciones para el diseño y construccion de caminos pavimentados con grava estabilizados con cloruro de calcio. *Dyna*, 78(165), 93-100.

Otondo, J., & Jacobo, E. J. (2015). Mejora de propiedades fisicas por el uso de especies megatermicas en un suelo sodico templado. *Ciencia del suelo*, 33(1), 119-130.

Peralta, N., Castellaro, M., & Santibañez, C. (2020). El analisis de datos textuales como metodologia para el abordaje de la argumentacion: una investigacion con estudiantes de pregrado en universidades chilenas. *Ikala*, 25(1), 209-227. doi:10.17533/udea.ikala.v25n01a02

Pino, J. d., & M., J. (2011). Aditivo quimico de sales cuaternarias empleado para la estabilizacion de suelos arcillosos de subrasantes de carreteras. *Revista de Arquitectura e Ingenieria*, 5(2).

Polyakov, V., & Abakumov, E. V. (2020). Stabilization of organic material from

- soils and soil-like bodies in the Lena River Delta (13C-NMR spectroscopy analysis). *SJSS. Spanish Journal of Soil Science*, 10(2), 170-190. doi:DOI: 10.3232/SJSS.2020.V10.N2.05
- Riaz, S., Aadil, N., & Waseem, U. (2014). Estabilizacion de suelos de subgrado con cemento y cal: Un estudio de caso de Kala Shah Kaku, Lahore, Pakistan. *Pakistan Journal of Science*, 66(1), 39 - 45.
- Rivera, J. I., & Echaveguren, T. (2014). Un indice de peligro para los bordes de las carreteras rurales de dos carriles. *Dyna*, 81(184), 55-61. doi:http://dx.doi.org/10.15446/dyna.v81n184.38929
- Rivera, J., Aguirre Guerrero, A., Mejia de Gutierrez, R., & Orobio, A. (2020). Estabilizacion quimica de suelos - Materiales convencionales y activados alcalinamente (revision). *Informador Tecnico*, 84(2), 202 - 226. doi:doi:http://doi.org/10.23850/22565035.2530
- Sanchez, C., & Mavillard, B. (2020). Elementos nucleares para la elaboracion de un proyecto de investigacion con metodologia cuantitativa. *Emfermeria Intensiva*, 31(1), 35-40. doi:https://doi.org/10.1016/j.enfi.2019.12.001
- Selvaraj, M., Krithigaisrilatha, M., Syed Masoodhu, S., & Natarajan, N. (2020). Uso de residuos de silice cristalina para mejorar las propiedades de ingenieria del suelo de algod6n negro. *Nature Environmente and Pollution Technology*, 19(3), 1105 - 1112. doi:https://doi.org/10.466488/NEPT.2020.v19i03.021
- Silva, C., Barroso, S., & Cabral, A. (2020). Evaluacion de la aplicacion de cenizas de fondo de termoelectricas en bloques de hormigon para pavimentos. *Materia*, 25(1). doi:0.1590 / s1517-707620200001.0895
- Solorzano, C., Zambrao, D., Vacca, H., & Larrahondo, J. (2019). Degradacion de modulo residente, debida a residuos producto de combustion de carbon, en arcillas de baja plasticidad. *Revista de Ingenieria de Construccion RIC*, 34(3), 225 - 241.
- Spagnoli, G., & Shimobe, S. (2020). Una descripcion general de las caracteristicas de compactacion de los suelos mediante pruebas de laboratorio. *Ingenieria Geologica*, 278(5), 274-285. doi:10.1016 / j.enggeo.2020.105830
- Talero, R., Delgado, A., Pedrajas, C., & Trusilewicz, L. (2011). Formacion de la sal de Friedel de origen puzolana y de origen de cemento Portland ordinario: estudio comparativo por DRX. Diferenciacion cinetica. *Ingenieria Quimica*, 43(491), 64 - 69.
- Veas, L., & Pradena, M. (2010). Aplicaciones de la administracion integral de proyectos en la industria de la construccion. *Revista de la construccion*, 9(2), 89-96.
- Yongfu Xu, B. J., & Shazim Ali, M. (2020). Sobre las tendencias recientes en la estabilizacion expansiva del suelo

utilizando materiales estabilizadores a base de calcio (CSM): una revision exhaustiva. *Hindawi, Avances en ciencias*

e ingenieria de materiales, 2020, 23.
doi:<https://doi.org/10.1155/2020/1510969>