

INTERNATIONAL SOCIETY FOR SOIL MECHANICS AND GEOTECHNICAL ENGINEERING



This paper was downloaded from the Online Library of the International Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (ISSMGE). The library is available here:

<https://www.issmge.org/publications/online-library>

This is an open-access database that archives thousands of papers published under the Auspices of the ISSMGE and maintained by the Innovation and Development Committee of ISSMGE.

The paper was published in the proceedings of XVI Pan-American Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (XVI PCSMGE) and was edited by Dr. Norma Patricia López Acosta, Eduardo Martínez Hernández and Alejandra L. Espinosa Santiago. The conference was held in Cancun, Mexico, on November 17-20, 2019.

Variación de las propiedades fisicoquímicas de los suelos del depósito lacustre de la Ciudad de Tunja, Zona Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia

Diana P. VELANDIA R.^{a,1} y Lesly N. LOPEZ V.^b

^a *Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Grupo de investigación en ingeniería sísmica y amenazas geo-ambientales*

^b *Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Grupo de investigación en ingeniería sísmica y amenazas geo-ambientales*

Resumen. Desde hace varias décadas se ha venido trabajando en la búsqueda de diferentes materiales y métodos que reduzcan los cambios abruptos en el suelo y que a su vez aumenten las propiedades de resistencia de un suelo, uno de estos métodos es la adición de distintos minerales a diferentes concentraciones.

Diferentes autores han propuesto el tratamiento de suelos con silicato de calcio, para mejorar las condiciones del terreno, además de la búsqueda de materiales de bajo costo que reduzcan el precio de las inyecciones químicas y de ecuaciones que permitan la aplicación de la sílice de cal en diferentes suelos.

El objetivo de esta investigación es evaluar el mejoramiento de las propiedades fisicoquímicas del depósito lacustre de la ciudad de Tunja, mediante la aplicación de diferentes porcentajes de silicato de calcio, el depósito lacustre se compone principalmente de arcillas y suelos blandos, que los hacen susceptibles a grandes deformaciones.

Este trabajo evaluó la técnica de mejoramiento de suelo de inyecciones de silicatos de calcio a base de cascarilla de arroz, se realizaron pruebas de Difracción de rayos x (DRX) para evaluar los cambios moleculares que presenta la muestra, además se realizaron ensayos físicos propios de la geotecnia que buscaban evaluar los cambios físicos y de resistencia a diferentes porcentajes de silicato de calcio (5, 10, 15, 20, 25).

Palabras Clave. Silicato, estabilización química, geotecnia, nanopartículas, propiedades mineralógicas.

1. Introducción

La estabilización química llevada a cabo con silicatos se inicia a partir del siglo XIX, el primero en proponer silicatos solubles para su comercialización fue Johann Van Fuchs; hacia 1910, el silicato de sodio inicio a usarse como agente impermeabilizado, que, junto con aditivos como silicato de calcio y aluminio, generaban precipitación de sus componentes formando un gel duro [1].

¹ Diana Paola Velandia Rativa, autor principal, Universidad Pedagógica Y Tecnológica De Colombia, Tunja, Cra 9B 60A-20, Colombia; E-mail: dianapa96@hotmail.com

Hacia 1915 Albert Francois, encontró que se podría incrementar la efectividad de una inyección de cemento si se precedía de silicato de sodio, posteriormente, el ingeniero holandés Hugo Joosten, inyectó silicato de sodio en forma de lechada en fundaciones profundas seguidas por una inyección de cloruro de calcio [2].

Hacia 1967 en España se usa la primera inyección en obra, para la construcción del metro, esta técnica se desarrolla principalmente en Japón, de acuerdo con el planteamiento que realiza Alvaro Lopez Ruiz al comparar los costos de las técnicas de mejoramiento de suelos, la estabilización con silicatos de sodio, aunque es muy efectiva tiene costos muy elevados [3].

Actualmente muchas empresas como Sireg Geotech, empresa italiana y SIDESA, comercializan tratamientos productos y maquinaria especializada para realizar seguimientos y tratamiento en los suelos a los cuales se les inyecta el silicato de sodio.

En el siguiente trabajo se evalúa la aplicación de silicato de calcio en una muestra del depósito fluvio-lacustre de la ciudad de Tunja, ya que es una técnica relativamente nueva y ampliamente estudiada por diversos autores en el campo de la ingeniería civil, estos estudios se basan principalmente en la implementación de silicato de sodio, como Kermani, Hassani, Aflaki, Benzaazoua, Nokken, investigadores canadienses cuyo trabajo evalúa el efecto del silicato de sodio para el relleno de un mina, esta técnica de tratamiento y estabilización de un suelo se aplica principalmente en suelos expansivos, con gran cantidad de arcillas [4], ya que como lo dice Eduardo Besoain, en su libro mineralogía de arcilla en suelos, la arcilla está constituida por minerales de montmorillonita e Illita, pertenecientes al grupo de silicatos, que se componen de aluminio, hierro y magnesio, entre muchos otros, estos a su vez forman laminas, que al ser hidratadas y por su estructura cristalina débil absorben el agua produciendo expansión del suelo, generando problemas en las estructuras [5].

Las investigaciones realizadas en el área de estabilización de suelos con silicato de sodio se enfocan principalmente en encontrar cantidad óptima de sílice con la cual se mejoran propiedades mecánicas del suelo tales como: resistencia a la compresión confinada, corte, consolidación y en el caso de ser usado para vías CBR, autores como Brabston, William N; Hammitt, George M. han escrito algunas consideraciones para tener en cuenta en cuanto a las características del suelo y a las ventajas y desventajas que tiene el uso de diferentes técnicas de estabilización [6].

Este trabajo tiene como finalidad recolectar información y aportes que contribuyan a ampliar el conocimiento de la ingeniería civil y específicamente de la rama de la geotecnia, ya que la estabilización de suelos es un tema ampliamente tratado por diferentes investigadores y empresas; actualmente se busca reducir los daños ambientales que se causan al suelo mediante la implementación de sustancias como geo-polímeros y el reemplazo de aditivos como el cemento, de igual manera se busca reducir los costos y tiempos en obra.

Esta investigación abarca únicamente la técnica de aplicación de inyección de silicatos de calcio en suelos, su efecto en un tipo de suelos con gran cantidad de finos y sus los efectos físicos y geomecánicas que presente.

Este trabajo se basa en la recolección de información de diversas fuentes (artículos, revistas, libros) comparando datos y esquemas propuestos por diferentes autores para obtener correlaciones y parámetros estandarizados en cuanto a la aplicación de silicatos de calcio.

2. Metodología, materiales y trabajo experimental

2.1. Materiales

El fin de este estudio fue evaluar la variación de las características de una muestra de suelo obtenida del depósito lacustre de la ciudad de Tunja, además de buscar una correlación entre la variación de las características del suelo y su composición mineralógica mediante difracción de rayos X (DRX).

Se usó como técnica de estabilización una mezcla de 1:1 de ceniza de cascarilla de arroz con cal, para la obtención de cascarilla de arroz primero se realizaron varios lavados con agua destilada para posteriormente someterla a proceso térmico (800°C) y así obtener la ceniza de la cascarilla de arroz.

La Tabla 1 muestra las características físicas y mecánicas del suelo sometido a estabilización química, en este estudio no se muestran las características químicas del estabilizador.

Tabla 1. Características de suelo in situ.

Propiedades ingenieriles y físicas	Valor
Gravedad específica (Gs)	2,693
Limite líquido (Ll)	49,43
Limite plástico (Lp)	35,39
Índice de plasticidad (IP)	14,07
Humedad	36,31
Porosidad	49,35
Relación de vacíos	0,98
Resistencia a la compresión inconfiada (Kpa)	78
Tipo de suelo	ML
Peso Unitario	1,83

2.2. Diseño experimental

Todos los especímenes tratados se elaboraron manteniendo las condiciones iniciales del suelo, se mantuvo constante el peso unitario de la muestra y su contenido de humedad, evaluando la estabilización en condiciones in situ del suelo, para comparar la variación presentada en el suelo evitando cambiar sus condiciones iniciales.

Se tomaron como porcentajes de referencia 5, 10, 15, 20, 25 dado que algunos autores plantean como porcentaje óptimo entre el 4% y 12% de sílice necesario para alcanzar condiciones óptimas del suelo [7], las muestras se sometieron a curado durante 7 días, simulando el esfuerzo al cual se encontraban en el lugar antes de ser extraídas.

Los silicatos de acuerdo con Juárez Badillo son sólidos solubles que al formar un gel pueden penetrar fácilmente en el suelo, al estar en contacto con sales de calcio, producen un silicato de calcio gelatinosos que al hidratarse se endurecen y recubren la

capa de suelo, impidiendo el paso de agua y de paso formando una capa dura, que llena todos los vacíos y cambia las propiedades del suelo en el cual se está aplicando [8].

A cada probeta de suelos se le aplico el porcentaje de estabilizador en base al peso unitario de estas.

3. Resultados y discusión

La cohesión que es la propiedad del suelo de mantener unidas sus partículas, se origina por las fuerzas moleculares y se ve seriamente afectada por la cantidad de agua que se proporcione, en suelos arenosos la cohesión tiende a ser 0 y en suelos con gran cantidad de finos la cohesión se encuentra entre 0,25 y 1,5 kg/cm².

3.1. Cohesión

En la Figura 1 se observa como al aumentar el porcentaje de sílice en el suelo este pierde su cohesión, hasta volverse casi nula, para porcentajes de silicato de calcio bajos.

Al aumentar la cantidad de sílice se observa que, aunque la cohesión se disminuye el cambio no es tan drástico como con el 5% de sílice, al aumentar los iones de Ca⁺ se disminuye la doble capa del suelo fino, lo cual hace que este sea más estable.

De acuerdo con la clasificación realizada por la norma SUCS - ASTM D2487, el suelo es un limo de baja plasticidad clasificado dentro del grupo de filosilicatos, compuesto principalmente compuesto por minerales como la halloysita.

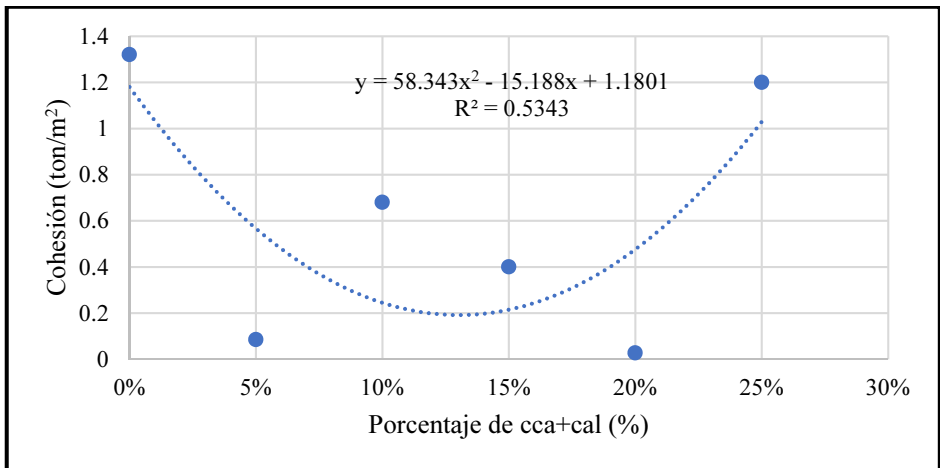


Figura 1. Variación de la cohesión con el porcentaje de sílice.

3.2. Ángulo de fricción

En la Figura 2 se muestra el aumento gradual del ángulo de fricción, a medida que se aumenta el porcentaje de sílice presente en la muestra, se presenta una mayor resistencia al corte, esto se puede explicar debido a la rápida hidratación del CSH (silicato de calcio), ya que se forman microcristales que llenan los vacíos el suelo, disgregan las partículas y las agrupan rápidamente formando granulos mucho mas resistentes.

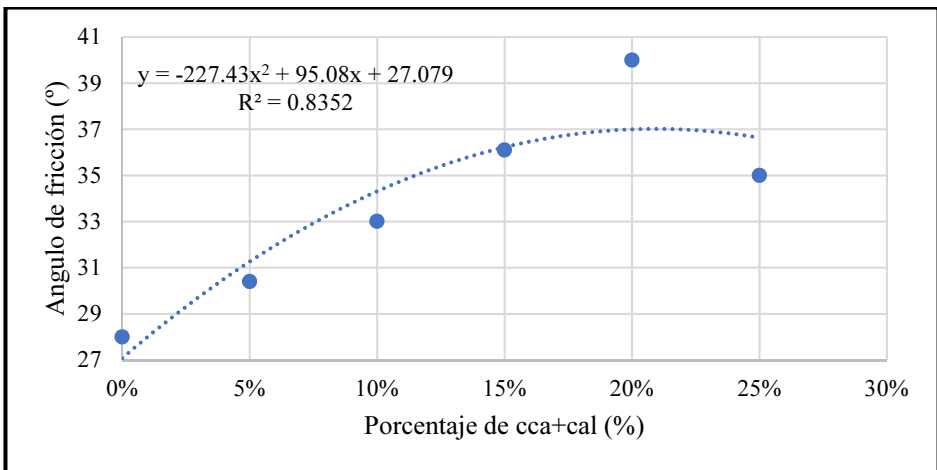


Figura 2. Variación del ángulo de fricción con el porcentaje de sílice.

3.3. Límites de Atterberg

De acuerdo con la norma ASTM D 4318-84, con la cual se normaliza el ensayo de límites de Atterberg, basados en esta norma se analizan los cambios producidos en límite líquido, límite de plasticidad e índice de plasticidad del suelo, se observa que con adiciones bajas de sílice la plasticidad del suelo no disminuye significativamente, si no que por el contrario tiende a presentar un aumento bajo, pero al aumentar la cantidad de sílice en el suelo si se presentan disminuciones en la plasticidad del suelo, lo cual se traduce en asentamiento menores ante cargas, aunque esto se traduce en un aumento en costos, ya que se haría necesario demasiado sílice para reducir significativamente la plasticidad del suelo

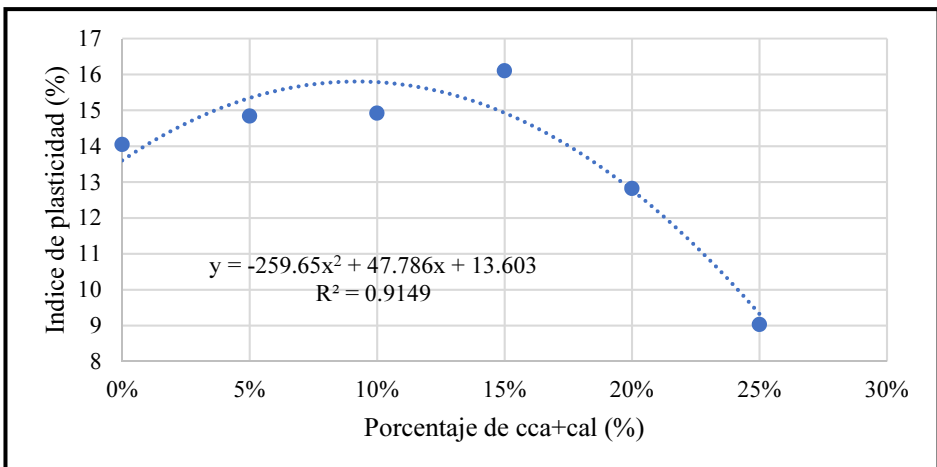


Figure 3. Variación del índice de plasticidad con el aumento de sílice.

4. Conclusiones

Las principales conclusiones de este estudio son:

1. Al aumentar el porcentaje de sílice el suelo se presenta un aumento gradual en el Angulo de fricción, esto se relaciona directamente con la formación de cristales y CSH en el suelo.
2. De acuerdo con los resultados obtenidos se observa que con contenidos bajos de sílice la plasticidad se aumenta hasta cierto límite, esto es debido a los componentes de la cal y su reacción con los minerales del suelo sometido a análisis.
3. A pesar de que la cascarilla de arroz tiene alto contenido de sílice, al obtener este material a partir de calcinación solo se recupera el 25% del total de la cascarilla de arroz y aunque es un avance importante en la reducción de residuos sólidos producto de la industria Molinera que genera 82 ton/día, de acuerdo con Aguilar Sierra; se recomienda realizar tratamientos previos y de limpieza de la cascarilla de arroz para aumentar los porcentajes de ceniza obtenidos o directamente tratar la ceniza obtenida luego de la quema producida en el proceso de obtención del arroz [9].

Referencias

- [1] C. A. Bernal Gómez, “Análisis técnico de suelos limo arenosos estabilizados con silicato de sodio expuestos a medioambientes agresivos (agua salina),” Universidad Distrital Francisco José De Caldas, Bogotá, 2018.
- [2] C. Mar, M. Italo, and P. Germ, “Estabilización de subrasante loésica con silicato de sodio líquido.”
- [3] A. López Ruiz, “Nuevas inyecciones químicas estructurales de base silicato.”
- [4] M. Kermani, F. P. Hassani, E. Aflaki, M. Benzaazoua, and M. Nokken, “Evaluation of the effect of sodium silicate addition to mine backfill, Gelfill - Part 1,” *J. Rock Mech. Geotech. Eng.*, vol. 7, no. 3, pp. 266–272, 2015.
- [5] E. Besoain, *Mineralogía de arcillas de suelos*. San Jose, Costa Rica: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, 1985.
- [6] W. N. Brabston and G. M. Hammitt, “Methods of Stabilization,” *Soil Stab. Airfields Roads*, vol. 5, no. 113832, pp. 1–81, 1997.
- [7] M. Sadrjamali, S. M. Athar, and A. Negahdar, “Modifying Soil Shear Strength Parameters Using Additives in Laboratory Condition,” vol. 10, no. 1, pp. 120–130, 2015.
- [8] E. Juarez Badillo and A. Rodriguez Rico, *Mecánica de Suelos*, Reprint. Distrito Federal México: LIMUSA, 2005.
- [9] J. Aguilar Sierra, “Alternativas de Aprovechamiento de la Cascarilla de Arroz en Colombia,” p. 94, 2009.