

COMPARACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS DE ESTABILIZACIÓN CON CAL, CEMENTO, SILICATO DE SODIO Y ACEITE SULFONADO PARA VÍAS Terciarias con presencia de arcilla en la Región de la Orinoquía

COMPARISON OF STABILIZATION ALTERNATIVES WITH LIME, CEMENT, SODIUM SILICATE AND SULPHONE OIL FOR TERTIARY ROUTES WITH THE PRESENCE OF CLAY IN THE ORINOQUIA REGION

Brian David Álvarez Pizco

Estudiante de pregrado Ingeniería Civil, Universidad Santo Tomas sede Villavicencio, brianalvarez@usantotomas.edu.co

Luis Fernando Rojas Ochoa

Estudiante de pregrado Ingeniería Civil, Universidad Santo Tomas sede Villavicencio, luisrojaso@usantotomas.edu.co

Luis Fernando Diaz Cruz

Maestría en Infraestructura Vial, Docente Universidad Santo Tomas sede Villavicencio, luisfdiaz@usantotomas.edu.co

Resumen: En el presente proyecto de grado se evalúan las propiedades o características naturales y posteriores a la implementación de Agentes estabilizantes (Cal, Cemento, Aceite Sulfonado y Silicato de Sodio) en el suelo presente en la Vereda las Leonas ubicada entre el municipio de puerto López y puerto Gaitán en el departamento del Meta. Para esto, inicialmente se realizó la caracterización del suelo presente en la vía, posteriormente se continuo el proceso con la aplicación de los agentes estabilizantes en diferentes concentraciones sobre la superficie de rodadura, para finalmente cuando el suelo tratado alcanzara una edad de maduración de 20 días lograr evaluar las propiedades y determinar los cambios obtenidos, con el fin de analizar el comportamiento de cada uno de los agentes estabilizantes y así identificar cuál de estos permite obtener mejores resultados en el comportamiento mecánico del suelo con presencia de arcilla en la región de la Orinoquía.

Palabras clave: aceite sulfonado, cal, cemento, estabilización química de suelos, mejoramiento de suelos, silicato de sodio.

Abstract: In this degree project, the properties or natural characteristics and after the implementation of stabilizing agents (Lime, Cement, Sulfonated Oil and Sodium Silicate) are evaluated in the soil present in the Vereda las Leonas located between the municipality of Puerto López and Gaitán port in the department of Meta. For this, initially the characterization of the soil present on the road was carried out, later the process was continued with the application of stabilizing agents in different concentrations on the tread surface, for later when the treated soil reached a maturity age of 20 days to evaluate the properties and determine the changes obtained, in order to analyze the behavior of each of the stabilizing agents and thus identify which of these allows to obtain better results in the mechanical behavior of the soil with the presence of clay in the Orinoquía region.

Keywords: sulfonated oil, lime, cement, chemical soil stabilization, soil improvement, sodium silicate.

1. INTRODUCCIÓN

En el área de la Ingeniería Civil, el uso de estabilizantes químicos para mejorar las condiciones de las vías terciarias ha venido siendo a lo largo del tiempo un método bastante investigado, a pesar de esto, su implementación para mejorar las condiciones que puede tener una vía a lo largo de su vida útil o hasta que sea intervenida de mejor manera ha sido baja, teniendo en cuenta que la mayoría de las vías del país se encuentran en afirmado, esta situación puede ser representada por la región de la Orinoquia en donde un 60% de sus vías cuenta con el suelo como capa de rodadura.

Se entiende como un método de estabilización de la rasante a un conjunto de parámetros físicos, químicos y fisicoquímicos, con tendencia a modificar propiedades del suelo más influyentes en labores de ingeniería para la construcción de una determinada obra, haciendo que los materiales encontrados inicialmente sean adecuados para el uso previamente definido, evitando así el uso de sustancias y materiales de difícil acceso o de alto costo. A su vez, la necesidad de generar métodos y estrategias para mejorar la infraestructura vial terciaria ha generado numerosos trabajos de investigación y posibles soluciones en el área de la mecánica de suelos tradicional.

La presente investigación implementará el método de estabilización química, con el fin de comparar el efecto que diferentes agentes estabilizantes pueden causar sobre las características físicas y mecánicas del suelo, identificando a su vez, cuál de estos permite obtener mejores resultados en los ensayos de caracterización (límites de Atterberg, compresión inconfiada, Proctor modificado y CBR inalterado - California Bearin Ratio), logrando obtener un análisis que resulte útil para la implementación en distintos proyectos de Ingeniería Civil en la región de la Orinoquía para carreteras que tengan presencia de materiales con comportamiento plástico.

2. DESARROLLO DEL ARTÍCULO

En esta sección se especifica el proceso llevado a cabo para caracterizar el suelo de la zona de estudio, realizar el proceso de estabilización y desarrollar los ensayos necesarios para conocer el efecto de estas sustancias en las propiedades y características del suelo. Con el objetivo de identificar el agente estabilizante que permita obtener mejores resultados en el comportamiento mecánico del suelo con presencia de arcilla en la región de la Orinoquía.

2.1 Etapa 1 (Recopilación de información).

En esta fase se contemplaron las actividades relacionadas con la recolección de información referente al tema de estudio, que a su vez facilitó la elaboración del anteproyecto partiendo de la problemática inicial, la cual correspondió a la comparación de agentes estabilizantes que puedan llegar a brindar beneficios al suelo que funciona como superficie de pavimento en las vías terciarias en el departamento del Meta.

2.2 Etapa 2 - Ejecución. (Extracción de muestras, caracterización del material encontrado y definición de las dosis a implementar)

Esta fase estuvo contemplada en primera parte por la visita a la vía caso de estudio, inspección visual de la misma y toma de muestras de suelo para su caracterización.

2.2.1 Toma de muestras.

En esta etapa la muestra de suelo obtuvo por medio de una excavación a una profundidad aproximada de 0.2 m del nivel de la rasante (base de la estructura de pavimento). En primera instancia por medio de un procedimiento visual, el material obtenido se identificó y describió en el lugar de su extracción. Una vez obtenido el material granular se procedió a realizar su caracterización.

2.2.2 Caracterización del material granular.

Luego de obtener el material granular de la zona de estudio se llevaron a cabo los diferentes ensayos que se presentan a continuación, con el fin de conocer las características del material en estudio.

**TABLA I
ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN**

NOMBRE DEL ENSAYO	NORMA
Determinación de los tamaños de partículas de los suelos	I.N.V. E-123
Determinación del límite líquido de los suelos	I.N.V. E-125
Límite plástico e índice de plasticidad de los suelos	I.N.V. E-126
Clasificación de suelos y mezclas de suelos y agregados con fines de construcción de carreteras (Sistema AASHTO)	I.N.V. E-180
Sistema unificado de clasificación de suelos para propósitos de ingeniería	I.N.V. E-181
CBR de suelos compactados en el laboratorio y sobre muestra inalterada	I.N.V. E-148
Relaciones humedad-peso unitario seco en los suelos (Ensayo modificado de compactación)	I.N.V. E-142
Compresión inconfiada en muestras de suelos	I.N.V. E-152
Inspección visual y medición de caída de polvo	N/A

Fuente: Autores

2.2.3 Dosis de estabilizantes.

La dosis de cada uno de los estabilizantes implementados en las muestras de suelo y en los tramos seleccionados de la vía se presentan a continuación:

**TABLA II
ÁREA DE INTERVENCIÓN**

Longitud	10.0 m
Ancho	6.0 m
Espesor	0.10 m
Volumen	6 m ³

Fuente: Autores

**TABLA III
DOSIFICACIONES**

AGENTE ESTABILIZANTE	DOSIS	DEFINIDA POR
Cal	3.0%	Manual de estabilización de suelo tratado con cal [20]
Cemento	2.0%	Proveedor (Argos) [21]
Silicato de Sodio	3.0%	Trabajo final para título de maestría en ingeniería geotécnica U. Nacional [17]
Aceite Sulfonado	0.5%	Proveedor (EstaVías) [22]

Fuente: Autores

2.3 Etapa 3 – Estabilización y caracterización del suelo (Evaluación de muestras estabilizadas con un periodo de maduración de 20 días)

Esta fase está conformada en primera parte por la aplicación de los agentes estabilizantes sobre la superficie de la vía caso de estudio, la cual se llevó a cabo de forma manual. Posteriormente, pasados 20 días desde la aplicación de los estabilizantes acorde a la recomendación de la literatura y proveedores se realizó una inspección visual de la vía y se realizó la toma de muestras de suelo para su caracterización. En esta fase se realizó los ensayos de laboratorio llevados a cabo en la fase anterior exceptuando el proceso de determinación de los tamaños de partículas del suelo.

2.4 Etapa 4 - Cierre. (conclusiones en base al análisis de resultados)

Esta fase tuvo como objetivo el tratamiento y análisis adecuado de los datos obtenidos en las fases anteriores facilitando la comparación con claridad de cada uno de los agentes estabilizantes implementados para el desarrollo del proyecto, ya que mediante esto se puede identificar cuál de las sustancias empleadas presenta mejores condiciones en campo, logrando así, ofrecer una análisis base que sirva como una guía para futuras implementaciones de agentes estabilizantes en la región de la Orinoquia o en materiales similares al intervenido.

3. RESULTADOS

3.1 Descripción de la zona de estudio

TABLA IV
CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL QUE CONFORMA LA SUPERFICIE DE RODADURA

Angulosidad	La muestra de suelo no presenta partículas gruesas visibles
Forma	La muestra de suelo no presenta partículas gruesas visibles
Color	La muestra presenta un color terracota oscuro debido a que presenta humedad
Olor	La muestra de suelo no presenta un olor característico al momento de extraerla
Condición de humedad	La muestra se encuentra: Húmeda
Consistencia	El suelo presente una consistencia Dura, ya que el pulgar no deja marca en el suelo y solo lo penetra la uña
Cementación	El suelo presenta una cementación débil ya que los bloques de material conglomerado por causa de la humedad se rompen con poca presión
Estructura	La muestra de suelo presenta un solo color y apariencia uniforme, pero al momento de extraerla se forman pequeños terrones o bloques debido a que es un material cohesivo
Tamaño máximo de la partícula	La muestra está compuesta por partículas finas
Comentarios adicionales	El suelo cuenta con presencia de raíces

Fuente: Autores

La sección transversal de la vía caso de estudio cuenta con un ancho de calzada de seis (6) metros, de los cuales dos (2) metros del costado derecho y uno (1) del costado izquierdo se encuentran cubiertos por vegetación. Además, esta vía no cuenta con sistemas de drenaje como bombeo o cunetas que permitan la evacuación del agua de la superficie de rodadura. Al ser una vía terciaria está expuesta a los factores ambientales y climáticos; el departamento del Meta y los municipios aledaños a la zona de estudio la mayoría de los meses del año están marcados por lluvias significativas. Lluvias que promueven el deterioro de estas vías al no presentar los elementos geométricos necesarios para que la estructura se mantenga en óptimas condiciones.

3.2 Caracterización física

El suelo presente en la zona de estudio tiene una composición del 0.07% de gravas, un 81.31% de arenas y un 18.62% de finos. Respecto a la fracción de finos, que corresponde al 18.62% de la muestra, un 57.77% de arcillas y un 44.23% de limos equivalentes a un 10.38% y 8.24% de la composición del suelo. Teniendo en cuenta los resultados anteriores, la clasificación de suelos y mezclas de suelos y agregados con fines de construcción de carreteras (Sistema AASHTO) ubica este tipo de suelo en el grupo A-2-4 (3) siendo un suelo constituido comúnmente por gravas y arenas arcillosas limosas, teniendo un comportamiento general como subrasante de excelente a bueno. Por otra parte, según el sistema unificado de clasificación de suelos para propósitos de ingeniería, el suelo corresponde a un limo arenoso de baja plasticidad con indicios de grava (ML).

Por medio de la determinación de los límites líquido, plástico e índice de plasticidad para el suelo estabilizado por medio de los ensayos I.N.V. E-125 y I.N.V. E-126, se observa que cuatro agentes

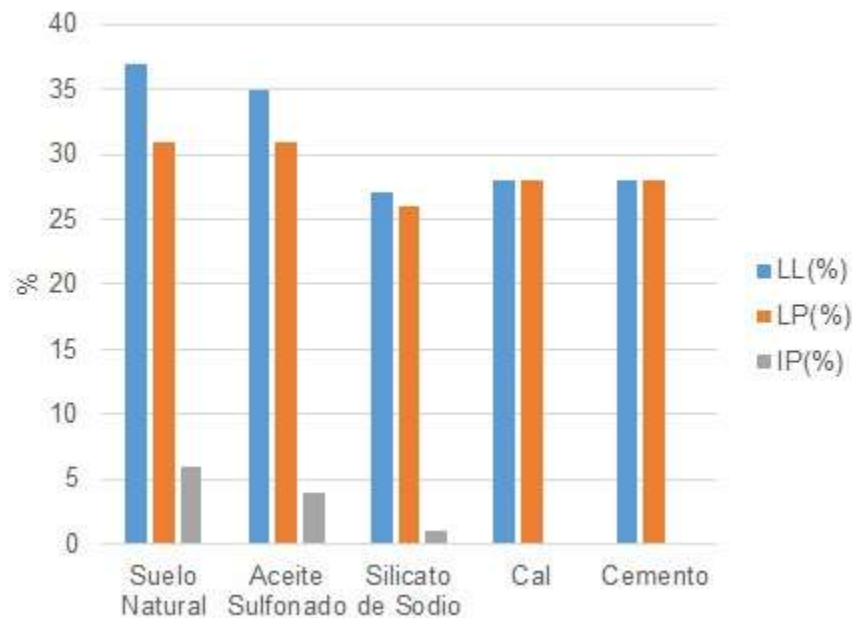
estabilizantes reducen la plasticidad del material.

TABLA V
CARACTERÍSTICAS DE PLASTICIDAD DEL MATERIAL NATURAL Y ESTABILIZADO

	LL (%)	LP (%)	IP (%)
Suelo Natural	37	31	6
Suelo Estabilizado con Aceite Sulfonado	35	31	4
Suelo Estabilizado con Silicato de Sodio	27	26	1
Suelo Estabilizado con Cal	28	28	0
Suelo Estabilizado con Cemento	28	28	0

Fuente: Autores

Gráf. 1. COMPORTAMIENTO DE LAS CARACTERÍSTICAS DE PLASTICIDAD DEL MATERIAL NATURAL Y ESTABILIZADO



Fuente: Autores

Para el tramo estabilizado con aceite sulfonado se puede observar que existe una reducción en la plasticidad del material, en donde se presenta una disminución en los valores del límite líquido e índice de plasticidad del 5.4% y 33.3% respectivamente. En el caso del silicato de sodio se observó que la plasticidad disminuyó en mayor proporción, siendo este el agente estabilizante que tuvo un mayor efecto sobre el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad, presentando reducciones del 27%, 26% y 83.3% respectivamente. La cal y el cemento, al igual que el silicato de sodio presentaron una considerable reducción en la plasticidad del material, pero en este caso ambos estabilizantes redujeron en la misma proporción los valores de límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad en un 24.3%, 9.3% y 100% respectivamente.

3.2 Caracterización mecánica

Luego de la estabilización de las muestras y del tiempo de maduración respectivo, se observó que cada uno de los agentes estabilizantes generaron efectos positivos en las propiedades de resistencia del suelo. Para el ensayo de CBR inalterado, basado en la norma I.N.V. E-148 y con una presión de 0.2" (5.087mm). Los resultados obtenidos fueron los siguientes.

TABLA VI

CBR DEL MATERIAL NATURAL Y ESTABILIZADO

	CBR%
Suelo Natural	1.98%
Suelo Estabilizado con Aceite sulfonado	3.88%
Suelo Estabilizado con Silicato de sodio	4.84%
Suelo Estabilizado con Cal	8.05%
Suelo Estabilizado con Cemento	5.51%

Fuente: Autores

Gráf. 2. COMPARACIÓN DE LOS VALORES DE CBR INALTERADO PARA EL SUELO NATURAL Y ESTABILIZADO

Fuente: Autores

A partir de los datos generados para cada uno de los tramos y realizando la comparación del suelo estabilizado como se mencionó anteriormente cada uno de los agentes estabilizantes generaron efectos positivos aumentando la capacidad de soporte en un 195.9%, 244.4% y 278.3% para los tramos estabilizados con aceite sulfonado, silicato de sodio y cemento respectivamente. Pero el estabilizante con mejores resultados es la cal, en donde la capacidad de soporte del suelo aumenta en un 306.56%.

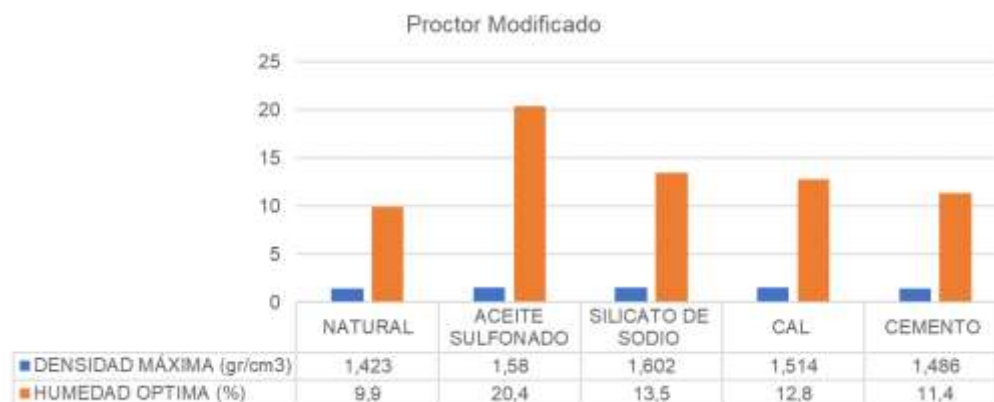
Para los ensayos realizados en laboratorio de Proctor modificado, en el cual se llevó el suelo hasta alcanzar humedades de 7%, 10%, 13% y 16% para su elaboración. Al igual que en el ensayo de CBR, todos los agentes estabilizantes causaron un aumento en la densidad seca máxima y humedad optima de compactación, pero al contrario del ensayo anterior los resultados del silicato de sodio representaron el mayor resultado en su densidad seca máxima con un aumento de 12.58% (0.179 gr/cm³) con una humedad optima de compactación del 13.5%.

TABLA VII
ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO PARA EL SUELO NATURAL Y ESTABILIZADO

	Densidad Máxima (gr/cm ³)	Humedad Optima (%)
Natural	1,423	9,9
Aceite sulfonado	1,58	20,4
Silicato de sodio	1,602	13,5
Cal	1,514	12,8
Cemento	1,486	11,4

Fuente: Autores

Gráf. 3. COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN EL ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO PARA EL SUELO NATURAL Y ESTABILIZADO



Fuente: Autores

En los ensayos de compresión inconfiada los agentes estabilizantes al igual que en los ensayos anteriores influyeron en el aumento de las propiedades analizadas. Pero al igual que en los ensayos de CBR, la cal es el agente estabilizante que presenta los mejores resultados en cuanto a esfuerzo máximo, resistencia no drenada y módulo de elasticidad con un aumento del 85.8% respecto a los valores encontrados en el suelo natural.

**TABLA VIII
ENSAYO DE COMPRESIÓN INCONFINADA PARA EL SUELO NATURAL Y ESTABILIZADO**

	Esfuerzo máximo (Mpa)	Resistencia no drenada (Mpa)	Módulo de elasticidad (Mpa)
Natural	0,162	0,081	2,180
Aceite sulfonado	0,189	0,095	2,819
Silicato de sodio	0,120	0,060	1,813
Cal	0,301	0,150	4,422
Cemento	0,197	0,098	4,364

Fuente: Autores

Gráf. 3. COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN EL ENSAYO DE COMPRESIÓN INCONFINADA PARA EL SUELO NATURAL Y ESTABILIZADO



Fuente: Autores

4. CONCLUSIONES

La estabilización de suelos es una actividad que tiene como principal objetivo mejorar las condiciones tanto químicas como físicas de un suelo existente, adicionando diferentes tipos de agentes siendo más comunes la cal y el cemento por las mejoras que presentan al poco tiempo de su aplicación en la rasante y subrasante para obtener las ventajas de la estabilización como lo son, aprovechar los suelos de baja calidad, evitar la extracción y rellenos con nuevos materiales, reducir la sensibilidad del agua en el material, aumentar la resistencia y obtener una base firme y sólida para una estructura de pavimento. Las investigaciones con fines de analizar y determinar cuál es la mejor alternativa para mantener la integridad de las vías terciarias en nuestro país son pocas, de acuerdo con la información recolectada para el desarrollo de la presente investigación son muy pocos los estudios que involucran la estabilización del material en campo y la estabilización de suelos con presencia de arcillas. Producto de este proyecto, después aplicar directamente en campo los agentes estabilizantes en una vía con las condiciones predominantes de una carretera perteneciente a la red vial terciaria de la región de la Orinoquía y de analizar los ensayos bajo especificaciones INVIAS 2013, se concluyó:

El suelo presente en la vía caso de estudio, a través de los ensayos de caracterización y basados en la norma I.N.V E-180 (Sistema AASHTO), pertenece al grupo A-2-4 (3) y teniendo en cuenta la norma I.N.V E-181 (SUCS) adquiere el nombre de limo arenoso de baja plasticidad con indicios de grava (ML) teniendo un comportamiento general como subrasante de excelente a bueno. A través su estabilización con aceite sulfonado, silicato de sodio, cal y cemento con porcentajes de dosificación del 0.5%, 3%, 3% y 2% respectivamente, basados en los fabricantes y en estudios previamente realizados, se registró una mejoría en las características físicas y mecánicas del suelo, por medio de los ensayos de caracterización bajo las especificaciones INVIAS. Se puede observar que todos los estabilizantes producen un efecto positivo, ya que mejoran las propiedades o características del suelo en factores como la resistencia o la reducción de la plasticidad, en dónde la cal y el cemento reducen este último factor en la misma proporción, presentando reducciones del 24.3%, 9.3% y 100% en los valores de límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad respectivamente.

La cal es el agente estabilizante que permite obtener mejores resultados en el comportamiento mecánico del suelo, ya que evaluando los resultados de los ensayos de CBR inalterado en cada uno de los tramos y realizando la comparación del suelo encontrado en condiciones naturales, se evidencia que promovió un aumento en el CBR del suelo y mejoro la capacidad de soporte respecto al CBR natural en un 370.11%. Con respecto a los ensayos realizados de compresión inconfiada se puede volver a evidenciar que la cal es el estabilizante que presenta los mejores resultados en cuanto a esfuerzo máximo, causando un aumento del 81,48% respecto a los valores encontrados en el suelo natural, pese a que en los resultados obtenidos del ensayo de Proctor modificado la cal produjo un aumento de la densidad seca en un 6.4% ocupando una tercera posición entre los agentes estabilizantes, el silicato de sodio fue la sustancia que manifestó un mejor resultado en su densidad seca máxima con un aumento de 12.58%.

La cal como agente estabilizante, favorece en mayor proporción las propiedades del suelo presente en la zona caso de estudio, es decir, presenta una mayor efectividad en el suelo tratado, superando los resultados obtenidos con las otras tres sustancias y promovió un aumento significativo de las propiedades actuales del suelo que conforma la vía caso de estudio, además, el costo aproximado para la estabilización por metro cuadrado es de 50 COP, valor que se encuentra por debajo del precio de estabilizar el suelo con cemento, silicato de sodio y aceite sulfonado siendo 153 COP, 516 COP, 771 COP, respectivamente (precios acorde al proveedor).

Debido a las condiciones climáticas de lluvia que predominaron en la zona de estudio durante el periodo de desarrollo del presente proyecto, días anteriores a las visitas de campo que fueron realizadas para la inspección de la zona de estudio, extracción de muestras, estabilización del suelo, no fue posible llevar a cabo las pruebas para observar la producción de polvo causada por el paso de los vehículos antes y después de realizar el proceso de estabilización e impidiendo establecer si cada uno de los estabilizantes pudo haber generado mejorías en esta característica para el suelo presente en la zona de estudio.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Dios, por bendecirnos y permitirnos culminar este trabajo de investigación y por ser el apoyo y fortaleza en aquellos momentos difíciles que afrontamos durante nuestro proceso de pregrado. A nuestras familias por el apoyo incondicional que nos brindaron para alcanzar este logro y poder ser un motivo de orgullo y felicidad para ellos. Agradecemos a la Universidad Santo Tomas De Villavicencio por permitirnos ser parte de esa institución y brindarnos sus instalaciones para la ejecución de los laboratorios, de manera especial al Ing. Luis Fernando Díaz Cruz director de nuestro proyecto de investigación, por compartir de manera muy acertada sus conocimientos a lo largo de la preparación de nuestra profesión y quien con paciencia y rectitud como docente logro brindarnos su apoyo a lo largo del proyecto. De manera general a nuestros compañeros de pregrado que estuvieron presentes siempre a lo largo de nuestro proceso de aprendizaje y creyeron en nosotros y a cada una de las personas que de forma directa, indirecta, positiva y negativa hicieron parte de nuestro proceso.

REFERENCIAS

- [1] J. S. Amaya, «Colombia tiene un promedio de 94% de todas sus vías terciarias en mal estado,» *La Republica*, vol. 1, nº 1, p. 2, 2019.
- [2] DNP, «PLAN MAESTRO DE LA ORINOQUIA,» Departamento nacional de planeación , Colombia, 2016.
- [3] ARCGIS, «SERVICIO GEOLOGICO COLOMBIANO,» ARCGIS, 12 12 2018. [En línea]. Available: <https://www.arcgis.com/home/webmap/viewer.html?webmap=56f650f4456e4c95b9358e973944c10&extent=-87.858,-6.6949,-55.4043,14.107>. [Último acceso: 20 06 2020].
- [4] A. C. Leal Acosta, *La economía local creció 3,3% en 2019 frente a 2018 y la suma total alcanzó \$1.062 billones. El financiero también fue de los que más aportaron*, Bogotá, 2020.
- [5] L. Narvaez, «VÍAS TERCARIAS: motor del desarrollo económico rural,» *Revista de ingeniería*, nº 45, pp. 80-87, 2017.
- [6] J. F. Camacho Tauta, O. J. Reyes Ortiz, C. Mayorga Antolínez y D. F. Mendez G., «EVALUACIÓN DE ADITIVOS USADOS EN EL TRATAMIENTO DE ARCILLAS EXPANSIVAS,» *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, vol. 16, nº 2, pp. 45-53, 2006.
- [7] W. A. Valle Areas, «Estabilización de suelos arcillosos plásticos con mineralizadores en ambientes sulfatados o yesíferos,» Universidad politécnica de Madrid, Madrid, España, 2010.
- [8] B. M. Das, «Principios de Ingeniería de Cimentaciones.,» de *Principios de Ingeniería de Cimentaciones.*, Mexico D.F, Thomson Editores, 2001, p. 862.
- [9] W. Chavarro Acuña y C. Molina Pinzón , «EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS DE PAVIMENTACIÓN PARA VÍAS DE BAJOS VOLÚMENES DE TRÁNSITO,» UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA , Bogotá, 2015.
- [10] J. C. Galindo Torres y E. A. Avellaneda Moreno, «ANÁLISIS TÉCNICO DEL USO DE SILICATO DE SODIO PARA ESTABILIZACIÓN QUÍMICA DE SUELOS. COMO TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL,» UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS, Bogotá, 2016.
- [11] J. Gómez Tapias, N. E. Montes Ramírez, Á. Navia Guevara y H. Diederix, «Mapa Geológico de Colombia 2015,» Servicio Geológico Colombiano, Bogotá D.C., 2015.
- [12] CALCINOR, «CALCINOR,» 2015. [En línea]. Available: <https://www.calcinor.com/es/actualidad/2018-01-23/cal-estabilizacion-de-suelos/>. [Último acceso: 31 07 2020].
- [13] J. E. Páez Ruano y L. F. Díaz Cruz, «INFLUENCIA DE LA ADICIÓN DE ACEITE SULFONADO EN LA RESPUESTA DINAMICA A PEQUEÑAS DEFORMACIONES DE UN MATERIAL GRANULAR ARCILLOSO,» UNIVERSIDAD SANTO TOMAS, Bogotá D.C., 2019.
- [14] E. T. Maty, «scribd,» 03 06 2018. [En línea]. Available: <https://es.scribd.com/document/368301088/Definicion-Del-Suelo-Desde-El-Punto-de-La-Ingenieria-Civil>. [Último acceso: 02 08 2020].
- [15] Diatom, «Diatom,» Diatom, 20 05 2011. [En línea]. Available: <https://diatom.com.br/es-ES/productos/silicato/silicato-de-sodio>. [Último acceso: 02 08 2020].
- [16] A. P. Olaya Bulla, «Aplicación de agente químico como estabilizador de suelos arcillosos para la construcción de vías,» UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA - UNAD, Bucaramanga, Santander, 2018.
- [17] O. J. Caballero Chaves, «Estabilización química con silicato de sodio del material de préstamo de la vía La Primavera – Bonanza – La Venturosa en el departamento del Vichada,» Universidad Nacional de Colombia, Bogotá D.C., 2017.
- [18] W. Y. Pérez Ardila y J. Torres Valenzuela, «Estudio de la cal y el cloruro de sodio como agentes estabilizadores de suelos arcillosos en propiedades como la resistencia y expansividad,» Universidad de Santander, Bucaramanga, Santander, 2015.
- [19] P. Garnica Anguas, A. Pérez Salazar, J. A. Gómez López y E. Y. Obil Veiza, «Estabilización de suelos con cloruro de sodio para su uso en las vías terretres,» Queretaro, Mexico, 2002.
- [20] Nacional Lime Association, «MANUAL DE ESTABILIZACIÓN DEL SUELO TRATADO CON CAL,» Nacional Lime Association, 2004.
- [21] ARGOS, «360 EN CONCRETO,» [En línea]. Available: <https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/caracteristicas-del-suelo-cemento-que-y-para-que>. [Último acceso: 29 09 2020].
- [22] EstaVías, «Aceite Naftalénico Sulfonado Estabilizador Electroquímico de Arcillas,» EstaVías, Bogotá.