

EVALUAR LA INCLUSIÓN DE MICRO POLÍMEROS Y CEMENTO PORTLAND COMO AGENTE ESTABILIZADOR DE SUELOS PARA CONFORMACIÓN DE RASANTES.



Autor:

JOAN CAMILO GALINDO TORRES

UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA DE PAVIMENTOS

2018

EVALUAR LA INCLUSIÓN DE MICRO POLÍMEROS Y CEMENTO PORTLAND COMO AGENTE ESTABILIZADOR DE SUELOS PARA CONFORMACIÓN DE RASANTES.

EVALUATE THE INCLUSION OF MICRO POLYMERS AND PORTLAND CEMENT AS A SOIL STABILIZING AGENT FOR THE FORMATION OF RASANTS.

Joan Camilo Galindo Torres
Ingeniero Civil
Bogotá D.C., Colombia
U6100283@umilitar.edu.co

RESUMEN

La estabilización de suelos se basa en la aplicación de un agente químico que permite mejorar las propiedades físicas y mecánicas del suelo a tratar, dentro de estas se encuentran la capacidad portante y la resistencia a la compresión. Un agente de este tipo debe ser utilizado de acuerdo con las especificaciones técnicas existentes o las consideraciones expuestas por el fabricante del producto. Este tipo de tratamiento es realizado en suelos con propiedades desfavorables y que presentan condiciones de inestabilidad volumétrica, alto contenido de humedad y baja capacidad de soporte. En la actualidad existen métodos de estabilización como el uso de cal, cemento portland, bitúmenes y productos químicos que buscan controlar esas deficiencias. En efecto, el presente artículo busca analizar el uso combinado de micro polímeros y de cemento hidráulico para el mejoramiento del suelo que va ser utilizado como capa rasante en la conformación de una vía de acceso para una locación petrolera, esto se hace a partir de los resultados que arrojan las pruebas de laboratorio en las que se conocen las características del suelo en su estado natural y para determinar cuál es el mejoramiento de sus propiedades a partir de la inclusión del agente estabilizador con el fin de evaluar una alternativa diferente de estabilización a las conocidas bajo los procedimientos normados por el Instituto Nacional de Vías - INVIAS para tratamientos de este tipo en el suelo.

Palabras clave: Estabilización química; micro polímeros; capacidad portante.

ABSTRACT

Soil stabilization is based on the application of a chemical agent that improves the physical and mechanical properties of the soil to be treated, they are inside the bearing capacity and resistance to compression. An agent of this type must be used in accordance with the existing technical specifications or the considerations set out by the manufacturer of the product. This type of treatment is performed on soils with unfavorable properties and present conditions of volume instability, high moisture content and low bearing capacity. Currently, there are methods of stabilization as the use of lime, portland cement, bitumen and chemicals that seek to control these deficiencies. Indeed, this article will analyze the combined use of micro polymer and hydraulic cement for the improvement of the soil that will be used as flush layer in the formation of an access road to an oil lease, this is done from of the results that shed the lab tests in which the characteristics of the soil are known, in its natural state and to determine what is the improvement of its properties from the inclusion of the stabilizing agent in order to evaluate an alternative different stabilization to the known under procedures regulated by the National Institute of Pathways - INVIAS for treatments of this type on the ground.

Keywords: Chemical stabilization; micro polymers; bearing capacity.

INTRODUCCIÓN

Durante la etapa de construcción de las estructuras del pavimento se establece una serie de prioridades para avalar la calidad, dentro de estas se encuentran la evaluación de las propiedades geo-mecánicas del suelo con el fin de asegurar que la capa de subrasante tenga características de soporte que muestren un buen comportamiento ante las cargas a las cuales va ser expuesto. Así mismo, para los casos en los cuales el suelo será sometido a un tratamiento que permita utilizarlo como capa de rasante, sobre todo cuando esté condicionado a niveles bajos de tránsito de vehículos y en los cuales se busca garantizar la transitabilidad sin realizar la construcción de una capa de rodadura de pavimento como es el caso del presente estudio.

En efecto, cuando se realiza la aplicación de algún tratamiento que permite estabilizar el suelo, se busca disminuir costos directos en ítems como excavación y retiro en la ejecución de proyectos viales, disminuyendo así el impacto ambiental en la zona de trabajo, reduciendo compra de material granular de préstamo para la conformación de estructuras de pavimento, siempre y cuando se cumpla con las condiciones enmarcadas en la normatividad vigente sobre propiedades de capacidad de soporte y resistencia a la compresión del suelo, siendo estas las principales características que se desean mejorar con la inclusión de nuevos materiales estabilizantes en los suelos.

Por lo tanto, el presente estudio está encaminado a realizar el análisis del uso de micro polímeros con adición de cemento portland al 3%, teniendo en cuenta que es el contenido mínimo para un suelo – cemento según lo propuesto en la

Especificación Técnica Invias 2013, artículo 350, con el fin de conocer el desempeño del producto químico en el material estabilizado, evaluándolo con los ensayos de laboratorio de CBR método I y compresión confinada en diferentes condiciones de mezclado.

Para realizar el presente estudio se analizaron las muestras de suelo tomadas en la zona dispuesta para conformar la vía de acceso para la construcción de una locación de exploración de yacimientos de crudo denominada como JSW-5, en inmediaciones del municipio de Puerto Gaitán en el departamento del Meta. Por consiguiente, se determinará si es técnicamente viable el uso de micro polímeros con adición de cemento hidráulico, para estabilizar suelos que serán utilizados para la conformación de la capa de rasante para una vía de acceso.

Dentro de la metodología establecida para el presente estudio se realizó lectura de documentos con el fin de conocer el estado del arte acerca de los procesos de estabilización de suelos con cemento hidráulico y aplicación de micro polímeros. De igual manera, se evaluó el proceso de estabilización a partir de la caracterización del suelo de acuerdo con la normatividad vigente, conociendo el comportamiento mecánico - del suelo - en estado natural y con adición del producto estabilizador sometido a diferentes condiciones. Finalmente, a través de los resultados de laboratorio se determinó la factibilidad del uso de micro polímeros en el mejoramiento de un suelo tratado con la cantidad mínima de cemento hidráulico que especifica la normatividad vigente.

1. LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO

El proyecto bajo el cual se desarrolla el presente estudio se encuentra en la vía de acceso a la locación petrolera JSW-5 que está ubicada a 35 km de la cabecera municipal del municipio de Puerto Gaitán en el departamento del Meta.

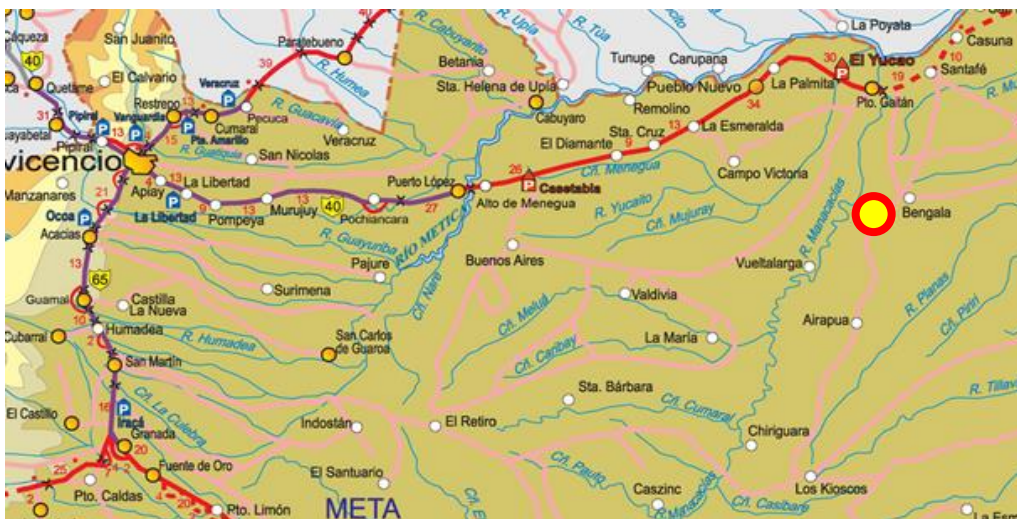


Fig. 1. Localización general del proyecto.
Fuente: Google Maps, año 2017 [1]

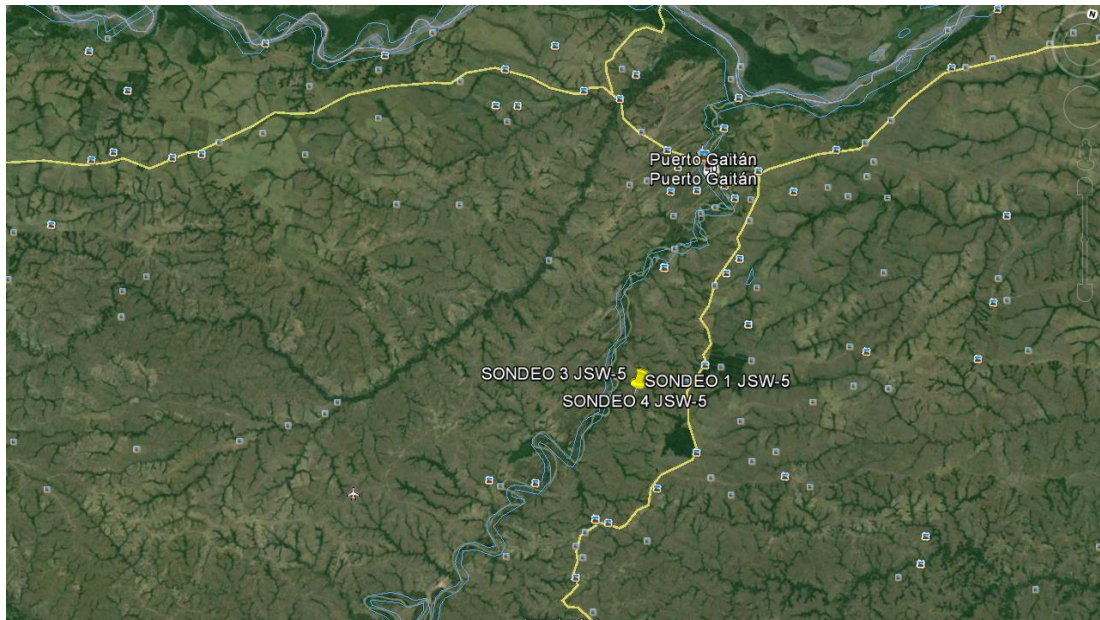


Fig. 2. Detalle de la ubicación del proyecto
Fuente: Google Earth, año 2017. [2]

La zona en estudio se encuentra situada en la parte norte del departamento del Meta, en un área correspondiente a la llanura oriental. Su altura es de 190 m.s.n.m aproximadamente y su temperatura se encuentra en promedio de los 28°C en los meses más cálidos y 24°C en los meses fríos, así mismo, se encuentra cerca a los yacimientos de crudo, correspondiente al bloque de explotación de yacimientos Caracara.

2. CONSIDERACIONES GEOLÓGICAS GENERALES

2.1 GEOLOGÍA GENERAL

El área de estudio se encuentra ubicada en parte del sector oriental de Colombia incluyéndose en el área occidental del río Manacacías y Meta en cercanías a la Cordillera Oriental, tiene presencia de rocas, sedimentos y material consolidado, producto de la erosión causada por el clima y relieve, los cuales son depositados y transportados por los diferentes ríos. Los suelos están conformados en su mayoría por arenas, limos y arcillas en superficies de relieve plano con alturas máximas de 250 m.s.n.m en la mayor parte de su área. [3]

Se conocen depósitos pobremente consolidados, correspondientes a abanicos y terrazas aluviales en varios niveles y aluviones recientes. Los cauces actuales en su mayoría tienen depósitos producto de la erosión de rocas, que por acción de la gravedad pasan de la zona montañosa a la parte plana, tanto en las llanuras aluviales o zonas de inundación y en las desembocaduras de los ríos. Los depósitos aluviales se conforman debido a los cauces de los ríos mayores tales como: Guatiquía, Guayuriba, Acacías, Manacacías, Meta y Guamal.

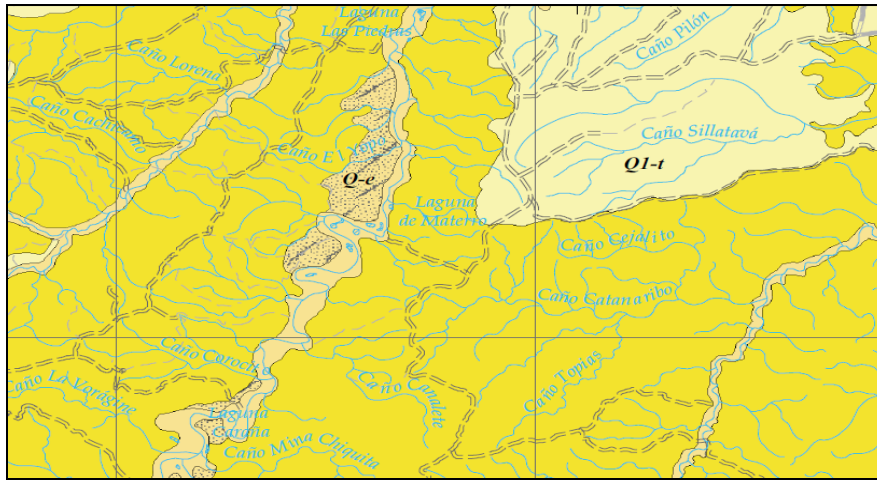


Fig. 1. Composición geológica general de la zona en estudio.
Fuente: Atlas Geológico de Colombia Escala 1:1.000.000. Año 2017 [4]

Debido al efecto de la gravedad y a las condiciones de topografía, se presenta con frecuencia la caída y arrastre de bloques de materiales hacia el piedemonte, los cuales conforman depósitos de ladera y están conformados por bloques angulares de gran tamaño y material fino, sin ninguna cohesión o cementación, lo que aumenta la amenaza de deslizamiento.

Predomina, en la ubicación de la zona de estudio, la formación Diablo que se caracteriza por una base de areniscas cuarzosas de color gris, con tamaños de grano fino a grueso e intercalaciones de arcillolitas gris claras. La parte media se caracteriza por arcillolitas y limolitas, intercalada por cuatro estratos de areniscas cuarzosas. La parte superior o corona de la formación está conformada por areniscas y arcillolitas rojizas.

2.2 SISMICIDAD

De acuerdo con el estudio general de amenaza sísmica, la zona del presente estudio se encuentra ubicada en riesgo bajo, con un coeficiente de aceleración pico horizontal A_a de 0.05, de acuerdo con la clasificación dada en la Norma Sismo existente de 2010 - NSR-10, Apéndice A-4 – Definición de la Zona de Amenaza Sísmica de los Municipios Colombianos.

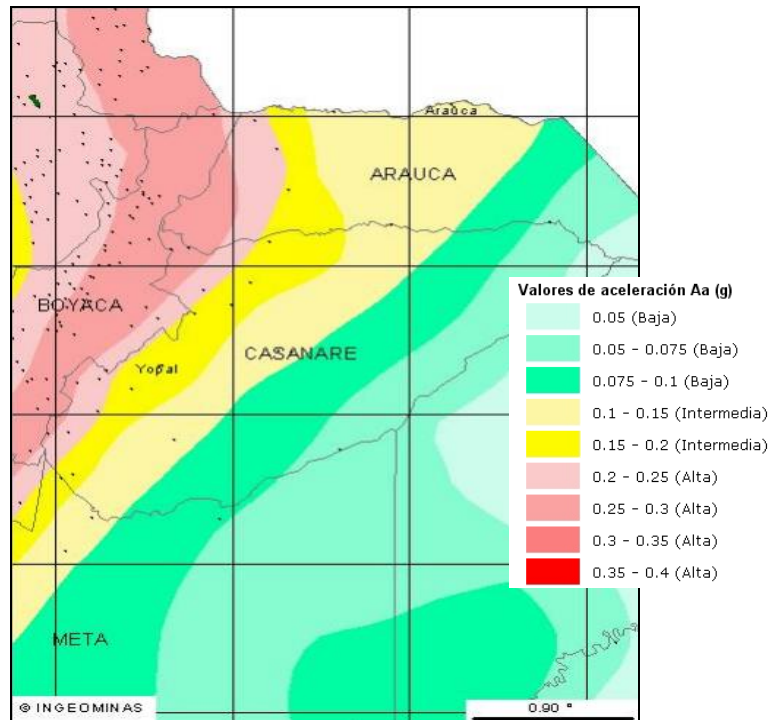


Fig. 2. Mapa de amenaza sísmica del departamento del Meta.
Fuente: NSR-10 – Apéndice A-4. [5]

3. ESTABILIZACIÓN DE SUELOS

La estabilización de suelo en la ingeniería de vías se caracteriza por influir en el mejoramiento de subrasantes, adicionando ligantes para mejorar sus propiedades mecánicas especialmente capacidad portante, resistencia a los agentes climáticos, estabilidad volumétrica, entre otros. En el caso particular para el empleo de suelo – cemento se requiere la aplicación de agua para iniciar el proceso de hidratación de cada una de sus partículas y el fraguado del aglutinante entre las partículas de suelo y así constituir un material sólido resistente. [6]

El uso más frecuente de cemento hidráulico se patentó en 1824 en Inglaterra como material de construcción de obras civiles. Hacia 1921 en este mismo país se utilizó mezclándolo con suelos de alto contenido de arcilla para la construcción de carreteras. Así mismo, en los Estados Unidos se realizó la primera estabilización de suelo – cemento con técnicas modernas, gracias a la implementación de metodologías científicas para el estudio de este tipo de actividad.

Por otra parte, como producto para la estabilización de suelos el primer uso se dio ante la escasez de material para la conformación de caminos en la Segunda Guerra Mundial (1939 -1945) y en la construcción de pistas de despegue para aviones, donde se logró evidenciar su excelente comportamiento de soporte frente a grandes cargas, de esta manera se comenzó a utilizar en la construcción de pavimentos por parte de Estados Unidos y algunos países europeos.

En Colombia se utiliza para la conformación de caminos carreteables en zonas donde existe deficiencia de materiales o zonas donde no es factible desarrollar una estructura de pavimento, pero se hace necesario generar acceso a lugares que no son muy transitados.

De acuerdo con lo anterior, existen diferentes definiciones para el suelo - cemento dentro las cuales se encuentran las expuestas por diferentes entidades encargadas del estudio del cemento. Sin embargo, la más aceptada es la de la Portland Cement Association, que dice: *“El suelo-cemento es una mezcla íntima de suelo, convenientemente pulverizado, con determinadas porciones de agua y cemento que se compacta y cura para obtener mayor densidad. Cuando el cemento se hidrata la mezcla se transforma en un material duro, durable y rígido. Se le usa principalmente como base en los pavimentos de carreteras, calles y aeropuertos. Algunos estudiosos dicen que el verdadero nombre de la técnica debe ser “suelo tratado con cemento” ya que el proceso no implica una gran rigidez en el resultado final del tratamiento (...)* [7]

3.1 PROCESO DE PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS

El proceso de estabilización se inició ejecutando la caracterización visual del suelo del lugar donde se obtuvo la muestra para luego transportarla hasta el laboratorio donde se realizaron las pruebas de análisis granulométrico de suelos por tamizado, límite plástico e índice de plasticidad, determinación del límite líquido de los suelos y del contenido de agua. Estos procesos permiten caracterizar la muestra y conocer las propiedades del suelo y de esta manera compararlas en estado natural contra los resultados obtenidos luego de la aplicación del agente estabilizante.

Así mismo se realizaron pruebas de masa unitaria seca en los suelos y relación de soporte del suelo en el laboratorio (CBR de laboratorio) [8], dirigidas a conocer el comportamiento geomecánico de cada una de las muestras que fueron tratadas con la inclusión del aditivo químico y expuestas a diferentes condiciones físicas, esto permite conocer el comportamiento del suelo expuesto a diversas situaciones. Se efectuaron en total cinco ensayos de CBR Método I sobre las siguientes mezclas y condiciones de curado:

1. Muestra de suelo sin adiciones, cuatro días en inmersión en agua.
2. Muestra de suelo + 3% de cemento, cuatro días en inmersión en agua.
3. Muestra de suelo + 3% de cemento + 0.65 l/m³ de micro polímeros de aumento de resistencia + 0.10 l/m² de micro polímeros de sello, cuatro días en inmersión en agua.
4. Muestra de suelo + 3% de cemento + 0.65 l/m³ de micro polímeros de aumento de resistencia + 0.10 l/m² de micro polímeros de sello, cuatro días en condiciones de temperatura y humedad ambiente.

5. Muestra de suelo + 3% de cemento + 0.65 l/m³ de micro polímeros de aumento de resistencia + 0.10 l/m² de micro polímeros de sello, tres días en condiciones de temperatura y humedad ambiente y cuatro días de inmersión en agua.



Fig. 4. Fases del proceso de preparación de las muestras CBR.
Fuente: Registro fotográfico propio, año 2016. [9]

Cabe anotar que las mezclas que involucraron la adición del estabilizante se realizaron de acuerdo con el protocolo de ensayos establecido. Es decir, la dosificación de micro polímeros para aumento de capacidad portante fue adicionada al agua de humedecimiento y mezclado; los de sello se aplicaron con un pincel, una vez fabricadas las probetas de suelo. Este último se puso en las caras superior e inferior las cuales corresponden a las que se encuentran expuestas en condiciones normales de construcción.

Las muestras fueron preparadas para cada mezcla y para diferentes densidades utilizando 55, 26 y 12 golpes de manera individual. De acuerdo con el procedimiento enmarcado en la norma de ensayo de CBR método I de suelos compactados en el laboratorio.

Para la ejecución de los ensayos de compresión [10], se utilizó el mismo protocolo de mezclado y aplicación del producto estabilizante, se fabricaron probetas para efectuar compresión inconfiada sobre las siguientes dos mezclas y tres condiciones de curado:

1. Muestra de suelo + 3% de cemento, siete días en cuarto húmedo + cuatro horas en inmersión en agua.
2. Muestra de suelo + 3% de cemento + 0.65 l/m³ de micro polímeros de aumento de resistencia + 0.10 l/m² de micro polímeros de sello, siete días a temperatura y humedad ambiente.

3. Muestra de suelo + 3% de cemento + 0.65 l/m³ de micro polímeros de aumento de resistencia + 0.10 l/m² de micro polímeros de sello, 6 días a temperatura y humedad ambiente y 1 día de inmersión en agua.



Fig. 5. Fases del proceso de preparación de las muestras compresión simple.
Fuente: Registro fotográfico propio, año 2016. [11]

Las muestras fueron preparadas teniendo en cuenta lo enmarcado en las normas de ensayo Invías para masa unitaria de mezclas de suelo - cemento y resistencia a la compresión de cilindros de suelo - cemento, con el fin de evaluar la capacidad de resistencia del suelo en las condiciones de diversos tipos.

4. RESULTADOS DE LOS ENSAYOS

De acuerdo con los ensayos ejecutados sobre la muestra, se determinó que corresponde a un tipo de material granular de características no plásticas, esto en relación con los ensayos de límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad. Es clasificado como una grava limosa bien gradada GW-GM de acuerdo con el sistema de clasificación S.U.C.S y A-1-a correspondiente al sistema de clasificación AASHTO.

Así mismo, se muestran los resultados obtenidos que corresponden a las muestras ensayadas, estas permiten determinar si la inclusión de los micro polímeros dentro de la muestra de material granular, que va a ser utilizada para la conformación de capa de rasante y que fueron evaluadas en diferentes condiciones de curado, funcionan para el trabajo planeado.

A continuación, se muestran los resultados de la capacidad de soporte producto por el ensayo CBR de laboratorio método I obtenidos con el fin de comprobar el uso de los micro polímeros en las muestras de material granular y evidenciar el mejoramiento de sus propiedades físico - mecánicas, ensayos enmarcados en la norma INV-E-148-13, y los de resistencia a la compresión según norma Invías 806-07 y 809-07.

Tabla 1. Resultados ensayos de CBR.

MUESTRA	CONDICIÓN DE ENSAYO	PORCENTAJE CBR		
		55 GOLPES	26 GOLPES	12 GOLPES
Muestra de material granular sin adiciones.	cuatro días de inmersión	76	62	42
Muestra de material granular + 3% de cemento	cuatro días de inmersión	322	193	118
Muestra de material granular + 3% de cemento + 0.65 l/m ³ de micro polímeros de aumento de resistencia + 0.10 l/m ² de micro polímeros de sello.	cuatro días de inmersión	246	148	85
Muestra de material granular + 3% de cemento + 0.65 l/m ³ de micro polímeros de aumento de resistencia + 0.10 l/m ² de micro polímeros de sello.	cuatro días en temperatura y humedad ambiente	356	208	132
Muestra de material granular + 3% de cemento + 0.65 l/m ³ de micro polímeros de aumento de resistencia + 0.10 l/m ² de micro polímeros de sello.	tres días en temperatura y humedad ambiente más cuatro días en inmersión	159	97	60

Fuente: Elaboración propia, año 2017

Así mismo, se muestran los resultados del ensayo de compresión inconfiada para las condiciones que se establecieron en el punto anterior, de acuerdo con la densidad y humedad óptima obtenida del ensayo de proctor modificado INV-E-142-13 [12] realizado dentro del protocolo establecido para obtener los valores de porcentaje de CBR.

Tabla 2. Resultados ensayos de proctor modificado.

MUESTRA	PROCTOR MODIFICADO	
	DENSIDAD MAX. (Kg/m ³)	HUMEDAD ÓPTIMA (%)
Muestra de material granular sin adiciones	2238	5,5
Muestra de material granular + 3% de cemento	2229	6,2
Muestra de material granular + 3% de cemento + 0.65 l/m ³ de micro polímeros de aumento de resistencia + 0.10 l/m ² de micro polímeros de sello.	2218	6,1

Fuente: Elaboración propia, año 2017

Tabla 3. Resultados ensayo de resistencia a la compresión.

MUESTRA	CONDICIÓN DE ENSAYO	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (Kg/cm ²)
Muestra de material granular + 3% de cemento	siete días en cuarto de curado + cuatro horas en inmersión.	17,4
Muestra de material granular + 3% de cemento + 0.65 l/m ³ de micro polímeros de aumento de resistencia + 0.10 l/m ² de micro polímeros de sello.	7 días a temperatura y humedad ambiente.	20,9
Muestra de material granular + 3% de cemento + 0.65 l/m ³ de micro polímeros de aumento de resistencia + 0.10 l/m ² de micro polímeros de sello.	6 días en temperatura y humedad ambiente más 1 día en inmersión.	8,4

Fuente: Elaboración propia año 2017

Los datos anteriormente mencionados corresponden a los resultados de los ensayos estipulados para evaluar el mejoramiento de las propiedades físico - mecánicas, realizados sobre un material granular que pretende ser mejorado con adición de un agente químico para ser utilizado como capa de rasante.

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Con el fin de evaluar los resultados obtenidos se logró establecer la siguiente relación de porcentaje de CBR de acuerdo con la energía de compactación con la que fueron elaboradas las probetas de ensayo. A continuación, se presenta una gráfica que permite evaluar la influencia de micro polímeros sobre las características de capacidad de soporte que se pretende aumentar con la inclusión de este aditivo químico.

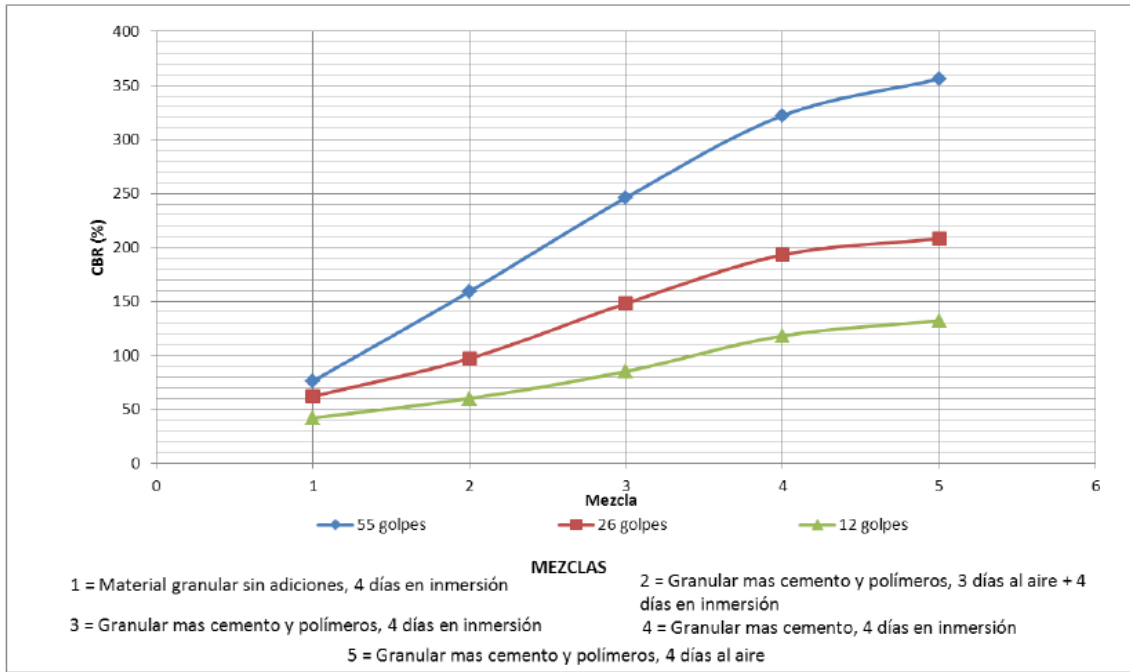


Fig. 6. Relación de resultados de CBR v.s. Energía de compactación.
Fuente: Elaboración propia. 2017.

Adicionalmente, se muestran los resultados de porcentaje de CBR de las muestras en estado natural con relación a los porcentajes de aporte obtenidos a partir de las diferentes adiciones de aditivo químico y condiciones a las que fue expuesto para la evaluación del mejoramiento.

Tabla 3. Resultados de aporte de %CBR en diferentes condiciones de curado.

MUESTRA	CONDICIÓN DE ENSAYO	% CBR a 56 golpes	% de aporte
Material granular	4 días de inmersión	76	100
Material granular + 3% de cemento + 0.65 l/m3 de micro polímeros de aumento de resistencia + 0.10 l/m2 de micro polímeros de sello.	tres días en temperatura y humedad ambiente más cuatro días en inmersión.	159	209
Material granular + 3% de cemento + 0.65 l/m3 de micro polímeros de aumento de resistencia + 0.10 l/m2 de micro polímeros de sello.	4 días de inmersión	246	324
Muestra de suelo + 3% de cemento, sin micro polímeros.	4 días de inmersión	322	424

Material granular + 3% de cemento + 0.65 l/m3 de micro polímeros de aumento de resistencia + 0.10 l/m2 de micro polímeros de sello.	3 días en temperatura y humedad ambiente.	356	468
---	---	-----	-----

Fuente: Elaboración propia, año 2017.

Por lo anterior, se observó que la densidad de compactación tiene influencia directa sobre la resistencia del material.

En los resultados obtenidos se evidencia que la mayor resistencia se consiguió con la mezcla del material granular + cemento + micro polímeros y que estuvo en condiciones de humedad y temperatura ambiente durante cuatro días (CBR = 356%), que corresponde a un aumento del 468% respecto al material granular sin adición y a un 110% respecto al granular con cemento Portland.

Por otra parte, se encontró que esta misma mezcla sometida a condiciones de inmersión en agua, presenta una pérdida de resistencia en el ensayo de CBR del 31% (CBR = 246%), con respecto a la condición de curado al temperatura y humedad ambiente.

Así mismo, la muestra evaluada mediante el curado de tres días a temperatura y humedad ambiente y cuatro días sumergida en agua, obtuvo un aumento de CBR del 159% respecto al material granular sin adiciones y una pérdida aproximada del 55% respecto a la misma mezcla curada a temperatura y humedad ambiente. Por lo tanto, es posible evidenciar el aumento de capacidad de soporte en las muestras que han sido tratadas con la adición de micro polímeros, aunque es importante resaltar la pérdida de resistencia a la compresión y capacidad de soporte del material mejorado cuando este se ve afectado por la presencia de agua, lo que podría impactar directamente en sus propiedades disminuyendo significativamente en relación a los resultados obtenidos sobre la muestra expuesta a temperatura y humedad ambiente.

Adicionalmente, se observa que cuando las briquetas se someten a procesos de inmersión en agua permiten que el cemento se hidrate y aporte desarrollo en la resistencia de la mezcla con micro polímeros, pero este aumento de resistencia puede estar ligado netamente a la inclusión del cemento hidráulico y no a micro polímeros.

Con relación a los datos de resistencia a la compresión se observa que los resultados obtenidos sobre las probetas con cemento y micro polímeros en condición de curado a temperatura y humedad ambiente es superior un 20% respecto a la mezcla del material granular con cemento. Sin embargo, la resistencia de este tipo de muestras más micro polímeros, se ve afectada considerablemente al ser sumergidas las probetas en agua, obteniendo una pérdida de resistencia del 60% aproximadamente.

6. CONCLUSIONES

A partir de los ensayos efectuados, se observa que la saturación de las mezclas de material granular con cemento y micro polímeros, afecta de manera directa el comportamiento de la resistencia en los ensayos de CBR Método I y resistencia a la compresión.

Se logró determinar que, sobre las muestras de ensayo, el cemento portland garantiza un aporte significativo en capacidad de soporte y resistencia a la compresión sobre el suelo y no evidencia disminución cuando esta está sometida a condiciones de inmersión en comparación con las muestras que tienen adición del producto químico.

Debido al tipo de material que fue tomado del sitio, es importante resaltar que el material granular utilizado para la elaboración de las mezclas de ensayo, fue preparado eliminando las partículas con tamaño mayor a 12,5 mm, es decir predominan gravas finas y arena, con índices de plasticidad bajos; en caso de utilizar la adición de micro polímeros con cemento en materiales con otras características, se deben realizar estudios específicos para los mismos y deben ser mezclados en campo sobre muestras de similares características.

Así mismo, se evidencia un aporte poco significativo de los micro polímeros en relación con las muestras mejoradas solamente con cemento portland, lo que permite evidenciar que la muestra no mejoró únicamente con la inclusión del aditivo químico. Por lo tanto, se hace necesario realizar un análisis de costos para su implementación, en relación con el beneficio que aporta sobre el material en cuanto a que se podría utilizar únicamente la adición de cemento portland.

Por último, de acuerdo con los resultados obtenidos, este aditivo químico puede llegar a no ser funcional sobre suelos cohesivos en los cuales se tiene alta plasticidad y alto contenido de humedad, puesto que se evidencia pérdida en propiedades de resistencia sobre las muestras que fueron adicionadas y sometidas a inmersión en agua.

REFERENCIAS

[1] Imágenes de mapas, <https://www.google.es/maps>

[2] Imágenes de georeferenciación, <https://earth.google.com/web/>.

[3] Morales Carlos Julio – Geólogo, “*Integración de la Cartografía Geológica de los Llanos Orientales: Departamento del Meta y Sector Suroccidental del Departamento del Casanare*”, Ministerio de Minas y Energía, Instituto Colombiano de Geología y Minería, Bogotá D.C., Septiembre de 2010. Pags. 12 y 13.

[4] Atlas Geológico de Colombia 2015, Servicio geológico colombiano - Ingeominas, Ministerio de Minas y Energía., disponible en http://srvags.sgc.gov.co/JSViewer/Atlas_Geologico_colombiano_2015/

[5] Norma Sismo resistente de 2010 (NSR-10), Apéndice A-4 – Definición de la Zona de Amenaza Sísmica de los Municipios Colombianos. Pag. A-154 – A-157.

[6] Msc. De la Fuente Lavalle Eduardo, “*Suelo – Cemento: Usos, propiedades y aplicaciones*”, Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto A.C., México, Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, año 1982. Pag. 25 – 45.

[7] Ing. Figueroa Sofía, profesora y coordinadora de investigación Universidad de la Salle & Grupo CECATA Ing. Reyes Fredy Director Especialización en Geotecnia Vial y Pavimentos Universidad Javeriana, “*Estabilización Con Cal Y Cemento*”. Disponible en: <http://artemisa.unicauca.edu.co/~sicolpav/PonenciasPDF/EstabilizacionFredy.PDF>

[8-10-12] Instituto Nacional de Vías – INVIAS, “*Especificaciones generales de construcción de carreteras y normas de ensayo para materiales de carreteras 2013*”.

[9 - 11] Registro fotográfico pruebas de laboratorio. Fuente: propia.