

**EFFECTO DE DIFERENTES DOSIS DE NITRATO DE AMONIO EN EL LÍMITE PLÁSTICO, LÍMITE LÍQUIDO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE UN SUELO ARCILLOSO DE LA CIUDADELA UNIVERSITARIA PUERTA ROJA (SINCELEJO -SUCRE- COLOMBIA)**

*Heraldo Alviz<sup>1</sup>\*, Alexander Benavides<sup>2</sup>, Warlen Quintero<sup>2</sup>*

1. Ingeniero Agrícola, M. Sc Suelos, Universidad de Sucre. Sincelejo, Colombia

2. Ingeniero Agrícola, Universidad de Sucre. Sincelejo, Colombia

\* Contacto: heraldo.alviz@unisucra.edu.co

## RESUMEN

La presente investigación se realizó en la ciudadela Puerta Roja de la Universidad de Sucre, municipalidad de Sincelejo, departamento de Sucre (Colombia). Tuvo como objetivo general evaluar los efectos de diferentes dosis de Nitrato de Amonio, en el límite líquido, límite plástico e índices de plasticidad, consistencia y fluidez de un suelo arcilloso montmorillonítico. La metodología comprendió la descripción del perfil y un muestreo disturbado ordenado por un diseño experimental de laboratorio completamente aleatorizado, con variables continuas los límites e índices y los factores las diferentes dosis de Nitrato Amónico aplicadas y el tiempo de reacción de aquel con el suelo; planificándose 4 niveles del primer factor y tres del segundo; tres repeticiones. Los resultados arrojaron que el límite líquido y el índice de consistencia disminuyeron y el límite plástico promedio aumentó con el incremento de las dosis de Nitrato y el tiempo de contacto, mientras que los índices de plasticidad y fluidez se comportaron de manera contraria. La actividad de la arcilla disminuyó en la medida que las dosis de nitrato y el tiempo de contacto se incrementaron. El análisis estadístico reflejó, entre otras, que hay diferencias significativas, para un nivel de confianza del 95%, entre los límites líquidos y plásticos promedios teniendo en cuenta un tiempo de contacto y otro, y la prueba de contraste de rango múltiple indicó diferencias entre 0 y 60 días, y entre 30 y 60 días de contacto.

**Palabras claves:** *Límite, Plasticidad, Fluidez, Arcilla*

## ABSTRACT

This research was conducted in the University of Sucre's Red Gate citadel, municipality of Sincelejo, Sucre department (Colombia). The overall objective was to evaluate the effects of different doses of ammonium nitrate in the liquid limit, plastic limit, plasticity index, consistency and fluency of a montmorillonitic clay soil. The methodology included the profile description and disturbed sampling design. It was ordered by a completely randomized experimental laboratory with continuous variables, indices limits and factors which different doses of ammonium nitrate applied and their reaction time with the ground; was used 4 levels for the first factor, and 3 level for second factor, three repetitions for each. The results showed that the liquid limit and the consistence index decreased and the average plastic limit increased with the increasing doses of nitrate, and its contact time, whereas plasticity indices and fluidity had a contrary behavior. Clay activity decreased when the dose of nitrate and contact time was increased. Statistical analysis showed that there are significant differences, for a confidence level of 95%, between the liquid

and plastic limits averages given contact time, and another. The multiple range contrast test indicated differences between 0 and 60 days, and 30 and 60 days of contact.

**Keywords:** *Limit, Plasticity, Fluidity, Clay*

## **1 INTRODUCCIÓN**

Los suelos expansivos existen en muchas regiones de Colombia y del mundo y sus efectos sobre las edificaciones son notorios. Para su uso y manejo el ingeniero debe aceptar el material tal y como está, y efectuar el diseño de acuerdo con las restricciones impuestas por la calidad del material, o remover y deshacer el suelo del lugar y sustituirlo por un suelo de características adecuadas, o cambiar las propiedades del suelo existente. De tiempo atrás se han tratado de mejorar los diferentes efectos producidos por los suelos sobre las estructuras con diferentes niveles de éxito, sea por vía de prevención o por vía de control, mediante la regulación de la humedad, el reemplazo de una capa de suelo o la estabilización química, esta última parte de la base que la actividad de las arcillas es una característica intrínseca, controlada por su composición mineralógica, por la cantidad, el tipo y la carga de los cationes presentes en el agua intersticial que pueden ser adsorbidos por los minerales arcillosos. El tratamiento químico más corriente recurre a la aplicación de óxido o hidróxido de calcio y se ha ensayado experimentalmente, con éxito, el hidróxido de magnesio, entre otros; en ambos casos, se trata de sustancias poco solubles en agua lo que dificulta su aplicación en el terreno; también ha sido propuesto, con un soporte experimental más limitado el uso de sales de aluminio. Con base en consideraciones teóricas sobre la actividad de las arcillas y su relación con la capacidad de intercambio catiónico, se consideró la opción de aplicar, con alta probabilidad de éxito, los productos amoniacaes como sustancias estabilizantes de los suelos expansivos. La investigación tuvo como objetivo general evaluar en el laboratorio los efectos de diferentes dosis de nitrato de amonio, durante el tiempo, en la consistencia plástica de un suelo fino granular expresada a través de su límites, índice de plasticidad y otros parámetros asociados, con el propósito de transferirle propiedades tendientes a mejorar sus propiedades mecánicas e hidráulicas.

## **2 METODOLOGIA**

### **2.1 Descripción del área de estudio**

El perfil estratigráfico con los materiales estudiados se encuentra en la Universidad de Sucre, ciudadela denominada Puerta Roja. En estudios llevados a cabo, se indicó que arcillas y limos muy arcillosos se encuentran sobrepuestos a materiales geológicos sedimentarios arcillolíticos; se halló una secuencia de capas con granulometría arcillosa; friables a muy friables, plásticas y cohesivas, y duras.[1]

### **2.2 Metodología**

Se elaboró un diseño experimental en el laboratorio, completamente aleatorizado, con tres repeticiones, con parcelas principales las testigos y aquellas correspondientes a las dosis de nitrato de amonio de 3%, 4%, 5% y 6%; las subparcelas fueron los tiempos de contacto que duraron los materiales con el estabilizador: 0 días, 30 días y 60 días. Se determinaron las

cantidades de nitrato de amonio según la capacidad de intercambio catiónico de los materiales. Se hicieron los cálculos correspondientes a las determinaciones de los ensayos, interpretación del difractograma y análisis mineralógico de arcilla, y los análisis estadísticos. En el trabajo de campo se hizo un reconocimiento del área en estudio. El sitio para realizar la exploración a cielo abierto se referenció de acuerdo a lo investigado por Zarza [1]; se procedió a realizar un apique de dimensiones 1 m. x 1 m. x 1 m. en el sitio representativo; la estratigrafía del perfil se describió detalladamente; finalmente se hizo un programa de muestreo de suelo, de aproximadamente 50 kg de material. En el laboratorio se tomaron 18 Kg. de arcilla repartidos según el diseño experimental en porciones de 500 gr. para estabilizarlas con nitrato de amonio,  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ; los ensayos realizados en el laboratorio fueron el contenido de humedad gravimétrico, límites de plasticidad, análisis granulométrico y gravedad específica[2], mineralogía de arcilla por Rayos X, los índices de plasticidad, fluidez, y consistencia, y la actividad de la arcilla fueron calculados indirectamente en función de los límites y la humedad natural [4].

### 3 RESULTADOS Y ANALISIS

#### 3.1 Descripción de los suelos

Los materiales ensayados en el laboratorio se extrajeron a una profundidad que osciló entre 1 m. y 1.10 m. El contenido promedio de humedad gravimétrica natural encontrado en el material estudiado, al momento de describir el perfil y de hacer el muestreo planeado, fue de 27,11%, valor típico de suelos finos con alto contenido de arcilla 2:1; está asociado con el tipo de agua presente en el suelo en ese momento que es de naturaleza capilar. Básicamente es importante destacar la presencia de la fracción de suelos porcentual, menor que 0,002 mm., igual al 51,79%.

#### 3.2 Límites de plasticidad, índices y actividad de los materiales en condiciones naturales

En estado natural las muestras están representados por los testigos. Ver tabla 1.

**Tabla 1.** Límite líquido (L.L), límite plástico (L.P), índice de plasticidad (I.P), humedad natural (W), porcentaje más fino que 0.002 mm, índice de consistencia (I.C), índice de fluidez (I.F) y actividad (A) de testigos.

Muestra	L.L (%)	L.P (%)	I.P (%)	W (%)	Pasa 0,002mm (%)	I <sub>C</sub>	I <sub>F</sub>	A
T 1	75,78	35,16	40,62			1,20	-0,20	0,78
T 2	75,39	35,36	40,03			1,21	-0,21	0,77
T 3	77,47	37,43	40,04	27,11	51,79	1,26	-0,26	0,77
<b>Promedio</b>	76,21	35,98	40,23			1,22	-0,22	0,78

El límite líquido presentó valores altos que obedecen a la presencia de arcilla de tipo 2:1 en los materiales investigados; el límite plástico arrojó un valor promedio de 35,98% , esta cantidad promedio del límite plástico es mayor que el valor promedio del contenido de humedad natural lo cual indica que al momento de muestrear el suelo se encontraba con una consistencia en

estado plástico [3]. El índice de plasticidad presentó valores de los cuales se infiere que el suelo es una arcilla altamente plástica y cohesiva, con un alto potencial de expansión – contracción [3] lo cual amerita su estabilización especialmente utilizando medios químicos como el nitrato de amonio ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ). El resultado promedio del índice de consistencia estuvo en el rango que osciló entre 1,20 y 1,26, como el contenido de humedad natural promedio fue menor que el límite líquido promedio, se determinó que el suelo se comportó en estado semisólido al momento de muestrear; considerando los resultados obtenidos se indica que este suelo presenta una resistencia a la compresión axial no muy cercana y mayor que  $5,0 \text{ kg/cm}^2$ [4]. Los valores del índice de fluidez sugieren que el material se encontró en una consistencia semisólida y preconsolidado, porque ha soportado cargas mayores en el pasado que en la actualidad [4]; lo anterior se debe a la presencia de presiones hidrostáticas por la posición geomorfológica de inundación, fenómenos de contracción y expansión, de desecación y a sobrecargas temporales debidas a fuerzas de filtración sostenidas[3]. El resultado promedio de la actividad arcillosa fue de 0,78, considerándose como normal.

### **3.3 Límite líquido, límite plástico, índices de consistencia y actividad de la arcilla del material tratado**

Los resultados resumidos se muestran en la tabla 2 según los tratamientos a que fueron sometidas las muestras de suelo.

#### *3.3.1 Limite líquido*

Los valores promedios se incrementaron con el tiempo de maduración y disminuyeron en la medida en que se agregó mayor porcentaje de nitrato de amonio. En relación con las dosis de nitrato el límite tendió a disminuir en la medida que la dosificación aumentó; se observa que para un porcentaje de 6% de amonio los valores de límite líquido obtenido fueron visiblemente menores lo cual es importante consideración al momento de estabilizar, sea a 0, 30 ó 60 días.

#### *3.3.2 Limite plástico*

Los valores promedios aumentaron proporcionalmente a medida que transcurrió el tiempo de contacto; se estima que a mayor concentración de nitrato mejores serán los resultados que se obtienen. Con relación a los testigos el límite se incrementó en un 82,57%, evento importante en la mejora de las condiciones mecánicas del suelo, porque a pesar de que las características de cohesión y plasticidad disminuyen, el suelo presenta mayores contenidos de humedad en el estado plástico. El límite aumentó según las dosis de nitrato de amonio empleadas en los diferentes tiempos de contacto, esto por la acción que ejerce el ión amonio cuando ingresa y satura el suelo, el cual se expande aceptando también muchas moléculas polares de agua.

#### *3.3.3 Índice de plasticidad*

Los resultados indican que el índice disminuyó menos entre 0 y 30 días que entre 30 y 60 días; también se destaca claramente los efectos de cada dosis de nitrato en la disminución del índice y se hace visible el efecto contundente de la adición del 6% del químico. Bajo esta última

consideración el índice tuvo un decremento importante del 56,10% con relación al testigo, lo cual se refleja en el potencial de expansión que inicialmente era muy alto y paso a ser medio

### 3.3.4 Índice de consistencia

Si se supone que al momento del muestreo y bajo el contenido de humedad determinado el suelo recibiera los tratamientos realizados, entonces el índice de consistencia promedio aumentaría con el tiempo de contacto y los porcentajes de nitrato de amonio aplicados. Como el índice se incrementó hasta el valor promedio de 3,18, mayor que 1,0, entonces se infiere que el suelo aumentó su resistencia a la compresión uniaxial por encima de 5,0 kg/cm<sup>2</sup> [4].

**Tabla2.** Promedios de limite liquido (L.L), limite plástico (L.P), e índices del material bajo diferentes porcentajes de nitrato de amonio y diferentes tiempos de maduración.

Tiempo ( Día )	NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> (%)	L.L (%)	L.P (%)	I.P (%)	Pasa 0,002 mm (%)	W (%)	I <sub>C</sub>	I <sub>F</sub>	A
0	3	80,79	47,7	33,09	51,79	27,11	1,62	-0,62	0,64
30		83,94	51,93	32,01			1,78	-0,78	0,62
60		84,95	57,03	27,92			2,07	-1,07	0,54
0	4	81,04	48,5	32,54	51,79	27,11	1,66	-0,66	0,63
30		83,56	53,18	30,39			1,86	-0,86	0,59
60		87,7	60,9	26,80			2,26	-1,26	0,52
0	5	80,12	49,7	30,43	51,79	27,11	1,74	-0,74	0,59
30		82,38	53,21	29,17			1,89	-0,89	0,56
60		87,99	64,53	23,47			2,59	-1,59	0,45
0	6	76,69	51,11	25,58	51,79	27,11	1,94	-0,94	0,49
30		78,36	54,41	23,94			2,14	-1,14	0,46
60		83,38	65,69	17,68			3,18	-2,18	0,34

### 3.3.5 Índice de fluidez

Los resultados promedios absolutos obtenidos según los diferentes porcentajes de nitrato se incrementaron considerablemente en relación al dato obtenido en condición natural; lo anterior se debe a que el límite de plasticidad se incrementa y el índice de plasticidad disminuye con los tratamientos. Las condiciones de resistencia que presuntamente puede tener el suelo bajo estas condiciones indican que cuando el contenido de humedad es mayor que el limite líquido, índice

de liquidez mayor que 1, el amasado transforma al suelo en una pasta viscosa; en cambio si el contenido es menor que el límite plástico, índice de liquidez menor que 1, el suelo no puede ser amasado. Las arcillas inalteradas uniformes con un índice de fluidez cercano a cero tendrán una resistencia a la compresión simple entre 1 y 5 kg/cm<sup>2</sup>.

### *3.3.6 Actividad de la arcilla*

Se pudo observar que a mayor proporción de nitrato mayor efectividad en la actividad de la arcilla y esta disminuye en la medida que transcurre el tiempo de contacto. Lo importante de este fenómeno es que si disminuye la actividad del material también lo hará su potencial de expansión contracción mejorando sus características de esfuerzos [1], es decir, que el amonio se convierte en un estabilizante químico importante tal como lo anuncia Márquez [3], cuando indica que en general, el orden en que pueden presentarse los cationes según su efecto benéfico decreciente en la resistencia de las arcillas es el siguiente: NH<sub>4</sub><sup>+++</sup>, H<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Fe<sup>+++</sup>, Al<sup>+++</sup>, Mg<sup>+++</sup>, Ba<sup>+++</sup>, Ca<sup>+++</sup>, Na<sup>+</sup>, Li<sup>+</sup>.

## **4 CONCLUSIONES**

El suelo investigado tiene propiedades de consistencia que dependen de la unidad cristalina básica de las arcillas 2:1, el cual con un límite líquido mayor de 50%, límite plástico mayor de 35% y el índice de plasticidad mayor de 40%, indican que es un material de alta plasticidad, cohesión y alto potencial de expansión.

Los límites e índice sufren una fuerte variación al agregar el agente estabilizante. Este comportamiento equivale a una modificación en la consistencia del suelo y en su localización en la carta de plasticidad de Casagrande y en la clasificación del suelo. En conclusión, los resultados de los ensayos de laboratorio muestran que la capacidad de intercambio catiónico puede ser utilizada para predecir el potencial de expansión de los suelos y como criterio de dosificación cuando se busca estabilizar un suelo expansivo mediante un tratamiento químico y que el tratamiento con productos amoniacales es efectivo en el control de dicho potencial.

## **5 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

1. Zarza, R. "Propiedades índices y de compactación de tres materiales arcillosos bajo la acción de diferentes porcentajes de cal y tiempos de reposo". Sincelejo. Universidad de Sucre (Facultad de Ingeniería, Trabajo de grado), 2005. 102 p.
2. Bowles, J. "Manual de laboratorio de suelos de ingeniería civil", Bogotá, Mc Graw-Hill Latinoamericana, 1978. 213 p.
3. Márquez, G. "Propiedades ingenieriles de los suelos", Medellín, Universidad Nacional, 1983. 243 p.
4. Crespo, C. "Problemas resueltos de mecánica de suelos y cimentaciones", México, Limusa, 2000. 161 p.