

## **EFFECTO DE DIFERENTES DOSIS DE CAL 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>\*, Juan Vergara<sup>2</sup>, Diomar Villegas<sup>3</sup>*

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

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

### **RESUMEN**

La presente investigación, llevada a cabo en la Ciudadela Universitaria Puerta Roja (Sincelejo, Sucre-Colombia), tuvo como objetivo general evaluar los efectos de diferentes dosis de una cal hidratada, en el límite líquido y 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 según el diseño experimental de laboratorio aleatorizado donde las variables continuas fueron los límites e índices, y los factores fueron las dosis de cal (3, 6, 9 y 12%) y los tiempos de contacto de 7, 30, 60 y 90 días; con tres repeticiones. El análisis de los resultados mostró un mejoramiento importante de las propiedades de consistencia: el límite líquido disminuyó, el límite plástico aumentó, por lo tanto el índice de plasticidad decreció. Para dosis de cal del 9% y tiempos de reposo mayor a 30 días, las variaciones de las propiedades estudiadas son mínimas. El análisis estadístico reflejó que hay diferencias significativas entre el límite líquido y el límite plástico medios y variaciones entre los % de cal y días de maduración, para un nivel de confianza del 95,0%.

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

### **ABSTRACT**

This research carried out at the Ciudadela Universitaria Puerta Roja (Sincelejo, Sucre, Colombia), which general objective was to evaluate the effects of different doses of hydrated lime in the liquid limit and plastic limit and plasticity index, consistency and fluidity index of a montmorillonitic clay soil. The methodology included the profile description and sampling disturbed by the experimental design randomized which continuous variables were limits and indexes, and factors were lime doses (3, 6, 9 and 12%) and contact times of 7, 30, 60 and 90 days, with three repetitions. The analysis results showed a significant improvement in the consistency: liquid limit decreased, increased plastic limit therefore decreased plasticity index. For liming 9% and rest times greater than 30 days, changes in properties studied are few. The statistical analysis showed that no significant differences between the liquid limit and the plastic limit means and for different % variations lime and days of ripening, for a confidence level of 95.0%.

**Keywords:** *Limit, Plasticity, Fluidity, Profile*

## **1 INTRODUCCIÓN**

La mayoría de las características físicas, mecánicas e hidráulicas desfavorables que los suelos heredan del mineral arcilloso presentan un manejo pesado. Propiedades como la consistencia, que dependen de muchos factores, se deben conocer a plenitud ya que su manejo es función alterna de otros parámetros como la modificación inicial de las propiedades químicas por la aplicación de productos como la cal hidratada, utilizada en el tratamiento de suelos, en varios grados o cantidades. Una mínima cantidad de cal para tratamiento se utiliza para secar y modificar temporalmente, mientras que un mayor grado de tratamiento, respaldado por las pruebas, diseño y las técnicas apropiadas de construcción, producen la estabilización estructural permanente del suelo. Una alternativa de manejo adecuado y económico sería la estabilización con cal como la del tipo A, blanca apagada, que se distribuye comercialmente. La presente investigación tuvo como objetivo general evaluar los efectos en la consistencia plástica de un suelo fino-granular bajo la acción de diferentes porcentajes de cal y tiempos de reposo, expresada a través de su límite líquido, límite plástico, índice de plasticidad y otros parámetros asociados; para contribuir con el mejoramiento de la tecnología asociada al proceso de estabilización con cal de suelos arcillosos.

## **2 METODOLOGÍA**

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

Las arcillas estudiadas se encuentran situadas en predios de la Ciudadela de la Universidad de Sucre en Sincelejo. Los materiales arcillosos seleccionados se extrajeron de un perfil que según Alviz [1] pertenecen a la unidad cartográfica llamada Consociación Puerta Roja. El relieve de la zona es plano en su mayor parte, las pendientes están en el rango de 0-3%.

### **2.2 Metodología**

En la oficina se elaboró un diseño experimental completamente aleatorizado conformado por parcelas divididas y sub-parcelas; con tres repeticiones; las parcelas principales fueron las dosis de cal hidratada ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) correspondiente a un 3%, 6%, 9% y 12%, las subparcelas se conformaron con los tiempos de contacto de 7, 30, 60 y 90 días, el número total de sub-parcelas fue de cuarenta y ocho. Se hicieron cálculos de parámetros determinados en el laboratorio y del índice de plasticidad, índice de consistencia, índice de fluidez y actividad de la arcilla, estimados de forma indirecta; análisis de varianza para cada una de las variables dependientes; se tuvo en cuenta la interacción entre factores (dosis de cal y tiempo de maduración), y se realizaron pruebas de DMS entre repeticiones, dosis de cal y tiempo de maduración. En el campo se hizo un reconocimiento del área de estudio, replanteo y construcción de un apique de medidas 1m x 1m x 1m., descripción del perfil estratigráfico y extracción de las muestras de suelo a estabilizar en el laboratorio, aproximadamente se extrajeron 50 kg de arcilla alterada. En el laboratorio se hizo una aplicación dosificada y mezclado de la cal a las muestras de suelo situadas en recipientes identificados en cada subparcela, según el mandato del diseño experimental elaborado, el porcentaje de dosificación de la cal se estimó con base en el peso seco del suelo; y ejecución a

cada una de las diferentes subunidades experimentales de ensayos de límite líquido, límite plástico y contenido de humedad natural [2].

### 3 RESULTADOS Y ANALISIS

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

##### 3.1.1 Límite líquido.

Para suelos arcillosos el rango de ocurrencia de éste parámetro está entre valores de 40% y 60% [3], en este caso los resultados estuvieron un poco por encima debido más que todo a la presencia de arcilla de tipo 2:1 expansiva que se registra en los materiales [1]. También se puede indicar que propiedades de consolidación del suelo son deducibles del límite líquido, de esta forma el índice de compresión promedio está en el orden de 0.38, lo cual indica que el suelo está en los inicios del rango correspondiente a una alta compresibilidad (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 muestras naturales (T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub> y T<sub>3</sub>).

Muestra	L.L (%)	L.P (%)	I.P (%)	W (%)	% $\leq$ 0,002 mm	I <sub>C</sub>	I <sub>F</sub>	A
T <sub>1</sub>	60,32	36,43	24,24	48,90	23,89	1,51	-0,51	0,60
T <sub>2</sub>	68,67	37,62			31,05	1,43	-0,43	0,80
T <sub>3</sub>	64,37	37,62			26,75	1,50	-0,50	0,70
<b>Promedio</b>	64,46	37,22			27,23	1,48	-0,48	0,70

##### 3.1.2 Límite plástico.

Los resultados obtenidos son altos debido a la gran capacidad de retención de humedad y a las características estructurales del mineral dominante. En la práctica se encuentra que los valores de aquel parámetro pueden reproducirse sobre el mismo suelo por parte de diferentes laboratoristas dentro de un rango del 1% al 3% [2].

##### 3.1.3 Índice de plasticidad.

En el proceso de determinación de éste indicativo, los valores obtenidos tienen un promedio de 27,23%; que está dentro del rango de valores entre 20% y 40% para suelos arcillosos con presencia de arcilla 2:1[3]. El potencial de expansión presente se considera alto, con un valor entre 5% y 25%, lo cual justifica la estabilización de los materiales con cal, entre otros productos químicos.

##### 3.1.4 Índice de consistencia.

Para éste caso se consiguieron guarismos fraccionales con un valor promedio de 1,48. El índice manifestó la resistencia a la compresión uniaxial que tenía el suelo al momento de muestrear; el

suelo se encontró bajo estado semisólido [3] donde apenas los terrones de suelo se pegaban unos con otros, se indica que este suelo presenta una resistencia a la compresión axial no confinada cercana o mayor que  $5,0 \text{ kg/cm}^2$ , debido a la tendencia de la variable a ser mayor que uno [4].

### *3.1.5 Índice de fluidez.*

Para un contenido de humedad natural al momento de muestrear de 24,24% el material presentó un índice de fluidez promedio fraccional de -0,48. Esto indica prácticamente que aquel se extrajo con una consistencia en estado semisólido ya que el índice de fluidez es menor que cero, lo cual está de acuerdo con lo manifestado con el índice anterior [3].

### *3.1.6. Actividad de la arcilla.*

Se obtuvieron para esta investigación valores entre 0.56 y 0.65 con un valor promedio de 0,57. Según los resultados, se indica que para un rango de actividad entre 0.5 y 1.0, esta es normal, con indicativo de la presencia de arcillas de tipo 2:1 mezcladas con limos y trazas de caolinitas [4].

## **3.2 Límite líquido, límite plástico, índice de plasticidad, índice de consistencia, índice de fluidez y actividad del material tratado**

### *3.2.1 Limite líquido.*

En primer lugar, (ver tabla 1) se observó un decremento progresivo y significativo del límite con el incremento de las dosis de cal, explicable por el sellamiento que realiza el catión calcio de los espacios interlaminares arcillosos, obstaculizando el ingreso del agua. La frontera superior del estado plástico tuvo un decrecimiento apreciable, referenciado con el valor promedio del límite en los testigos. Según Loaiza [5], la presencia del mineral montmorillonita en los suelos con su alta superficie específica hace reemplazo del catión calcio por los otros presentes naturalmente; atendidos a la acción de la cal y los tiempos que duro en contacto con el coloide mineral se observó que límite líquido también tuvo variaciones importante.

### *3.2.2 Límite plástico.*

El límite promedio aumentó según la dosis de cal empleada. A nivel de la micromorfología de los filosilicatos el elemento calcio se encaja en la estructura interna, esto explica que la mayoría del porcentaje por peso de la cal reaccionó con el coloide mineral de una manera general entre un pequeño y mediano plazo y un bajo porcentaje por peso de la misma (10%) reaccionó a largo plazo, es decir, noventa días. También se destacó que el comportamiento del suelo en contacto con la cal fue casi igual para un tiempo de contacto de noventa días, esto para dosis de 3%, 6% y 9% evitando con esto el ingreso de agua y la formación de láminas de agua por lo que se necesitan mayores cantidades de agua para llevar a la arcilla al límite plástico [5]. Este tendió a variar poco cuando la dosis de cal coincidió con el 9%. Estos valores también se aumentaron proporcionalmente al tiempo transcurrido desde su tratamiento. Se puede estimar que a partir de los 35 días aproximadamente después de aplicada la cal, da igual aplicar más cal. Definitivamente la aplicación del 3% de cal bajo cualquier contacto temporal no es efectiva.

### 3.3.3 Índice de plasticidad.

Como la tendencia del límite líquido y del límite plástico promedios, fue a decrecer y aumentar respectivamente, bajo todas las circunstancias planteadas, el índice disminuyó, lo que implica una reducción de las características plásticas y cohesivas del material con un bajo potencial expansivo-contractivo.

### 3.3.4 Índice de consistencia.

Bajo las condiciones de humedad natural constante encontradas al momento de describir el perfil, los materiales pudieron potencialmente cambiar su consistencia con los tratamientos. Así el índice de consistencia aumentó con referencia a la condición natural, en porcentajes que dependieron del tiempo de contacto y de las cantidades de cal aplicadas, manifestando con esto unas mejores condiciones de consistencia necesarias para el soporte de edificaciones y manejo del suelo como material de construcción.

**Tabla 2.** 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 la arcilla tratada.

% Cal	Días	L.L. (%)	L.P. (%)	W (%)	% pasa (0,002mm.)	I.P (%)	I <sub>c</sub>	I <sub>F</sub>	A
3	7	62,40	35,01	24,24	48,90	27,39	1,39	-0,39	0,56
	30	57,76	38,05			19,71	1,70	-0,70	0,40
	60	53,92	43,18			10,75	2,76	-1,76	0,22
	90	51,96	43,40			8,56	3,23	-2,24	0,18
6	7	60,32	35,68	24,24	48,90	24,64	1,46	-0,46	0,50
	30	56,72	41,92			14,79	2,20	-1,20	0,30
	60	53,32	43,72			9,60	3,03	-2,03	0,19
	90	51,24	44,70			6,54	4,13	-3,13	0,13
9	7	57,94	36,41	24,24	48,90	21,53	1,57	-0,57	0,44
	30	55,89	45,83			10,06	3,14	-2,15	0,21
	60	52,38	46,48			5,90	4,76	-3,77	0,12
	90	50,84	46,85			3,99	6,67	-5,67	0,08
12	7	55,97	36,76	24,24	48,90	19,22	1,65	-0,65	0,39
	30	54,66	46,50			8,16	3,72	-2,72	0,17
	60	51,37	47,57			3,80	7,14	-6,14	0,08
	90	49,63	48,10			1,53	16,59	-15,59	0,03

### 3.4.5 Índice de fluidez.

Los valores obtenidos en los tratamientos fueron diferentes y absolutamente menores que las cantidades dadas en estado natural. Con esto todavía el suelo se podría encontrar potencialmente

más en estado semisólido formando terrones que requerirían de golpes intensos con el martillo para romperlos. De todas formas esto sería conveniente para el ingeniero cuando de estabilizar los suelos con cal se trata.

### *3.3.6 Actividad de la arcilla.*

La actividad del material en el momento de estudiar su condición natural fue normal y pasó a inactiva con los tratamientos. Entre 7 y 30 días la rata de variación del parámetro fue mayor considerando todos los tratamientos con cal, esto se debe al mayor intercambio catiónico del calcio que se hace más presente en la doble capa difusa de los minerales esmectíticos.

## **4 CONCLUSIONES**

En términos generales, la aplicación de las diferentes dosis de cal a los materiales bajo los distintos tiempos de contacto disminuye el límite líquido, para un tiempo de interacción suelo-cal de sesenta días y dosis de cal entre 9% y 12%, se pueden esperar resultados mejores de la estabilización química.

En cuanto al límite plástico de los materiales, se comprobó que existe efecto en la aplicación de la cal, pero esta es más efectiva a partir de los treinta días del mezclado.

Se necesitaron porcentajes de cal entre 6% y 12% con relación al peso seco del suelo, y tiempos de reposo mínimos de 30 días para apreciar la estabilización de los materiales. Bajo estas condiciones se espera que la aplicación técnica de la cal, ocasionara un bajo efecto del potencial de expansión, esto también es explicado por las variaciones decrecientes de la actividad de los minerales arcillosos que bajo tratamiento se pueden considerar como inactivos.

## **5 BIBLIOGRAFIA**

1. Alviz, H., “Génesis, evolución y caracterización química, física, mecánica e hidráulica de la fase sólida arcillosa de tres suelos con propiedades vérticas del Departamento de Sucre-Colombia”, Palmira, Universidad Nacional de Colombia, 2006. 185p.
2. Bowles, J, “Manual de laboratorio de suelos de ingeniería civil”, Bogotá, Mc Graw -Hill Latinoamericana, 1978. 213p.
3. Márquez, G. “Propiedades ingenieriles de los suelos”, Medellín, Universidad Nacional. 1.983. 243p.
4. Crespo, C., “Problemas resueltos de mecánica de suelos y cimentaciones”, México, Limusa. 2000. 161p.
5. Fernández, C., “Mejoramiento y estabilización de suelos, México, Limusa.2000. 350p.