

Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente



INDICE

Trabajo	Autor/es	Pág
Cuerpo Editorial		I
Comisión Directiva		II
Proyecto de estabilización del faldeo sur del cerro Chenque, Comodoro Rivadavia	<i>Francisca, Franco M. - Pinto, Federico - Abril, Ernesto G. - Van De Velde, Germán - Alvarez Muguerza, Matías</i>	1
Evaluación de las concentraciones de fluoruro en el agua subterránea del valle central de Catamarca	<i>Segura, Luis - Saracho, Marta - Lobo, Patricia - Agüero, Nahuel</i>	13
Regiones hidrogeológicas en la provincia de Tucumán	<i>García, Jorge W. - Falcón, Carlos M. - D'Urso, Carlos H. - Rodríguez, Graciela V.</i>	21
Estabilización de subrasante loésica con silicato de sodio líquido	<i>Cruz, María Pía - Martin Schmädke, Ítalo - Arnaudo, Carlos - Vigilante, Nicolás</i>	39
Recurso hídrico y emprendimientos urbanísticos en la costa oriental de la provincia de Buenos Aires	<i>Rodriguez Capítulo, Leandro - Carretero, Silvina - Kruse, Eduardo</i>	45
Instrucciones para autores		61
Formulario de suscripción o compra		65



Estabilización de subrasante loésica con silicato de sodio líquido

Loess subgrade stabilization with liquid sodium silicate

Cruz, María Pía ¹✉ - Martin Schmädke, Ítalo ¹ - Arnaudo, Carlos ¹ - Vigilante, Nicolás ¹

Recibido: 08 de mayo de 2015 • Aceptado: 12 de mayo de 2017

Resumen

Se busca identificar la dosificación óptima para uso vial del silicato de sodio líquido (Na_2SiO_3) con sedimentos loésicos erodables de la provincia de Córdoba (Argentina), para así lograr una eficiente estabilización físico química del suelo. El silicato de sodio puede ser utilizado en estabilización de suelos cuando existen sales de calcio en la matriz del suelo o diluidas en agua, pues esto origina silicatos gelatinosos de calcio insolubles, que al hidratarse producen un magnífico agente cementante. Esta aplicación pretende estabilizar subrasantes de caminos rurales erodables y acarcavados. Los caminos de tierra representan el 87% de la red vial provincial. La estabilización propuesta logra disminuir la erodabilidad superficial, bajar el índice de plasticidad, aumentar notablemente la resistencia al corte no drenado del suelo e incrementar su valor soporte. Esto se traduce en reducción de costos de rehabilitación y mantenimiento de los caminos.

Palabras clave: *estabilización, loess, subrasante, silicato de sodio.*

Abstract

The objective of this study is to identify the optimum dosage for road use of liquid sodium silicate (Na_2SiO_3) with erodible loessic sediments from the province of Córdoba (Argentina), in order to achieve an efficient physical chemical stabilization of the soil. Sodium silicate can be used in soil stabilization when the soil contains salts of calcium in soil's matrix or diluted in water, as this results gelatinous insoluble calcium silicates, that upon hydration produces a great cementing agent. This application responds to stabilize erodible subgrades of rural roads. Dirt roads account for 87% of provincial road network. The proposed stabilization reduces the surface erodibility, lower the plasticity index, significantly increase the non-drained cutting resistance of the soil and increase its support value. This results in reduction of costs of rehabilitation and maintenance of roads.

Keywords: *stabilization, loess, subgrade, sodium silicate.*

1. Facultad de Ingeniería, Universidad Católica de Córdoba, Argentina.

✉ mpcruz@ucc.edu.ar

INTRODUCCIÓN

La iniciativa del grupo de investigación de geotecnia de la Universidad Católica de Córdoba (U.C.C.), consistió en determinar el porcentaje óptimo para uso vial de la dosificación de silicato de sodio líquido (Na_2SiO_3) con loess erodables de la región cordobesa (Argentina). El silicato de sodio aplicado en suelos con presencia de sales de calcio, reacciona originando silicatos de calcio insolubles, que al hidratarse producen una cementación muy resistente. Este estudio busca estabilizar subrasantes erodables y semisaturadas susceptibles de manifestarse en "caminos de tierra o red terciaria". El 87% de la red vial cordobesa corresponde a caminos sin pavimentar potencialmente problemáticos, que equivalen a unos 55.900 kilómetros según la Dirección Provincial de Vialidad (D.P.V). Esta estabilización tiene como objetivo lograr una disminución de la erodabilidad superficial y del índice de plasticidad y, además, garantizar un aumento tanto de la resistencia al corte no drenado como del valor soporte del suelo tratado.

Las subrasantes del centro-este cordobés, corresponden a sedimentos finos del tipo loésicos – A4 ó A6 – según American Association of State Highway and Transportation Officials (A.A.S.H.T.O.). Manifiestan un variado comportamiento tenso-deformacional ante aumentos del contenido de humedad natural, grado de saturación, tensión de corte, tensión normal media y presión de poros según *Zur y Wiseman (1973)*.

El clima de la región va de templado a semiárido. En primavera-verano con las precipitaciones se produce gran acumulación de agua sobre las subrasantes con insuficiente perfilado del bombeo transversal o drenaje lateral. Por lo tanto, se forman baches, acarvamientos o subsidencias a lo largo de la traza. Los caminos quedan intransitables para cualquier vehículo. Luego, épocas de otoño-invierno sin humedad y ventosas, aportan sequedad a los caminos no pavimentados. Se genera así mucho polvo ambiental al rodar los vehículos. El suelo disminuye su peso unitario seco (pasa de $1,4 \text{ tn/m}^3$ a $1,1 \text{ tn/m}^3$) y desaparece su resistencia al corte intergranular (valor aproximado $0,2 \text{ kg/cm}^2$).

METODOLOGÍA Y ANALISIS

Para obtener una estructura estable en el tiempo con los suelos loésicos, existen distintos procedimientos. Uno de ellos consiste en modificar las propiedades del suelo mediante su estabilización mecánica para hacerlo capaz de cumplir un requerimiento técnico-operativo.

En este estudio, se trata de una estabilización química y mecánica de los suelos; siguiendo el procedimiento: 1° Identificar la problemática del suelo en un uso vial. 2° Dosificar el porcentaje óptimo de silicato de sodio líquido con dicho suelo. 3° Garantizar una reducción del impacto en la problemática de suelos loésicos erodables.

Se realizó una revisión bibliográfica exhaustiva en relación a la estabilización de suelos con silicato de sodio. La única investigación local reciente corresponde a *S. Moretto (2006)*, de la U.C.C., que propone la estabilización de loess colapsibles con inyección in situ de silicato de sodio líquido, con aplicación a cimentaciones o recalces de fundaciones. A partir de las conclusiones y limitaciones de las publicaciones estudiadas, se planificó realizar estabilizaciones con mezclas de baja relación agua/silicato o sea mezclas aptas para ser consideradas de uso civil, como es el caso vial.

La caracterización geotécnica-vial de los sedimentos a estabilizar se estructuró en dos etapas de ensayos. La primera sobre muestras de suelo loésico en estado natural, y la segunda sobre probetas de suelo loésico con silicatos de sodio líquido.

Las muestras de suelos estudiados son del campus de la U.C.C. ($31^\circ 29' 17.21'' \text{ S}$, $64^\circ 14' 20.94'' \text{ O}$); cuyas profundidades varía entre 0,5m a 1,0m desde el nivel de terreno natural (378 m.s.n.m.).

En la primera etapa se ejecutaron ensayos de: contenido de humedad, lavado tamiz 200 (0,075mm), ensayos granulométricos, límites de Atterberg, doble hidrómetro, superficie específica, sales totales, ensayo proctor estándar/T99, ensayo California Bearing Ratio con hinchamiento ($\text{CBR}_{2,5\text{mm}}$), determinación química del contenido de carbonato de calcio y pH.

En la segunda etapa, se realizó el estudio de la fase líquida óptima y de dosificación de suelo loésico con silicato de sodio líquido para uso vial. Esto implicó realizar a cada dosificación el ensayo de compresión simple desde probetas remodeladas, elaboradas al peso unitario seco máximo (γ_{ssmax}) con contenido de humedad óptima ($\omega_{\text{óptimo}}$), del proctor estándar o T99. El suelo natural estudiado tiene un ángulo de fricción interna bajo, por lo que para el ensayo de compresión simple se asumió que la resistencia al corte no drenado sería la misma que la resistencia a compresión simple, despreciando la fricción interna del suelo. Luego se seleccionó la mejor dosificación suelo-silicato; siendo, los criterios determinísticos de selección: no ser erodable, disminuir el índice de plasticidad e incrementar la resistencia al corte no drenado respecto al estado natural del suelo.

Finalmente, se determinó el índice de $\text{CBR}_{2,5\text{mm}}$, para las dosificaciones 1S:2A:10L y 1S:5A:22L, con una sobrecarga de 44 newton y medición del hinchamiento a 4 días según norma ASTM D1883, y a 11 días según comentarios de *Hurley (1971)*. La mayor inmersión facilitó la formación de silicatos gelatinosos de calcio insolubles, que provocan la cementación.

La rehabilitación anual usual con motoniveladora implica unos \$68.400+IVA por kilómetro para vías rurales. Las tareas de mantenimiento le agregan un 50% más. La aplicación de silicato de sodio líquido supondría un costo de \$18.300+IVA por kilómetro, evitando la mayoría del mantenimiento.

RESULTADOS

Los principales resultados de los ensayos realizados y las características geotécnicas tanto del suelo natural erodable, como de las distintas dosificaciones del suelo con el silicato de sodio líquido propuestas en este trabajo se presentan en la Tabla 1. En negrita se resaltan los valores para una mayor facilidad en la comparación del suelo natural con respecto a la dosificación óptima escogida.

CONCLUSIONES

- El agente utilizado para estabilizar química-mecánicamente las subrasantes loésicas erodables cordobesas fue el silicato de sodio líquido (Na_2SiO_3).
- Para el presente trabajo se estudiaron diversas dosificaciones: 1S:2A:10L, 1S:4A:18L, 1S:5A:22L, 1S:6A:28L, 1S:8A:38L, siendo S el silicato de sodio líquido, A el agua potable y L el loess.

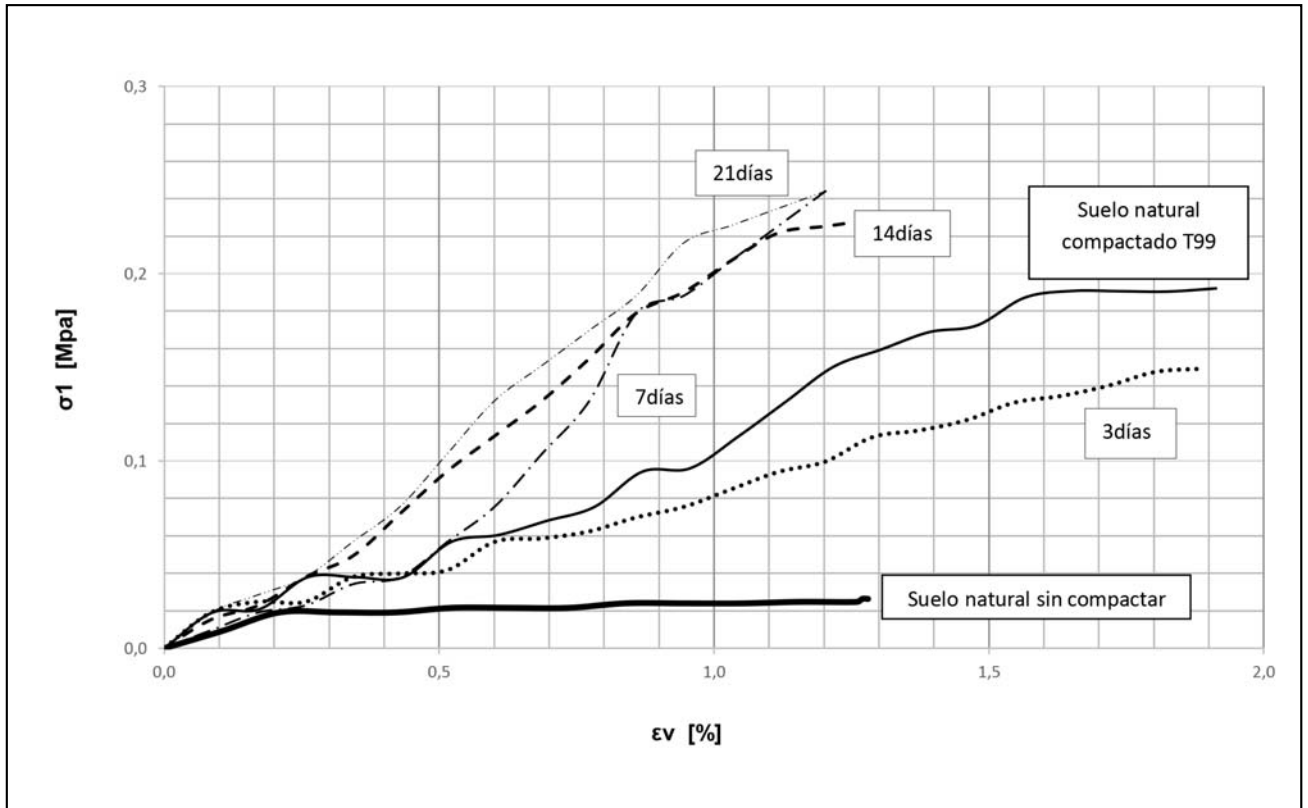


Figura 1. Gráfico de compresión simple en una probeta de suelo natural respecto de la dosificación óptima (1S:2A:10L), a distintos tiempos de curado; siendo S: silicato, A: agua y L: loess.

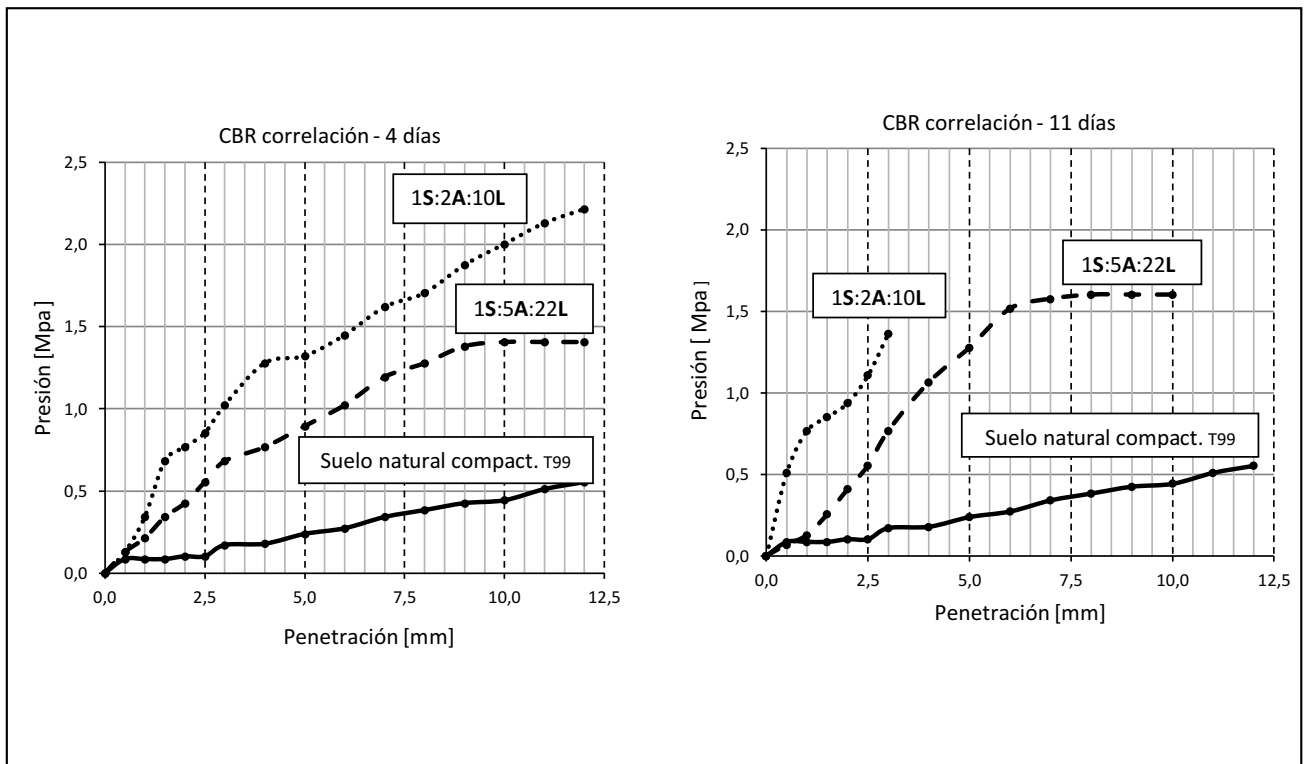


Figura 2. Gráficos de CBR con medición de hinchamiento.

- La relación óptima del silicato de sodio líquido, mezclado con los sedimentos inorgánicos, resultó ser 1S:2A:10L (relación en peso). Esta dosificación aplicada para uso vial, lograría: eliminar la erodabilidad (se obtiene un valor dispersivo en el doble hidrómetro significativamente inferior a 30%), bajar el índice de plasticidad un 8%, y aumentar la resistencia al corte no drenado un 938%. Se mejora el índice CBR_{2,5mm} ante hinchamientos un 1085% para un tiempo de curado de 11 días. La dosificación óptima responde a la máxima cantidad de silicato estudiado para una mínima fase líquida de amasado. Un valor mayor de silicato, no permite una adecuada dilución del silicato y por ende no podría incorporarse al suelo para generar una mezcla fluida. Una nueva línea de investigación estudia mezclas del tipo suelo vial que demandan una mayor relación silicato/agua.
- El valor soporte del suelo se incrementa un 30% si en el ensayo de CBR_{2,5mm} la probeta permanece sumergida 11 días, en vez de 4, lo que confirma la reacción diferida en el tiempo del silicato de sodio con las sales de calcio del suelo o presentes en el agua intersticial.
- Por todo lo expresado anteriormente puede inferirse que las principales ventajas desde la perspectiva vial de utilizar dicha estabilización en subrasantes no pavimentadas erodables son: “disminuir” la vulnerabilidad a la erodabilidad a corto plazo, “reducir” la cantidad de polvo ambiental, como de baches y acaravamientos en la zona de ancho de camino y, “aminorar” los costos de mantenimiento y rehabilitación anual en dichas vías no pavimentadas. Al no haberse realizado aún ensayos de durabilidad, no se puede tener precisión de los ahorros de costos obtenidos con la estabilización propuesta.

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

HURLEY C. H., 1971.

Sodium Silicate Stabilization of soils

A review of the literature, University of Illinois, Chicago.

MORETTO S., 2006.

Tesis de grado sobre Estabilización de suelos loésicos colapsibles mediante inyecciones a base de silicato de sodio, Córdoba.

ZUR, A. Y WISEMAN, G., 1973.

A Study of Collapse Phenomena of an Undisturbed Loess.

8° International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Vol. 2.2, Session 4/43, pp. 265-268.

Moscú, URSS.

Tabla 1. Resultados de ensayos sobre suelo natural, y dosificaciones con silicato de sodio líquido.

Nombre del ensayo	Parámetros resultantes (unidad)	Suelo natural (Loess)	Dosificación (S) silicato de sodio, (A) agua, (L) loess *				
			1S:2A:10L	1S:4A:18L	1S:5A:22L	1S:6A:28L	1S:8A:38L
Identificación	A.A.S.H.T.O.:	A4 a A6	1S:2A:10L	1S:4A:18L	1S:5A:22L	1S:6A:28L	1S:8A:38L
Lavado tamiz 200	ω_{T200} (%)	99	84	86	87	88	92
	Grava (%)	0	0,67	0,50	0,17	0,17	0,17
	Arena (%)	2	15,0	13,17	12,5	11,5	7,33
Análisis granulométrico	Limo y Arcilla (%)	98	84,33	86,33	87,33	88,33	92,5
	D ₁₀ (mm)	0,170	0,125	0,150	0,160	0,150	0,125
	ω_{LL} (%)	22,6	27,4	24,6	27,7	21,8	25,1
Límites de Atterberg	ω_{LP} (%)	20,0	25,0	22,2	25,0	19,1	22,2
	IP (%)	2,6	2,4	2,4	2,7	2,7	2,9
Doble hidrómetro	Erodable	35,9	25,8	26,6	26,1	29,8	32,6
Sales solubles totales	Sales solubles (%)	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Superficie específica	Se (m ² /gr)	0,61	1,08	NE	0,82	NE	NE
Carbonato de calcio	CaCO ₃ (%)	1,6	2,3	3,2	3,0	3,0	2,9
pH		8,3	9,8	9,6	9,5	9,4	9,3
Proctor estándar	$\omega_{\text{óptima}}$ (%)	17,5	23,0	22,0	21,5	20,0	19,0
	y _{ss} máx (kg/m ³)	1.660	1.480	1.500	1.530	1.530	1.550
	Indices CBR (%)	1,48**	12,35	NE	8,03	NE	NE
California Bearing Ratio							
4 días	Hinchamiento (%)	-0,6**	+4,5	NE	+3,6	NE	NE
California Bearing Ratio	Indices CBR (%)	1,48**	16,06	NE	8,03	NE	NE
11 días	Hinchamiento (%)	-0,7**	+5,0	NE	+3,8	NE	NE
Compresión simple***	Su (MPa)	0,013	0,122	0,121	0,107	0,121	0,122
	E _{1%} def. vertical (MPa)	2,35	22,16	10,00	11,47	7,35	23,83

NE: No Ensayado.

NC: No Corresponde ser ensayado.

*: Relación en peso. **: A partir de ensayar el suelo natural compactado al peso unitario seco máximo (y_{ss} máx) y contenido de humedad óptimo ($\omega_{\text{óptimo}}$) del ensayo proctor estándar o T99. ***: Probetas de suelo-silicato curadas 21 días antes de ser ensayadas a la compresión simple.



ASAGAI

ASOCIACIÓN ARGENTINA
DE GEOLOGÍA APLICADA
A LA INGENIERÍA

Proyecto de estabilización del faldeo sur del cerro Chenque, Comodoro Rivadavia

Francisca, Franco M. - Pinto, Federico - Abril, Ernesto G. - Van De Velde, Germán - Alvarez Muguerza, Matías

Evaluación de las concentraciones de fluoruro en el agua subterránea del valle central de Catamarca

Segura, Luis - Saracho, Marta - Lobo, Patricia - Agüero, Nahuel

Regiones hidrogeológicas en la provincia de Tucumán

García, Jorge W. - Falcón, Carlos M. - D'Urso, Carlos H. - Rodríguez, Graciela V.

Estabilización de subrasante loésica con silicato de sodio líquido

Cruz, María Pía - Martin Schmädke, Ítalo - Arnaudo, Carlos - Vigilante, Nicolás

Recurso hídrico y emprendimientos urbanísticos en la costa oriental de la provincia de Buenos Aires

Rodriguez Capitulo, Leandro - Carretero, Silvina - Kruse, Eduardo

Portada: Cantera abandonada de rodados en Punta Este, al sur de Puerto Madryn, provincia de Chubut. *Fotografía María Paula Bunicontro.*

**Revista de Geología
Aplicada a la Ingeniería
y al Ambiente**

