

Estabilizaciones Iónicas en Suelos Lateríticos de la Provincia de Misiones

Pintos, Nicolás A.^{a,b,*}; Demonari, Fernando E.^b; Gauna, Diana N.^a; Pettersen, Julieta B.^a; Leiva, Enzo E.^a; Drewes, Mario^a; Zang, Gonzalo E.^a; Reinert, Hugo O.^a

^a *Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Misiones (UNaM), Oberá, Misiones, Argentina.*

^b *Dirección Provincial de Vialidad, Posadas, Misiones, Argentina.*

e-mails: pintos@fio.unam.edu.ar, fernandodemonari@gmail.com, gaunadiana@gmail.com; julibelp1515@gmail.com; enzoleivapro62@gmail.com; mariodrewes98@gmail.com; gonzalozang112000@gmail.com; hugo.reiner@fio.unam.edu.ar

Resumen

En el presente trabajo se evalúan técnicas de estabilización iónica aplicadas a suelos lateríticos de Misiones, Argentina, con el objetivo de mejorar la transitabilidad de caminos rurales no pavimentados. La alta pluviosidad, topografía irregular y presencia de suelos plásticos generan problemas estructurales en estas vías, haciendo necesaria la búsqueda de soluciones que reduzcan la susceptibilidad al agua y costos de mantenimiento. En convenio entre la Facultad de Ingeniería de la UNaM y la Dirección Provincial de Vialidad, se realizaron ensayos con estabilizadores iónicos de base polimérica y sulfonada sobre muestras de distintas regiones. Las pruebas de laboratorio incluyeron compatibilidad suelo-aditivo, ascenso capilar, hinchamiento, límites de Atterberg, Proctor y CBR. Los resultados con estabilizadores poliméricos mostraron que, aunque todas las muestras presentaron ascenso capilar significativo y rotura en la zona embebida al contacto con el agua, no se observaron mejoras sustanciales en la resistencia e hinchamiento. Con el aditivo sulfonado se registraron leves variaciones en densidad, humedad óptima y CBR, aunque no se logró reducir el límite líquido ni mejorar la capacidad portante. Se concluye que, bajo las condiciones ensayadas, los aditivos no ofrecieron mejoras notables en los suelos misioneros y se sugiere una reformulación química para optimizar su desempeño.

Palabras Clave: *Estabilización Iónica, Caminos rurales, Suelos lateríticos.*

1 Introducción

La red vial de la provincia de Misiones se caracteriza por una alta proporción de caminos no pavimentados, los cuales presentan problemas de transitabilidad como consecuencia de las condiciones climáticas, topográficas y geológicas de la región. La elevada pluviosidad, la topografía irregular y la presencia de suelos finos con plasticidad media a alta, favorecen procesos de erosión y pérdida de estructura en caminos terrados. A diferencia de otras regiones, estos suelos no suelen presentar hinchamiento potencial, lo cual constituye una ventaja en términos de ingeniería vial. En este escenario, el empleo de técnicas de estabilización resulta de interés para mejorar el desempeño estructural de los suelos, reduciendo su susceptibilidad al agua, así como los costos de mantenimiento.

Frente a esta realidad, y en el marco del convenio de cooperación entre la Facultad de Ingeniería de la UNaM y la Dirección Provincial de Vialidad (DPV), desde el Departamento de Investigaciones Viales y Ensayos Tecnológicos (DIVET) se impulsan estudios orientados a evaluar soluciones que permitan mejorar el comportamiento mecánico de los suelos locales y optimizar las técnicas constructivas en caminos de bajo volumen de tránsito. En esta línea, se analizó el desempeño de suelos lateríticos regionales, caracterizados como A-7-5 o A-7-6 (clasificación HRB), o bien ML o MH (clasificación SUCS), procedentes de distintos yacimientos distribuidos en el territorio de la provincia de Misiones, frente a tratamientos de estabilización iónica, utilizando dos tipos de formulaciones: una de base sulfonada y otra polimérica.

Los ensayos con aditivos sulfonados se realizaron sobre muestras obtenidas en zonas de obra de la localidad de Salto Encantado y de la autovía correspondiente a la Ruta Nacional N.º 105. Por su parte, los estudios con estabilización polimérica se llevaron a cabo utilizando suelo extraído de la Autovía N.º 105 y del municipio de Eldorado, logrando de esta manera contar con muestras obtenidas de zona sur, centro y norte de la provincia de Misiones. De este modo, se busca representar distintas condiciones de aplicación regional y aportar criterios técnicos para futuras intervenciones en obras de infraestructura vial en la provincia.

2 Generalidades. Estabilización Iónica

La estabilización iónica de suelos es una tecnología basada en la aplicación de un producto químico, generalmente líquido, denominado “*estabilizador iónico*”. Este debe mezclarse íntima y homogéneamente con el suelo a tratar, de acuerdo con las especificaciones técnicas propias de cada tecnología. En términos generales, los estabilizadores iónicos actúan como agentes de intercambio iónico sobre suelos con gran actividad química entre capas, mayoritariamente arcillas, que, al estar en contacto con agua, aumentan notablemente su volumen y disminuyen su capacidad portante. Estos productos rodean las partículas de arcilla con iones de igual carga, reduciendo la doble capa eléctrica. Así, el agua pelicular del sistema “*arcilla-agua*” se transforma en agua superficial, eliminable por evaporación y compactación. Aunque se destacan sus efectos sobre las arcillas, también pueden emplearse en suelos mixtos (arcillas con limos, arenas o gravas) y, en menor medida, en suelos áridos (arenas o gravas). Por ello, siempre es recomendable verificar con los proveedores de los productos, los alcances, criterios y requerimientos de uso.

Dado que existen distintos estabilizantes en el mercado, muy diversos en su composición química, es fundamental solicitar a los fabricantes la mayor cantidad posible de información: correcta rotulación del envase, certificaciones de estudios y aprobaciones por organismos públicos, certificaciones medioambientales, cartas de seguridad y toda recomendación necesaria para el manipuleo seguro por parte del personal de laboratorio y de obra, así como para los equipos viales que aplicarán el producto.

Actualmente se emplea una variada gama de agentes estabilizadores iónicos, agrupados en tres grandes familias según su composición química y funcional: **polímeros, aceites sulfonados y enzimas**.

La dosificación del estabilizador debe ser indicada por el departamento técnico de la empresa proveedora, quien usualmente solicita datos sobre la caracterización del material a estabilizar (ensayo de identificación y clasificación AASHTO-HRB), a fin de realizar las recomendaciones. Por lo general la forma de dosificar refiere a la cantidad de producto por tonelada o por metro cúbico de suelo, en un rango que varía, en general, entre 0,045 a 2.00 kg/m³, según la tecnología del estabilizante utilizado.

3 Procedimientos y Resultados Obtenidos

Se describen en el presente apartado, los procedimientos adoptados para el desarrollo de cada ensayo propuesto, conforme las muestras de suelo de los diferentes sitios de la provincia, y los distintos elementos de estabilización iónica empleados.

3.1 Estabilización Iónica con Polímeros

Las pruebas para la estabilización con polímeros, propuestas por el fabricante, se basan en la ejecución de ensayos de compatibilidad donde, se moldean probetas compactadas de suelo solo y con adición del agente estabilizante, con una dosificación de laboratorio del orden del 1%, en peso de suelo seco, dosis que resulta 8 a 10 veces mayor que la dosificación que se utilizará en campo (0,12% en peso). Luego de moldeadas, se dejan secar al aire o sobre horno (temperatura menor a los 40°C) invertidas por 72 horas hasta que no se evidencie humedad en ninguna de las caras de la probeta. Se coloca agua en una placa o recipiente hasta 1 cm de altura, se invierten las probetas y se colocan simultáneamente en la placa con agua, para luego evaluar comparativamente tres aspectos que pueden distinguir si la aplicación de este aditivo puede generar algún tipo de mejora comparativa en el comportamiento del suelo frente a la presencia de agua:

- Estabilidad de la zona de contacto: se evalúa si hay desmoronamientos/desprendimientos de suelo en la zona inferior (contacto con el agua).
- Velocidad de ascensión capilar de agua: midiendo ambas probetas a intervalos de tiempo definidos, e indicando la hora donde se evidencia la presencia de agua en la capa superior, si es que no hay desmoronamientos previos.
- Presencia de hinchamiento lateral: o separación entre capas de suelo compactado.

Para realizar estos análisis se emplearon dos muestras de suelo:

- **MN° 3350:** obra de la Autovía RN N°105 (X: 616.930,3 – Y: 6.944.205,7)
- **MN° 3366:** calle Río Chubut y Av. Córdoba, Eldorado (X: 739.009,1 – Y: 7.075.313,0)

3.1.1 Resultados Obtenidos Muestra N° 3350 - Autovía Ruta Nacional N° 105

Inicialmente se moldearon probetas con la muestra de suelo MN° 3350 proveniente de la Autovía, a densidades del 90–95 % de la densidad óptima obtenida del ensayo Proctor tipo III, utilizando moldes cilíndricos de 70 milímetros de diámetro y 140 milímetros de altura. Las probetas resultantes presentaron textura porosa, incluso tras el sellado en placa de vidrio, por lo cual se ajustó la técnica: se utilizó compactación Proctor tipo III con energía de 8,50 kg·cm/cm³ y humedad del 1 % por debajo de la óptima. Este procedimiento se mantuvo para el resto de las muestras estudiadas.

En la Tabla 1 se presentan los datos de dimensiones de probetas moldeadas, datos de procedencia, y características de suelo, agua y aditivo empleado en cada caso.

En la Figura 1 se detallan imágenes fotográficas de las probetas moldeadas, donde se puede apreciar las características de estas antes y después del contacto con agua, como parte del ensayo de compatibilidad mencionado previamente.

Tabla 1 – Tamaños y materiales utilizados en probetas con aditivo polimérico.
(las probetas impares poseen las mismas características que las pares, pero sin aditivo)

Probeta N°	Molde	Procedencia	Cantidad de Suelo húmedo	Agua empleada	Aditivo empleado	% de Aditivo
2	ø70x140mm	Autovía RN N°105	700 gr	30ml	9ml	1,28 %
4	ø=101x116mm	Autovía RN N°105	1835 gr	110.1 ml	18.4 ml	1,00 %
6	ø=101x116mm	Autovía RN N°105	1822 gr	109.3 ml	18.2 ml	1,00 %
8	ø=101x116mm	Calle Chubut, Eldorado	1823 gr	109.4 ml	18.2 ml	1,00 %



Muestras recién moldeadas sin inmersión en agua. Densidad: 1,40 gr/cm³



Muestras 1 y 2 al contacto inicial con el agua



Muestras 1 y 2 a las 3 horas de inicio del ensayo

Fig. 1. Imágenes fotográficas probetas moldeadas N°1 y N°2. Suelo Autovía RN N° 105, sin y con aditivo en proporción de 1.28% en peso

Habiendo ajustado la metodología de compactación para obtener una textura superficial menos porosa, las probetas se moldearon a 100% de la densidad seca máxima del ensayo Proctor Tipo III, alcanzándose una densidad de referencia de 1.53 gr/cm³ y una humedad óptima de 28.9 %, por lo que la humedad de moldeo resulto de 27.9 %.

En la Tabla 2 se dan los datos de referencia al caso, detallándose para el suelo con y sin aditivo la absorción/capilaridad (mm), la rotura o no de la probeta en la zona embebida, y la descripción del hinchamiento lateral de la probeta.

En la Figura 2 se dan imágenes de la respuesta de las probetas moldeadas para el caso de suelo con aditivo en proporción del 1%.

Los resultados muestran que, al contacto con el agua en la base de la probeta, se produce la rotura de esta en la zona embebida, y que luego de los 120 minutos hay un ascenso prácticamente total del agua por capilaridad en la probeta, generando un hinchamiento y desprendimiento de las capas de moldeo.

Tabla 2 – Resultados de ensayos para probetas N° 3 y 4 de suelo de Autovía RN N° 105, sin y con aditivo al 1%.

Propiedades	Suelo Solo (3)	Con Aditivo (4)	Suelo Solo (3)	Con Aditivo (4)	Suelo Solo (3)	Con Aditivo (4)	Suelo Solo (3)	Con Aditivo (4)	Suelo Solo (3)	Con Aditivo (4)	Suelo Solo (3)	Con Aditivo (4)
Tiempo (min)	10		20		30		60		120		180	
Absorción por Capilaridad (mm)	40	55	55	65	60	75	90	105	105	120	120	120
Rotura en zona de contacto (embebida)	total	total	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Hinchamiento Lateral	Leve		Moderado		Moderado		Moderado		Importante		Importante	



Muestras 3 y 4 al contacto inicial con el agua.

Muestra 4 a las 2 horas de inicio del ensayo.

Fig. 2. Imágenes fotográficas probetas moldeadas. Suelo Autovía RN N° 105, con una proporción de aditivo del 1%

3.1.2 Resultados Obtenidos Muestra N° 3366 - Eldorado

Las probetas se moldearon al 99% de la densidad seca máxima del ensayo Proctor Tipo III, alcanzándose una densidad de referencia de 1.54 gr/cm³ y una humedad óptima de 27 %, por lo que la humedad de moldeo resulto de 26 % para el caso de suelo con aditivo en proporción del 1%

En la Tabla 3 se dan los datos de referencia al caso, detallándose para el suelo con y sin aditivo la absorción/capilaridad (mm), la rotura o no de la probeta en la zona embebida, y la descripción del hinchamiento lateral de la probeta.

En la Figura 3 se dan imágenes de la respuesta de las probetas moldeadas para el caso de suelo con aditivo en proporción del 1%.

Tabla 3 – Resultados de ensayos para probetas N.º 7 y 8 de suelo de Eldorado, sin y con aditivo al 1%.

Propiedades	Suelo Solo (7)	Con Aditivo (8)	Suelo Solo (7)	Con Aditivo (8)	Suelo Solo (7)	Con Aditivo (8)	Suelo Solo (7)	Con Aditivo (8)	Suelo Solo (7)	Con Aditivo (8)	Suelo Solo (7)	Con Aditivo (8)
Tiempo (min)	10		20		30		60		120		180	
Absorción por Capilaridad (mm)	35	30	-	-	40	35	60	45	80	60	100	70
Rotura en zona de contacto (embebida)	total	total	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Hinchamiento Lateral	Nulo		Nulo		Nulo		Leve		Leve		Moderado	



Muestras 7 y 8 a las 3 horas de inicio del ensayo

Muestras 7 y 8 al contacto inicial con el agua.

Fig. 3. Imágenes fotográficas probetas moldeadas. Suelo de Eldorado, con una proporción de aditivo del 1%

Los resultados muestran que, al contacto con el agua en la base de la probeta, se produce la rotura de esta en la zona embebida, se genera un hinchamiento y desprendimiento de las capas de moldeo.

3.2 Estabilización Iónica con Aditivo Sulfonado

El presente apartado expone los resultados obtenidos a partir de los ensayos realizados para evaluar el comportamiento de un estabilizador iónico de base sulfonada con muestras de suelo obtenidas de un yacimiento ubicado en la zona de Salto Encantado y de sectores intervenidos en la Autovía sobre la Ruta Nacional N.º 105.

Al igual que el caso anterior, la rutina de ensayos fue propuesta por el fabricante del aditivo, indicando la realización de límites de Atterberg, ensayo de compactación Proctor y CBR, comparando los resultados entre las muestras de suelo y las aditivadas. Según éste, para suelos A-7-5 o A-7-6, se

debe evidenciar principalmente una notoria disminución del Límite Líquido, y un aumento del CBR en un 80% a un 100%.

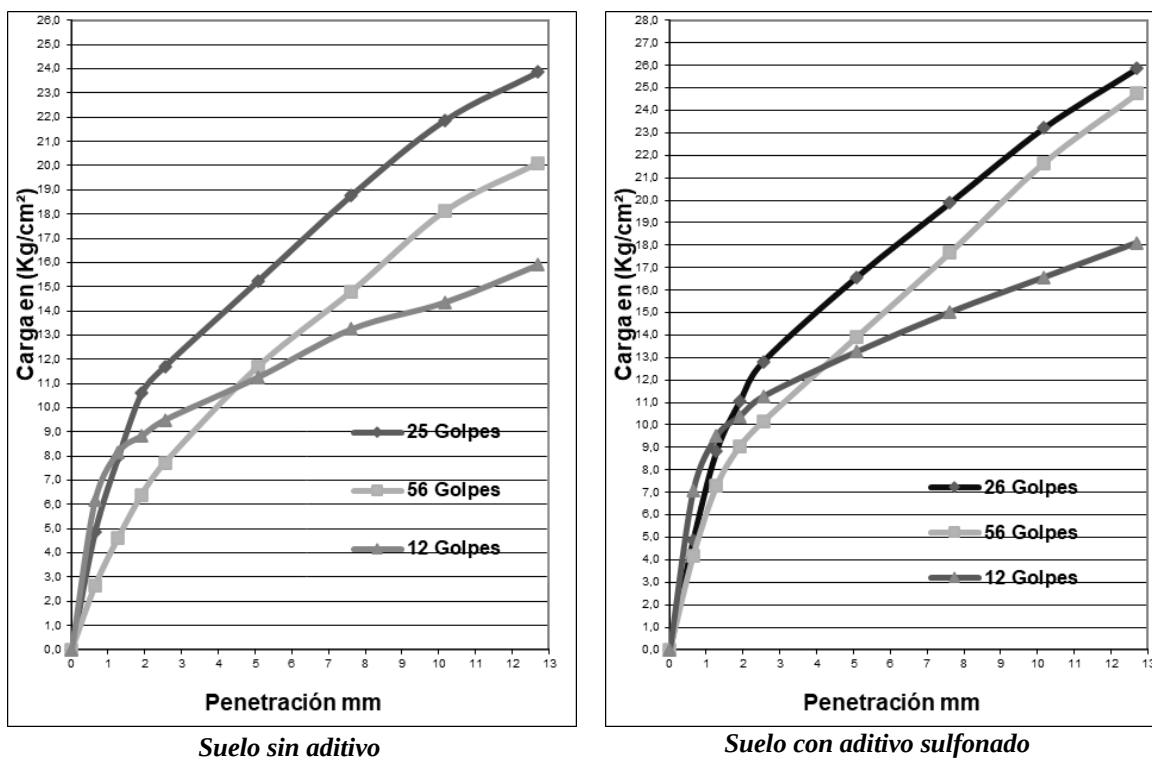
Se debe prestar especial importancia al procedimiento de hidratación con aditivo, homogenización, y los sucesivos tiempos de deshidratación del suelo + rehidratación con agua, para favorecer el efecto del aditivo sulfonado con las partículas de arcilla.

3.2.1 Resultados Obtenidos Muestra N° 3350 - Autovía Ruta Nacional N° 105

Para la realización de las probetas a ensayar, se preparó una solución diluida de aditivo sulfonado en concentración de 3 cm³ por litro de agua. Esta solución fue incorporada al suelo mediante un aspersor a razón de 10 cm³ de aditivo por kilogramo de suelo seco, manteniendo condiciones de humedad cercanas a la óptima. Se realizaron los límites de Atterberg, se moldearon probetas con compactación tipo Proctor Modificado y se realizó el ensayo de CBR (energías de 6.00-12.50-27.00 Kg.cm/cm³) todas para suelo solo y suelo con aditivo, a fin de completar la rutina prevista.

En la Figura 4 se presentan los resultados de los ensayos Proctor desarrollados, observándose las curvas de compactación para suelo sin y con aditivo, con el detalle de las respectivas humedades óptimas de referencia. Asimismo, en la Figura 5 se dan las curvas de tensión-penetración de los respectivos ensayos CBR.

Fig. 4. Curvas Proctor para suelo con y sin aditivo sulfonado – Muestra Autovía RN N° 105.



Aro	Capacidad	Sección pistón	19,48 mm ²
Aro-009	0 a 1000 Kg	Factor:	4,305
Valor Soporte:	13,58%	16,73%	11,15%
N° Golpes	12	25	56

Aro	Capacidad	Sección pistón	19,48 mm ²
Aro-009	0 a 1000 Kg	Factor:	4,305
Valor Soporte:	16,10%	18,31%	14,52%
N°	12	25	56

Fig. 5. Curvas de penetración ensayos CBR con y sin aditivo – Muestra Autovía RN N° 105.

En la Tabla 4 se dan los resultados obtenidos de los ensayos de propiedades físico-mecánicas de las muestras de suelo con y sin aditivo sulfonado, indicándose en la última columna la comparación del desempeño logrado con el agregado de aditivo respecto del caso de suelo solo.

Tabla 4 – Resultados de ensayos suelo Autovía RN N° 105, Comparación para el caso sin y con el agregado de aditivo sulfonado.

Parámetro	Suelo Natural Sin Aditivo	Suelo con Aditivo Sulfonado	Observaciones
Límite Líquido (%)	59.01%	59.55%	↑ Leve aumento
Humedad Óptima (%)	28.0%	27.3%	↓ Leve descenso
Densidad Seca Máxima (g/cm ³)	1,570	1,600	↑ Leve aumento
CBR para energía 6,00 Kgcm/cm ³	13.58%	16.1%	↑ Leve aumento (18%)
CBR para energía 12,5 Kgcm/cm ³	16.73%	18.31%	↑ Leve aumento (9.4%)
CBR para energía 27,0 Kgcm/cm ³	11.15%	14.52%	↑ moderado aumento (30%)

3.2.2 Resultados Obtenidos Muestra de Salto Encantado

Para la realización de las probetas a ensayar, se preparó una solución diluida de aditivo sulfonado en concentración de 4 cm³ por litro de agua. Esta solución fue incorporada al suelo homogeneizado a razón de 10 cm³ de aditivo por kilogramo de suelo seco, manteniendo condiciones de humedad cercanas a la óptima. Se ejecutó la misma rutina establecida para el suelo de la Autovía RN N°105, adicionándose luego una rutina de Límite Líquido cada 48 horas, para evaluar la variación del mismo, a diferentes tiempos de hidratación y homogenización de la muestra.

En la Figura 6 se presentan los resultados de los ensayos Proctor desarrollados, observándose las curvas de compactación para suelo sin y con aditivo, con el detalle de las respectivas humedades óptimas de referencia. Asimismo, en la Figura 7 se dan las curvas de penetración de los respectivos ensayos CBR.

En la Tabla 5 se dan los resultados obtenidos de los ensayos de propiedades físico-mecánicas de las muestras de suelo con y sin aditivo sulfonado, indicándose en la última columna la comparación del desempeño logrado con el agregado de aditivo respecto del caso de suelo solo.

En Figura 8 se detallan los resultados de Limite Líquido obtenidos a 3, 5, 7, 9 y 14 días a fin de verificar el desempeño del aditivo con el incremento del tiempo de hidratación.

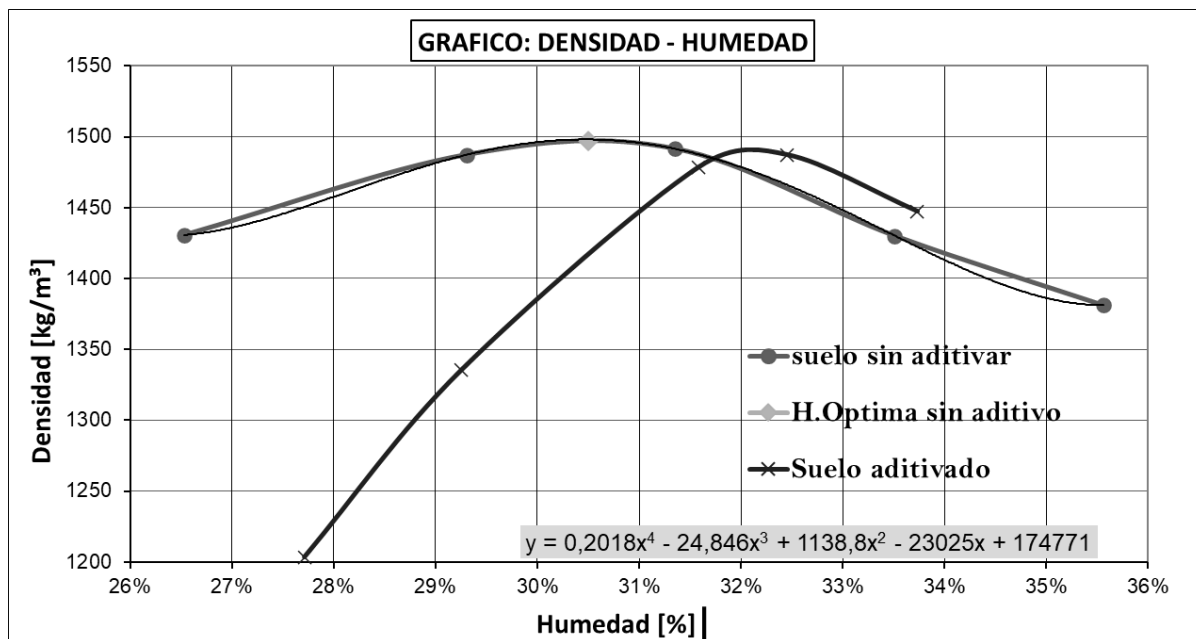
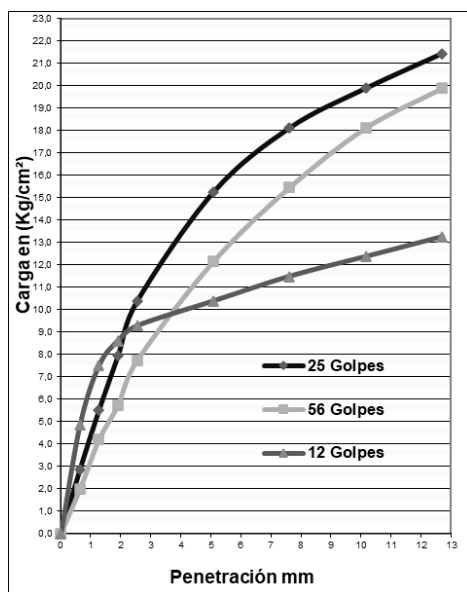
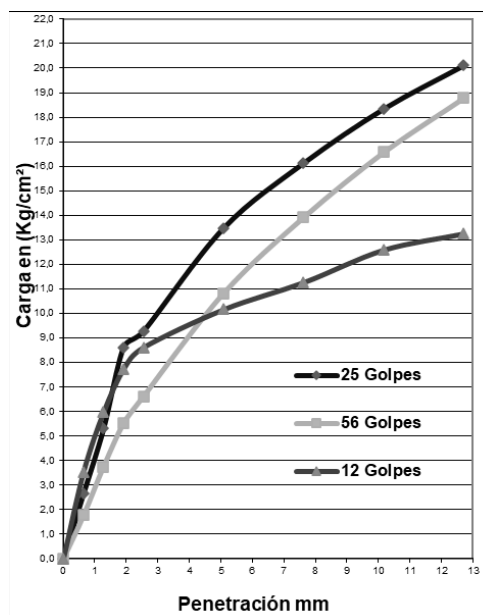


Fig. 6. Curvas Proctor para suelo con y sin aditivo – Muestra de Salto Encantado.



Suelo sin aditivo



Suelo con aditivo sulfonado

Aro	Capacidad	Sección pistón	19,48 mm ²	Aro	Capacidad	Sección pistón	19,48 mm ²
Aro-009	0 a 1000 Kg	Factor:	4,305	Aro-009	0 a 1000 Kg	Factor:	4,305
Valor Soporte:	13,26%	14,84%	11,58%	Valor Soporte:	12,31%	13,26%	10,31%
N° Golpes	12	25	56	N° golpes	12	25	56

Fig. 7. Curvas de penetración ensayos CBR con y sin aditivo – Muestra de Salto Encantado

Tabla 5 – Resultados de ensayos suelo Salto Encantado. Comparación para el caso sin y con el agregado de aditivo sulfonado.

Parámetro	Suelo Natural Sin Aditivo	Suelo con Aditivo Sulfonado	Observaciones
Límite Líquido (%)	53,87%	56,58%	↑ Leve aumento
Humedad Óptima (%)	30,5	32,1%	↑ Leve aumento
Densidad Seca Máxima (g/cm ³)	1,497	1,490	↓ Leve caída
CBR para energía 6,00 Kgcm/cm ³	13,26%	12,31%	↓ Disminución (7.2%)
CBR para energía 12,5 Kgcm/cm ³	14,84%	13,26%	↓ Disminución (10.6%)
CBR para energía 27,0 Kgcm/cm ³	11,58%	10,31%	↓ Disminución (11.0%)

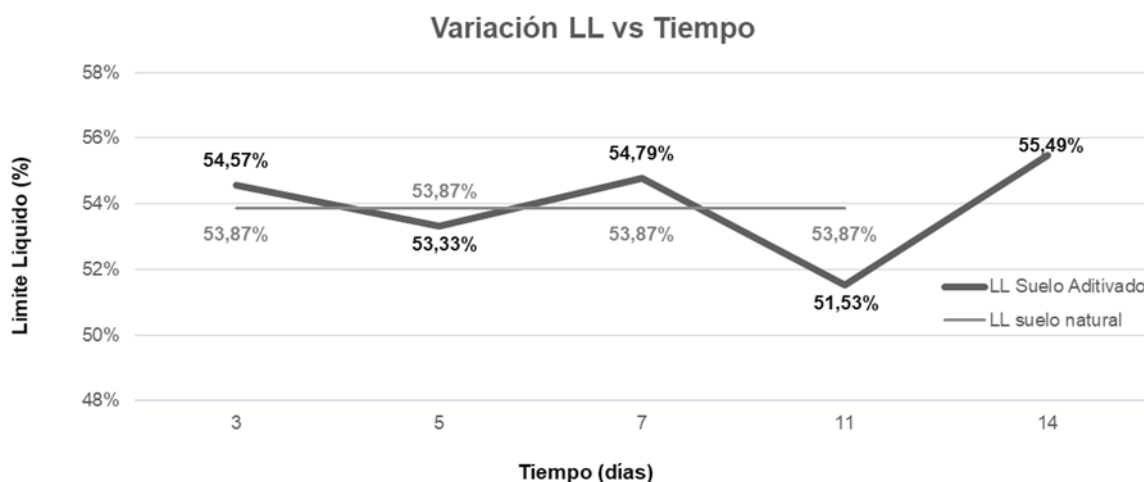


Fig. 8. Curva de variación de limite líquido a diferentes edades de hidratación del aditivo. Muestra de Salto Encantado.

3.2.3 Observaciones del caso de estabilización iónica con aditivo sulfonado

Los resultados obtenidos de los ensayos realizados conforme recomendaciones del proveedor del producto, y para el caso de suelos de dos sitios de estudio de referencia, se pueden realizar las siguientes observaciones:

- El análisis de los resultados de límite líquido, no muestra una variación significativa entre suelo con y sin aditivo, aunque si un leve aumento en sus valores. Respecto del análisis de tiempo de hidratación, no resulta en variaciones importantes, ni aun con tendencia definida.
- Respecto de la humedad óptima y densidad seca máxima obtenida con y sin aditivo, los resultados no presentaron variaciones de consideración, y mostraron entre las dos muestras de suelo analizadas comportamiento opuesto.
- El valor soporte relativo presenta igual comentario al caso anterior, es decir para las muestras analizadas presento comportamiento opuesto. En ambos casos la variación también fue muy pequeña.

4 Conclusiones

Se desarrollaron ensayos con muestras de suelo de varios yacimientos de la provincia de Misiones, trabajando con muestras de diferentes puntos de la autovía Ruta Nacional N° 105, de Eldorado, y de Salto Encantado, cubriendo la zona sur, centro y norte de la provincia. Estas muestras se combinaron con aditivos de estabilización con polímeros, y de aditivos sulfonados, con el objeto de verificar su desempeño.

En todos los casos se siguieron los lineamientos y procedimientos de selección de ensayos de referencias según los fabricantes de los productos, con quienes se mantuvo una comunicación fluida y generando incluso pequeñas modificaciones de los procedimientos, a fin de que puedan favorecer a los resultados esperados.

La realidad es que ninguno de los dos aditivos evaluados otorgó mejoras significativas ya sean de compatibilidad, susceptibilidad al agua o capacidad de carga de los suelos en estudio, generando inclusive para el caso de los suelos sulfonados resultados opuestos para ambas muestras de suelo estudiadas.

Con ambos fabricantes se procedió a enviar muestras de suelo de los sitios en estudio, a fin de que puedan replicar estos ensayos en los laboratorios de origen, y, según el interés futuro, llegar a generar una modificación de la fórmula química de estos aditivos para favorecer la compatibilidad con los suelos lateríticos misioneros.

5 Referencias

- [1] Norma IRAM 10501 “Método de determinación del límite líquido y del límite plástico de una muestra de suelo. Índice de fluidez e índice de plasticidad”, 2007.
- [2] Norma IRAM 10507 “Método de determinación de la granulometría por tamizado mediante vía húmeda”, 1986.
- [3] Norma IRAM 10509 “Clasificación de los suelos, con propósitos ingenieriles”, 1982.
- [4] Norma IRAM 10519 “Método de Laboratorio para la determinación de Humedad”, 1970.
- [5] Norma IRAM 10511 “Método de ensayo de compactación en laboratorio”, 1972.
- [6] Norma IRAM 10520 “Métodos de determinación del Valor Soporte Relativo e Hinchamiento de los suelos”, 1971.
- [7] Manual de Caminos Rurales – C.T.02. COMISION DE CAMINOS RURALES ,2024- AAC.
- [8] POLIDEM S.A-CAL-MA-041 rev-04 –“Metodología Analítica de Ensayo de Suelos. Procedimiento interno”, Buenos Aires, Argentina, 2019.

6 Agradecimientos

Se agradece la colaboración de los integrantes adscriptos al proyecto de investigación en desarrollo en el Laboratorio de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Misiones, y a los laboratoristas y técnicos de la Dirección Provincial de Vialidad.