

Determinación de la Plasticidad mediante el Cono de Caída en Muestras de Suelo Cemento

Mantay Gustavo A. ^{a,*}; Prudencio Elías D. ^a; Posnik Nahuel D. ^a; Reinert Hugo O. ^b; Pintos Nicolás A. ^c; Bogado Gustavo O. ^d.

a Integrante del Proyecto, Estudiante de Ingeniería Civil, Laboratorio de Ingeniería Civil (LIC), Facultad de Ingeniería Universidad Nacional de Misiones (FI-UNaM), Oberá, Misiones, Argentina

b Co-director del Proyecto, Docente Departamento de Ingeniería Civil, Laboratorio de Ingeniería Civil (LIC), Facultad de Ingeniería Universidad Nacional de Misiones (FI-UNaM), Oberá, Misiones, Argentina.

c Integrante del Proyecto, Docente Departamento de Ingeniería Civil, Laboratorio de Ingeniería Civil (LIC), Facultad de Ingeniería Universidad Nacional de Misiones (FI-UNaM), Oberá, Misiones, Argentina.

d Director del Proyecto, Investigador Asistente, Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas- UNaM

e-mails: gustavoalejandromantay@gmail.com, eliasd0814@gmail.com, nahuel.posnik22@gmail.com, reinert@fio.unam.edu.ar, nicolasagustinpintos@gmail.com, gustavobogado@conicet.gov.ar

RESUMEN

Los suelos modificados con cemento están siendo estudiados para posibles futuras aplicaciones en ingeniería civil. Por lo general las cantidades de cemento y humedad incorporadas al suelo son relativamente pequeñas y pretenden cambiar las propiedades físicas y químicas, entre ellas, reducción de plasticidad e incremento de su capacidad portante. En este artículo se detallan mediciones de los Límites de Atterberg. Los resultados obtenidos constituyen las primeras mediciones realizadas en la región y se confirmó la disminución de la plasticidad con la integración de cemento y humedad.

PALABRAS CLAVE: *Plasticidad, Humedad, Suelo Cemento, Penetración, Límites de Atterberg.*

1. Introducción

La plasticidad de los suelos arcillosos, modificados con cemento y humedad son un aspecto fundamental que gobierna las propiedades físicas y químicas, y depende de numerosas propiedades entre las que se encuentra la composición mineralógica, los límites de Atterberg, la distribución del tamaño de partículas y de las condiciones de compactación. La variación suelo-cemento-humedad produce una mejora de las propiedades tanto físicas como químicas. La estructura de los suelos mejorados dependerá principalmente del contenido de humedad y cemento.

Las aplicaciones para esto son muy diversas. La adición de cemento en el suelo produce una mejora en las propiedades mecánicas. El objetivo fundamental de estudiar las mezclas suelo cemento es determinar el porcentaje óptimo a utilizar para mejorar las prestaciones teniendo en cuenta la optimización del recurso, pudiendo así evitar costos elevados, en esta cuestión existen diversos planteos; las normas IRAM determinan el porcentaje óptimo para un suelo A-7 (según clasificación HRB) es del 13 % en peso. Los suelos lateríticos compactados se clasifican como A-7 y A-8, en los cuales el porcentaje de cemento a incorporar es elevado, por lo cual, esta recomendación debe verificarse.

Por otra parte, Portelinha et al (2012) utilizaron como porcentaje óptimo el del 3 %, Bahmani et al (2014) entre el 4-6 %. Mengue et al (2018) determinaron que el porcentaje óptimo para suelos de Cameron el cual es del 6%, teniendo en cuenta la compresibilidad y el comportamiento mecánico. En los antecedentes encontrados, no se especifica un porcentaje o rango, dado la gran variedad de los suelos tropicales con respecto de su clasificación, por lo tanto, resulta necesario determinar el porcentaje óptimo para los suelos de la provincia de misiones.

2. Metodología

Para determinar la medición de los Límites de Atterberg, se realizaron ensayos teniendo en cuenta la Norma Británica BS 1377(1990, la cual describe el procedimiento alternativo para determinar el límite mediante el método del penetrómetro cónico, en el marco del proyecto de investigación "Estabilización de suelos mediante la incorporación de cemento y residuos de la industria misionera".

Los ensayos se realizaron siguiendo el proceso detallado:

1. **Obtención del suelo:** Se extrajo una muestra de suelo de la ubicación (27°29'41.6"S 55°08'11.6"W), de allí fueron llevadas hasta el laboratorio ubicado en la Facultad de Ingeniería de Oberá y se depositaron esparcidas uniformemente en bandejas dejándose secar al aire a temperatura ambiente por 7 días.
2. **Preparación del suelo:** Las muestras pasaron a través del tamiz N°4, luego dejándolas airearse; posteriormente se utilizó un mortero para poder reducir grumos de suelo, una vez realizado dicho procedimiento se tamizó a través de una malla N°40 (*Figura 1*). De allí se separaron en dos muestras el suelo, una fue llevada al horno y otra se dejó con la humedad natural, con el fin de lograr una comparación entre ambas opciones.



Figura 1-Preparación de suelo.

3. **Preparación de la muestra:** se tomó 300 gr de suelo en un recipiente (*Figura 2*), y se agregó el porcentaje de cemento correspondiente: 2, 4, 6, 8%. (*Figura 3*) homogeneizando la mezcla (sin agua).



Figura 2-Preparación de muestra para ensayo.



Figura 3-Preparación del cemento.



4. **Incorporación de agua y mezcla de la muestra:** se añadió agua con un pulverizador (*Figura 4*) en forma de lluvia; a medida que se fue incorporando el agua en la muestra de suelo cemento, se fue mezclando con una espátula (*Figura 5*) lo más rápido posible para evitar que el cemento inicie su fragüe, hasta lograr que todos los granos se encuentren húmedos.



Figura 4-Incorporación de agua con pulverizador.



Figura 5-Mezclado.

5. **Moldeo:** se tomó una porción de la muestra obtenida en el paso anterior, se procedió a moldear la probeta en el recipiente perteneciente al penetrómetro (*Figura 6*). Se debió realizar una correcta colocación, evitando la compactación del suelo pudiendo así enrasar y mantener una densidad aproximadamente constante a lo largo del ensayo, verificando su peso una vez moldeado (*Figura7*).



Figura 6-Moldeo de probeta.



Figura 7-Enrasado.

6. **Penetración:** una vez realizado el paso 5, se procedió a colocar el recipiente en la base del penetrómetro (*Figura 8*), se ubica la punta del cono próxima a la superficie de la probeta enrasada (*Figura 9*) y soltamos el tornillo, introduciéndose el cono en la probeta, luego se lo ajusta y se realiza la lectura (*Figura 10*).



Figura 8-Ubicación del recipiente.



Figura 9-Puesta a punto.



Figura 10-Medición.

7. **Preparación de muestra:** Se saca una pequeña muestra de la probeta, preferentemente a las cercanías de donde impactó el cono en el ensayo (*Figura 11*), dicha muestra debe ir a un pesafiltro previamente pesado, y catalogado. Posteriormente se pesó el pesafiltro con el suelo y se lo dejó tapado hasta terminar todos los ensayos (*Figura 12*).



Figura 11-Extracción de muestra de suelo.



Figura 12-Muestra del suelo extraída para posterior secado.

8. **Secado de Muestras:** Tan pronto terminado el ensayo, se llevaron los pesafiltros al horno, con una temperatura de 105°C durante 24 hs, para garantizar un óptimo secado; una vez secos, se pesaron para poder obtener la humedad en cada ensayo (*Figura 13*).



Figura 13-Secado en horno.

Los pasos de 4 a 7 se repitieron para los distintos porcentajes de humedad y cemento, cabe destacar que los 300 gr. mencionados en el paso 1 alcanza para hacer un ensayo para un porcentaje de cemento con las distintas humedades.

Para obtener el límite líquido se calibró el penetrómetro con un peso de 80 gr. y para el límite plástico con un peso de 180 gr.

3. Resultados

Se puede visualizar en las siguientes gráficas, ordenadas por estado del suelo y porcentaje de cemento, la variabilidad de las penetraciones a medida que se alterna el porcentaje de humedad. Estas penetraciones se ven incrementadas a medida que se agrega humedad al suelo.

Al trazar una línea de tendencia entre los puntos pertenecientes a las diferentes penetraciones para cada ensayo, y evaluar dicha recta con una penetración igual a 200 se obtiene el límite correspondiente que se expresa en porcentaje de humedad de la muestra analizada (Límite plástico y límite líquido, según corresponda).

Suelos secados a horno:

Gráfico 1-LL (Suelo-Agua)

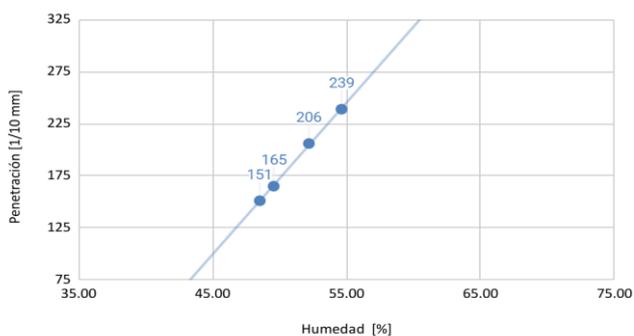


Gráfico 2- LP (Suelo-Agua)

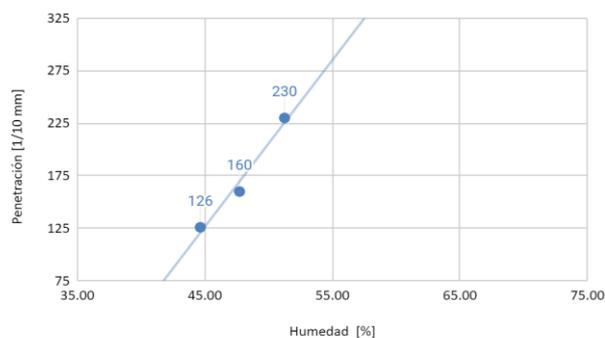


Gráfico 3- LL (Suelo-Cemento 2%)

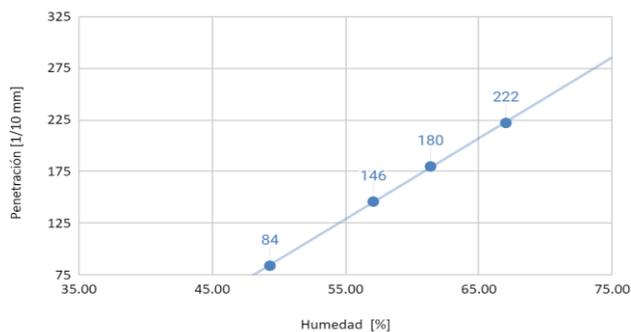


Gráfico 4- LP (Suelo-Cemento 2%)

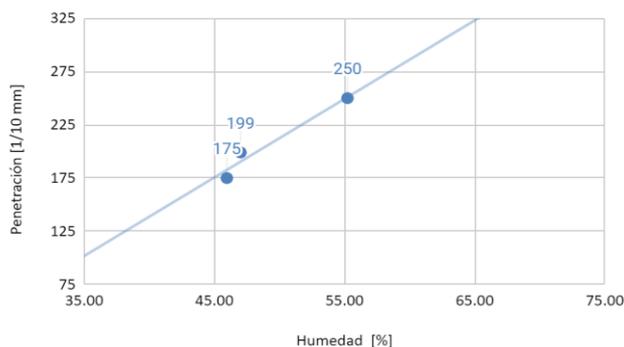


Gráfico 5- LL (Suelo-Cemento 4%)

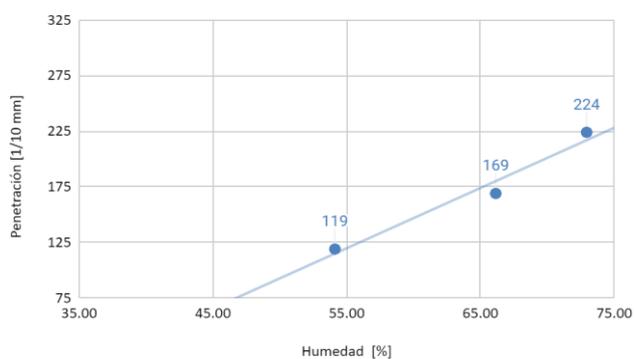


Gráfico 6- LP (Suelo-Cemento 4%)

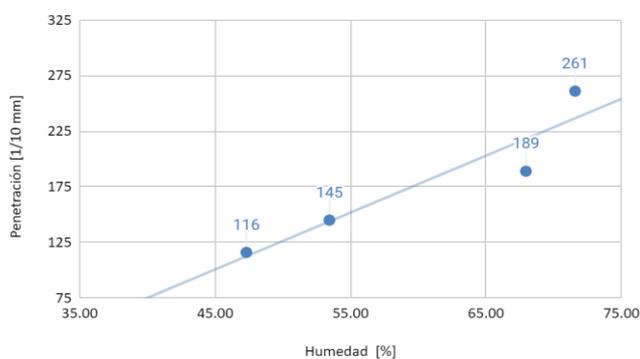


Gráfico 7- LL (Suelo-Cemento 6%)

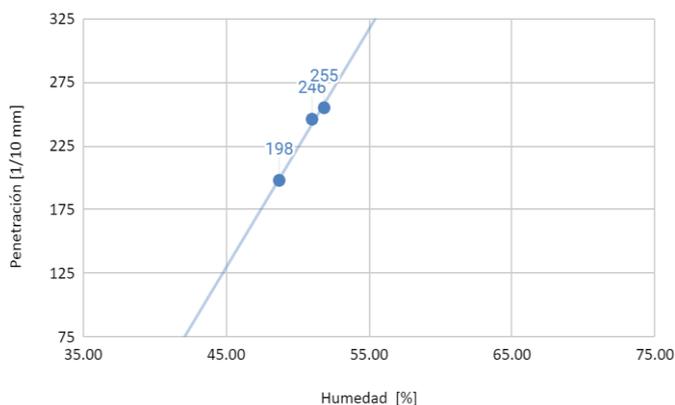


Gráfico 8- LP (Suelo-Cemento 6%)

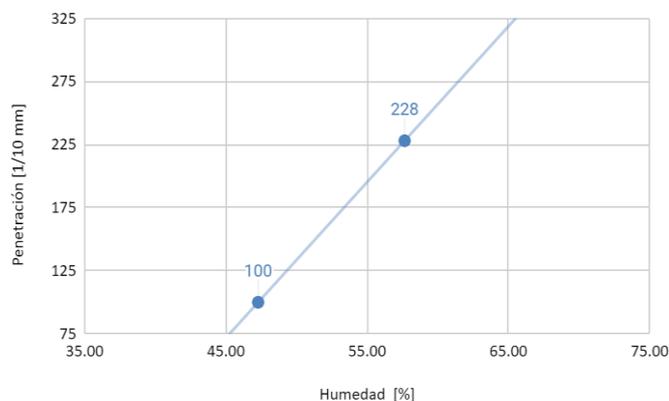


Gráfico 9- LL (Suelo-Cemento 8%)

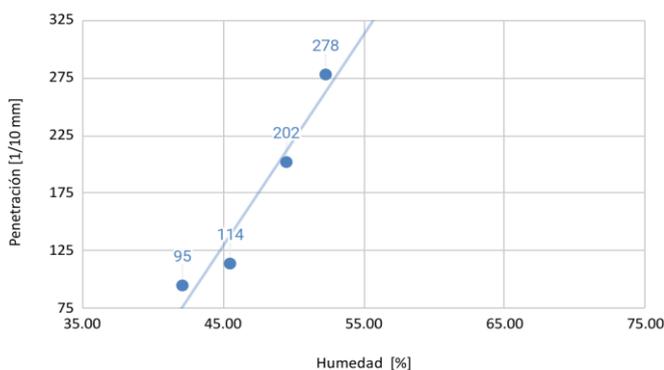


Gráfico 10- LP (Suelo-Cemento 8%)

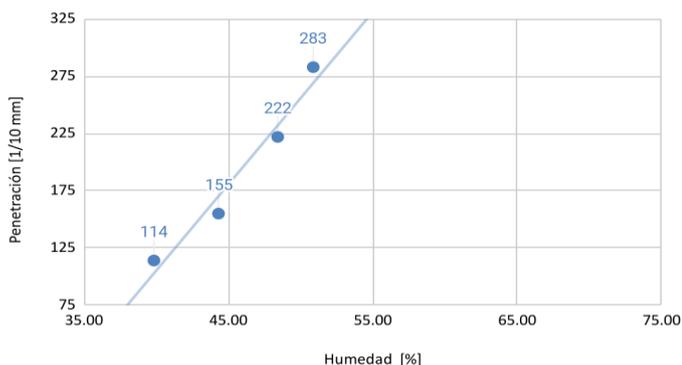


Tabla 1-Límites de suelos secados en horno.

Suelo Secado a Horno			
%Cemento	LL	LP	IP
0	51.78	49.81	1.97
2	64.06	48.30	15.76
4	69.74	64.18	5.56
6	48.82	55.52	6.70
8	48.96	46.15	2.81

Suelos en estado natural:

Gráfico 11- LL (Suelo-Agua)

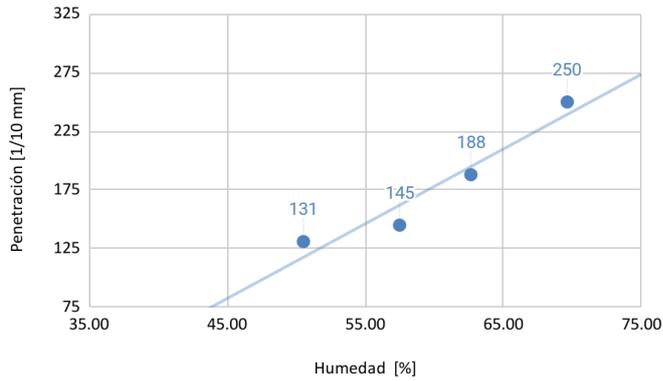


Gráfico 12- LP (Suelo-Agua)

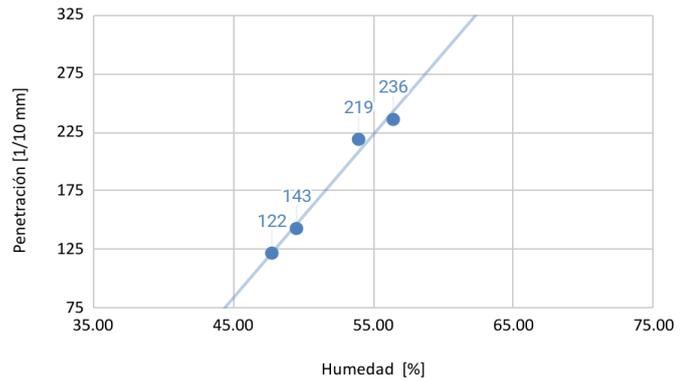


Gráfico 13- LL (Suelo-Cemento 2%)

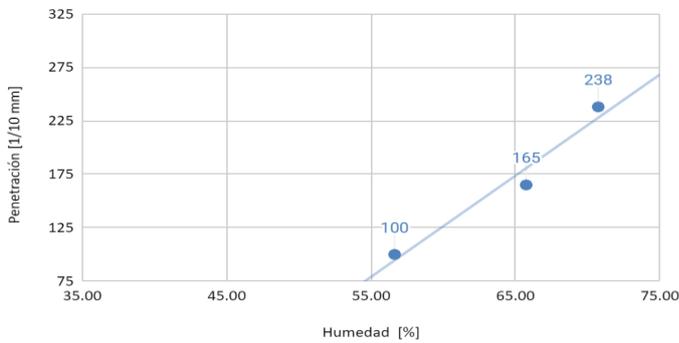


Gráfico 14- LP (Suelo-Cemento 2%)

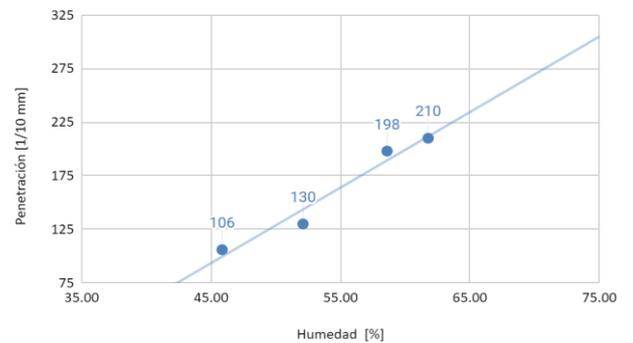


Gráfico 15- LL (Suelo-Cemento 4%)

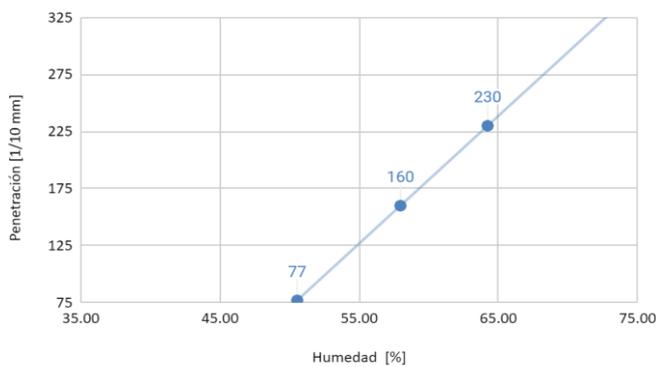


Gráfico 16- LP (Suelo-Cemento 4%)

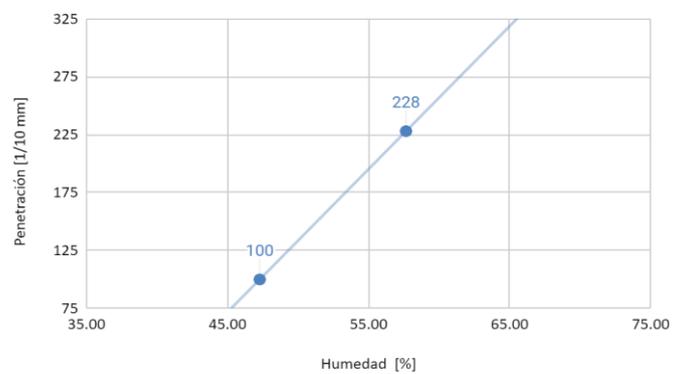


Gráfico 17- LL (Suelo-Cemento 6%)

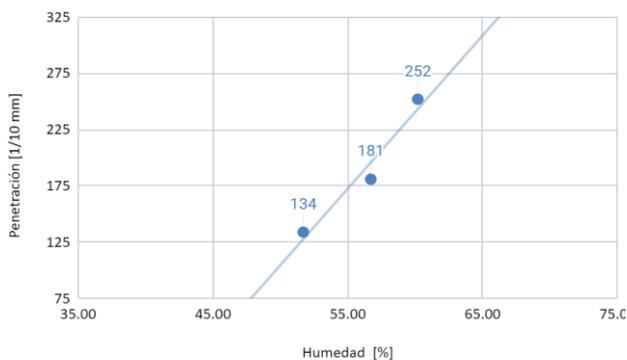


Gráfico 18- LP (Suelo-Cemento 6%)

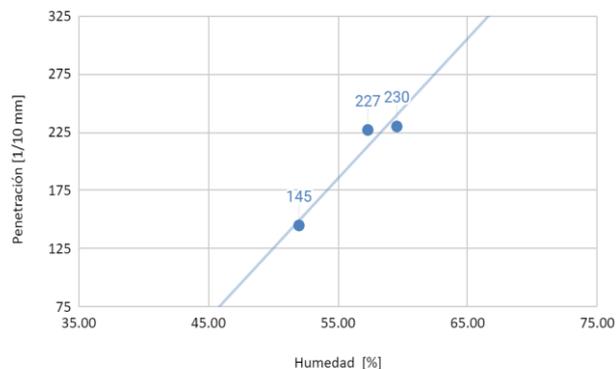


Gráfico 19- LL (Suelo-Cemento 8%)

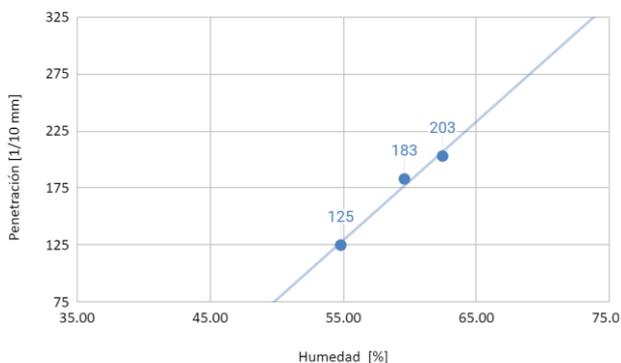


Gráfico 20- LP (Suelo-Cemento 8%)

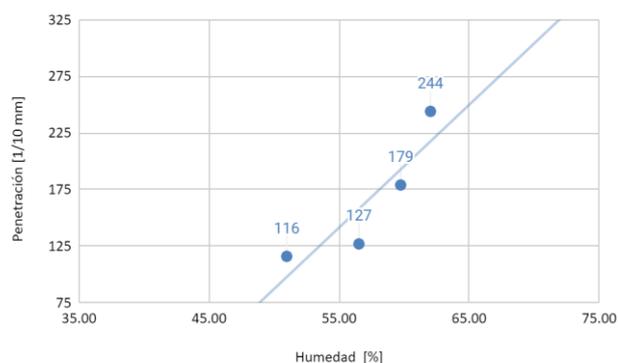


Tabla 2-Límites de suelos en estado natural.

Suelo en Estado Natural			
%Cemento	LL	LP	IP
0	63.42	53.45	9.97
2	67.75	60.08	7.67
4	61.43	55.53	5.90
6	56.91	56.25	0.66
8	61.82	60.65	1.17

Superposición de los distintos ensayos:

Gráfico 21- LL (Suelo natural para todos los porcentajes de cemento)

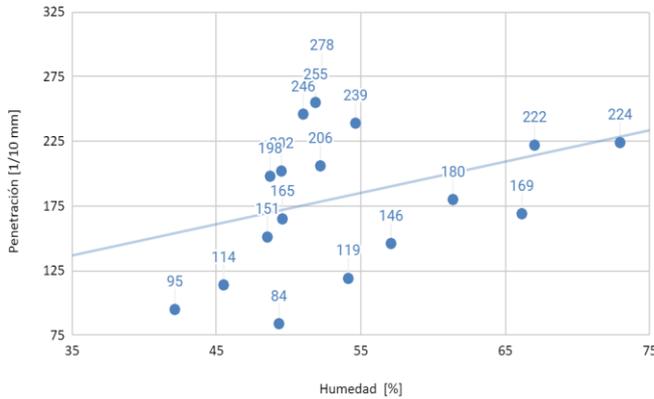


Gráfico 22- LP (Suelo natural para todos los porcentajes de cemento)

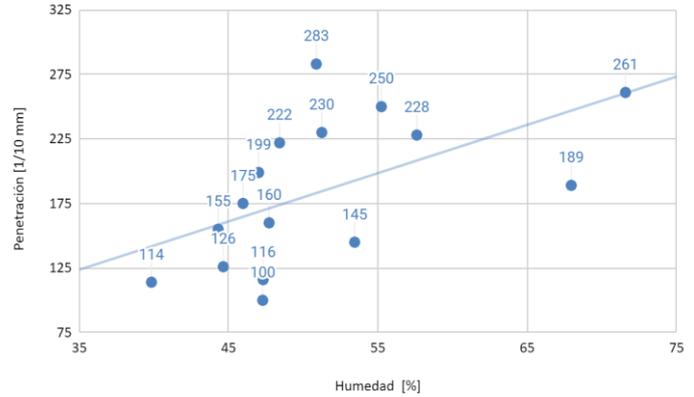


Gráfico 23- LL (Suelo seco para todos los porcentajes de cemento)

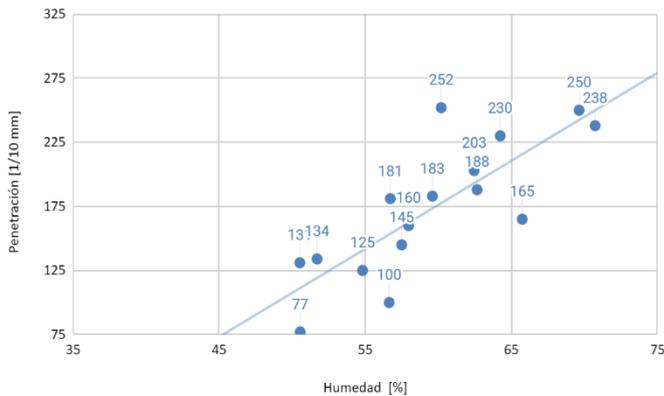


Gráfico 24- LP (Suelo seco para todos los porcentajes de cemento)

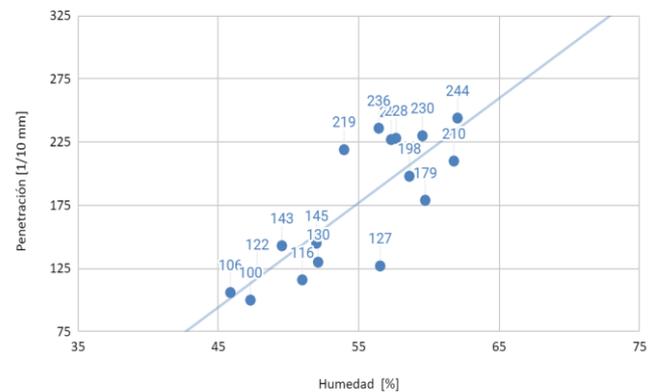


Gráfico 25- LL (Suelo natural y suelo seco para todos los porcentajes de cemento)

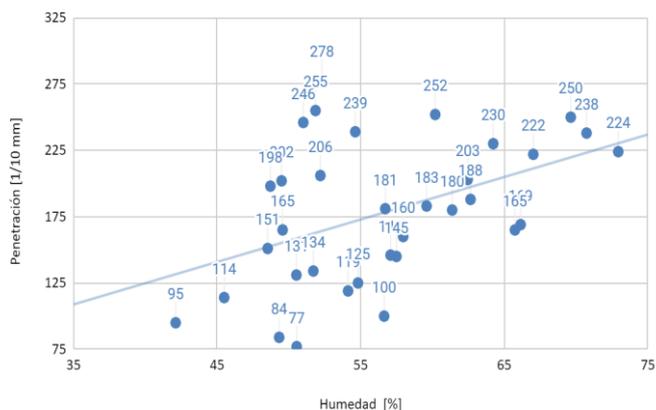


Gráfico 26- LP (Suelo natural y suelo seco para todos los porcentajes de cemento)

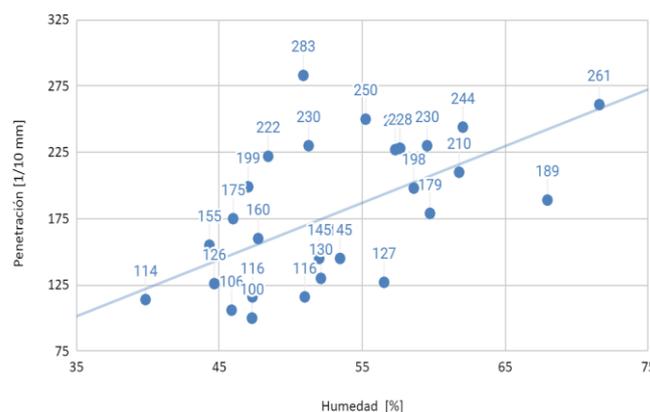


Tabla 3-Llímites Promedio.

Superposición de Resultados		
Característica:	LL promedio	LP promedio
Suelo natural para todos los porcentajes de cemento	61.11	55.38
Suelo seco para todos los porcentajes de cemento	63.46	57.80
Suelo natural y suelo seco para todos los porcentajes de cemento	61.48	58.01

4. Conclusiones:

Se verificó una disminución de la plasticidad con la integración de cemento y humedad, además una variación irregular al realizar los ensayos con suelo seco, y en estado natural una tendencia más uniforme en cuanto a valores. Si bien las aplicaciones de los resultados son reducidas en esta instancia, estos resultados presentan un avance en el objetivo de lograr un registro de las características de los suelos regionales y su comportamiento con la aplicación de cemento y humedad, también resulta una importante referencia de base para la continuidad de los estudios, a los fines de confirmar o modificar las correlaciones propuestas en el presente trabajo.

Como requerimiento de proyecto, se plantea la necesidad de continuar ampliando los registros de datos respecto de los suelos regionales de la Provincia de Misiones.

5. Agradecimientos

Este trabajo forma parte del proyecto de investigación 16/I359-PI “ESTABILIZACIÓN DE SUELOS MEDIANTE LA INCORPORACIÓN DE CEMENTO Y RESIDUOS DE LA INDUSTRIA MISIONERA”.

Se agradece la colaboración en laboratorio al Ing. Neudeck, Néstor Hugo, responsable del laboratorio de ingeniería civil (LIC).

A la Dirección Provincial de Vialidad (DPV) por el financiamiento de las Becas de Iniciación a la Investigación de los alumnos de la Carrera de Ingeniería Civil.

Por último, se agradece al director del proyecto Dr Ing. Bogado, Gustavo Orlando, y al co-director Ing. Reinert, Hugo Orlando por el apoyo durante todos los meses de ensayos.

6. Referencias

Mengue, E., Mroueh, H., Lancelot, L., & Medjo Eko, R. (2018). Evaluation of the compressibility and compressive strength of a compacted cement treated laterite soil for road application. *Geotechnical and Geological Engineering*, 36(6), 3831-3856.

Portelinha, F. H. M., Lima, D. C., Fontes, M. P. F., & Carvalho, C. A. B. (2012). Modification of a lateritic soil with lime and cement: an economical alternative for flexible pavement layers. *Soils and Rocks, São Paulo*, 35(1), 51-63.

<https://core.ac.uk/download/pdf/78635988.pdf>

Bahmani, S. H., Huat, B. B., Asadi, A., & Farzadnia, N. (2014). Stabilization of residual soil using SiO₂ nanoparticles and cement. *Construction and Building Materials*, 64, 350-359.