

**Evento:** XXVII Seminário de Iniciação Científica - Participante ESTRANGEIRO

**EVALUACIÓN DE LA CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA SATURADA DE  
SUELOS RESIDUALES COMPACTADOS PARA APLICACIONES  
AMBIENTALES<sup>1</sup>**  
**EVALUATION OF THE SATURATED HYDRAULIC CONDUCTIVITY OF  
COMPACTED RESIDUAL SOILS FOR ENVIRONMENTAL APPLICATIONS**

**Matías Gabriel Tkachuk<sup>2</sup>, Piñeyro Verónica Alejandra<sup>3</sup>, Franchini Andrea  
Belén<sup>4</sup>, Reinert Hugo Orlando<sup>5</sup>, Bogado Gustavo Orlando<sup>6</sup>, Carlos Schvezov**

7

<sup>1</sup> Proyecto de investigación. Código 16/I157. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de Misiones (UNaM). Argentina.

<sup>2</sup> Becario de grado. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de Misiones. Argentina. matiastkachuk@gmail.com

<sup>3</sup> Becario de grado. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de Misiones. Argentina. Verónica.alejandra.93@gmail.com

<sup>4</sup> Becario de grado. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de Misiones. Argentina. Andreabelen30@gmail.com

<sup>5</sup> Docente Investigador. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de Misiones. Argentina. hugoreinert@gmail.com

<sup>6</sup> Docente Investigador. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de Misiones. Argentina. gustavobogado@fio.unam.edu.ar

<sup>7</sup> Investigador CONICET. Instituto de Materiales de Misiones, CONICET

**Introducción:**

Los suelos compactados son utilizados en diversas aplicaciones en la ingeniería geotécnica. Una de ellas es para barrera de retención y/o remoción de contaminantes para bases y cubiertas de rellenos sanitarios. Para ello es indispensable que la barrera posea diferentes propiedades particulares, entre ellas, una conductividad hidráulica baja para evitar la percolación de los contaminantes generados en el relleno sanitario hacia cauces y acuíferos. En este artículo se describen ensayos experimentales realizados en la FIO sobre mediciones de conductividad hidráulica en suelos residuales compactados ubicados en la provincia de Misiones. El objetivo final es analizar la aptitud de los suelos residuales para utilizarlos en barreras de rellenos sanitarios y que los mismos cumplan con los requerimientos de las normas internacionales.

**Metodología:**

Los suelos utilizados para el análisis estaban disponibles en el "Laboratorio de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería", provenientes de búsquedas de campo, en la ciudad de Oberá. Estos suelos cuentan con los ensayos de caracterización (límites de Atterberg -IRAM 10501-2007-, Granulometría por tamizado vía húmeda -IRAM 10507-1986-, y Clasificación de Suelos -IRAM 10509-1982-), como así también ensayos Próctor normal (Tipo I), Próctor normal alternativa B (Tipo III) -IRAM 10511-1972- y ensayo de compresión Triaxial -IRAM 10529-1985-, dado que los

**Evento:** XXVII Seminário de Iniciação Científica - Participante ESTRANGEIRO

mismos son utilizados en el marco del proyecto de investigación “Estudio del Comportamiento Geomecánico de Suelos Residuales Lateríticos”.

De los ensayos Próctor se obtienen los datos de densidad seca máxima a la humedad óptima desde donde se parte el análisis.

Designación	Descripción	Procedencia	Clasificación SUCS	L.L	L.P	I.P	Pasa #200	Energía Proctor tipo	Humedad óptima	Densidad Seca
FI010	Suelo Laterítico	Parque Termal – Oberá, Misiones	ML	49,45	35,15	14,3	0,968	I	29,0%	1,48
								III	28,0%	1,51
FI011	Suelo Laterítico	Reserva Ecológica “El Chachí” – Oberá, Misiones	MH	56,98	44,6	12,4	0,967	I	32,5%	1,39
								III	31,5%	1,42

Tabla N°1: Muestras de Suelo utilizadas.

Se confeccionaron permeámetros (0,75 dm<sup>3</sup> de capacidad de suelo), con caños de PVC 110 mm y en ellos se compactó, cada suelo, a energías diferentes (Figura 1). Para esto, el método de compactación utilizado, se tomó como referencia la Norma (IRAM 10511-1972) realizando algunas modificaciones, debido a que el volumen del permeámetro difiere al del molde especificado por la misma (0,94dm<sup>3</sup>). A cada muestra se compactó en cuatro capas iguales con un pisón normalizado (2500 gr de masa y 50mm de diámetro) a una altura de caída de 160mm. La discrepancia entre métodos consiste en que para el Método normal se aplicaron 28 golpes por capa y en la alternativa B 39 golpes.

Una vez compactado el suelo se armaron las probetas poniendo en cada extremo una capa de arena fina y seguidamente una capa de arena gruesa, luego se colocó una malla de abertura N 10 para formar un filtro. Posteriormente se taparon las probetas y se sellaron con silicona líquida. Finalmente, pasadas las 24hs, se los insertó en un banco de ensayos, donde se generó la circulación de agua destilada a través de los mismos por medio de mangueras transparentes y se midieron las diferencias de alturas en las columnas de carga, para luego determinar la conductividad hidráulica saturada según el ensayo a carga variable conformemente a la Norma (ASTM D 5856), cuyos resultados fueron evaluados a razón de la siguiente fórmula:

$$k = \frac{aL}{At} \ln \left( \frac{h1}{h2} \right) = 2,3 \frac{aL}{At} \log \left( \frac{h1}{h2} \right)$$

Dónde:

**k:** coeficiente de conductividad hidráulica (cm/seg.); **a:** Sección de tubo alimentador (cm<sup>2</sup>); **L:** Altura de muestra (cm); **A:** Sección de muestra (cm<sup>2</sup>); **t:** tiempo de ensayo (seg.); **h1:** carga hidráulica inicial (cm); **h2:** carga hidráulica final (cm)

**Evento:** XXVII Seminário de Iniciação Científica - Participante ESTRANGEIRO



Figura 1: Fotografia banco de ensayo.

### Resultados y discusiones:

En los gráficos mostrados a continuación se puede apreciar que el valor del coeficiente de conductividad en las probetas, tanto de la muestra FI010 como FI011, tardan aproximadamente de 25 a 30 días en estabilizar a un valor.

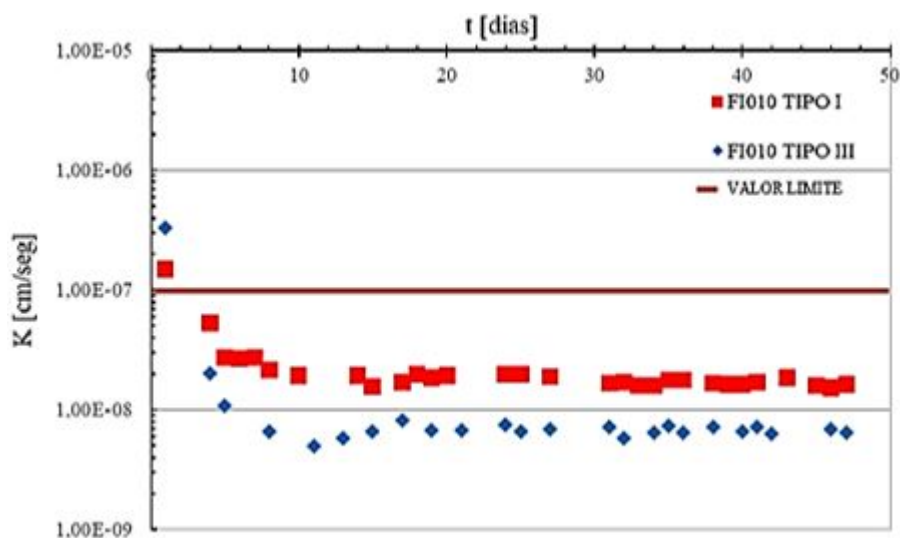


Figura 2: Muestra FI010. Permeabilidad [cm/seg] vs. tiempo [días]

**Evento:** XXVII Seminário de Iniciação Científica - Participante ESTRANGEIRO

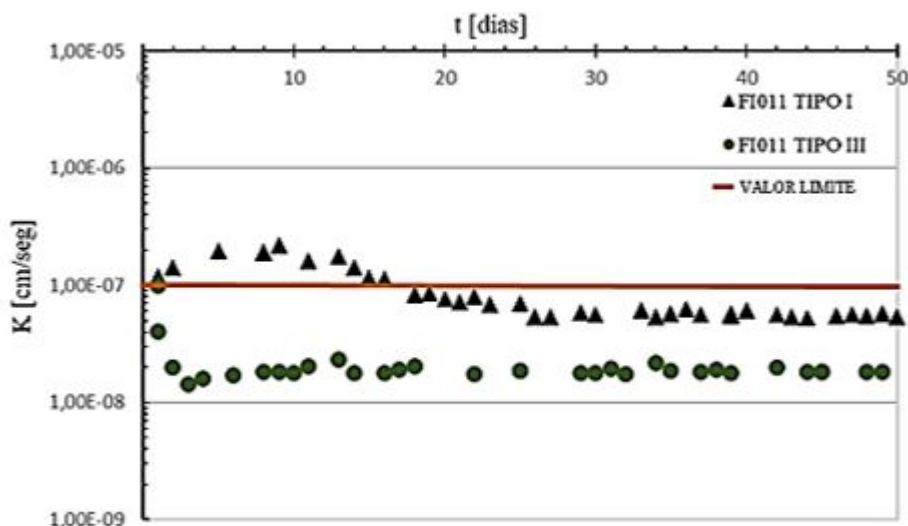


Figura 3: Muestra FIO11. Permeabilidade [cm/seg] vs. tiempo [días]

Asimismo, se observa que, a mayor energía de compactación, menor es el valor del coeficiente de conductividad hidráulica. Esto se debe a que, al aumentar la energía de compactación, se disminuye el espacio ocupado por los vacíos, teniendo como resultado una estructura menos porosa a expensas de un mayor gasto de energía.

También podemos ver que para la muestra FIO10 (Limo de baja plasticidad), el suelo tiende a ser menos permeable que la muestra FIO011 (Limo de alta plasticidad).

En la Tabla N°2, se presentan los valores del coeficiente de conductividad hidráulica de los ensayos a carga variable.

Designación	Energía Próctor Tipo	Coef. conductividad hidráulica k (cm/seg)
FIO10	I	1,88E-08
	III	6,98E-09
FIO11	I	5,12E-08
	III	1,92E-08

Tabla N°2: Resultados de coeficiente de conductividad hidráulica.

**Consideraciones finales:**

En general, podemos notar que en las muestras analizadas, ambos suelos son aptos para uso como material base de rellenos sanitarios, ya que el valor de coeficiente de conductividad hidráulica se encuentra por debajo del límite ( $k = 1,00E-07$  cm/seg) establecido por normativas internacionales. Además, se observa que al aumentar la energía de compactación el suelo se hace menos permeable, por lo cual se ajusta mejor a las especificaciones.

**Evento:** XXVII Seminário de Iniciação Científica - Participante ESTRANGEIRO

Se destaca la importancia de seguir estudiando la conductividad hidráulica de estos suelos con diferentes fluidos para analizar sus respuestas frente a éstos.

**Palabras claves:** coeficiente de conductibilidad hidráulica; permeabilidad; humedad óptima; densidad seca máxima; relleno sanitario.

**Keywords:** hydraulic conductivity coefficient; permeability; optimum humidity; maximum dry density; landfill

**Agradecimientos:** Se agradece al Dr Franco Francisca por los comentarios realizado en la publicación.

**Referencias:**

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.

Norma IRAM 10503 " Método de determinación de la densidad relativa de los sólidos y de la densidad de los sólidos de un suelo " - 2007.

Norma IRAM 10507 " Método de determinación de la granulometría por tamizado mediante vía húmeda " - 1986.

Norma IRAM 10509 "Clasificación de los suelos, con propósitos ingenieriles " - 1982.

Norma IRAM10511 "Método de ensayo de compactación en laboratorio"- 1972

ASTM D 5856, 2002b. "Standard test method for measurement of hydraulic conductivity of porous material using a rigid-wall, compaction-mold permeameter".

SW-846 Test Method 9100 "Saturated Hydraulic Conductivity, Saturated Leachate Conductivity, and Intrinsic Permeability"

SW-925 "Soil Properties, Classification, and Hydraulic Conductivity Testing"