



Variación de la Conductividad Hidráulica de Suelos Lateríticos Residuales considerando diferentes fluidos

Burtnik, Anahí B. ^{a*}, Franchini, Andrea B. ^a, Reinert, Hugo O ^b, Bogado, Gustavo O. ^c.

^a *Integrante del Proyecto, Becaria de Grado, Estudiante de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Misiones (UNaM), Oberá, Misiones, Argentina.*

^b *Director del Proyecto, Ingeniero Civil, Docente Departamento de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Misiones (UNaM), Oberá, Misiones, Argentina.*

^c *Co-director del Proyecto, Ingeniero Civil, Docente Departamento de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Misiones (UNaM), Oberá, Misiones, Argentina.*

e-mails: anahi.burtnik@gmail.com, andreabelen30@gmail.com, gustavobogado@fio.unam.edu.ar, reinert@fio.unam.edu.ar

Resumen

La compactación del suelo es un procedimiento cuyos resultados tienen diversas aplicaciones geotécnicas. La reducción de la relación de vacíos lograda por efectos de la misma, mejora variedad de propiedades del suelo, siendo una de ellas la disminución de la conductividad hidráulica. En este artículo se describe la metodología empleada para la confección de permeámetros de carga variable, presentándose los resultados de las mediciones llevadas a cabo entre los 170 y 320 días de lectura corrida realizada en muestras de suelo regional. Se evidencia de ello las diferencias en el comportamiento hidráulico de los suelos lateríticos compactados frente a dos líquidos sustancialmente distintos: agua y lixiviado. Los resultados obtenidos constituyen las primeras mediciones realizadas en la región, lo que significa un importante aporte para el conocimiento geomecánico e hidráulico de los suelos colorados regionales.

Palabras Clave – Agua, Energía de compactación; Humedad ideal; Lixiviado, Permeabilidad; Permeámetro; Relleno Sanitario.

1. Introducción

El conocimiento de las características de los suelos residuales disponibles en la provincia de Misiones es de suma importancia para poder explotarlos en diversas áreas con un adecuado tratamiento mecánico. En este trabajo se expone una parte de los resultados que pueden recopilarse de años de trabajo en el Laboratorio de Ingeniería Civil con suelos de la zona, teniendo como objetivo la optimización de las condiciones medioambientales relacionadas con los residuos sólidos urbanos.

El presente artículo se enmarca en un proyecto de investigación que busca sentar las bases para el uso de los suelos misioneros como barreras en rellenos sanitarios. Para poder utilizarlos para tal fin, es indispensable que la barrera posea ciertas propiedades particulares, entre ellas, una baja conductividad hidráulica para evitar la percolación de los contaminantes generados en el relleno sanitario hacia cauces y acuíferos. Es por ello que uno de los fluidos sobre los cuales se estudia el

comportamiento del suelo es el lixiviado, que es un líquido residual, generalmente tóxico, que contiene compuestos procedentes de los procesos de degradación de los residuos.

El objetivo principal es el de determinar la conductividad hidráulica de los suelos lateríticos, al comparar el comportamiento hidráulico de los mismos con dos fluidos: agua y lixiviado. Esto permite relacionar los datos obtenidos con los límites de conductividad hidráulica planteados en normativas internacionales para dicho uso.

2. Materiales y metodología

2.1 Materiales utilizados

Las muestras de suelo que se utilizaron para el moldeo de las probetas en permeámetro han sido caracterizadas conforme los ensayos de referencia (Límites de Atterberg -IRAM 10501-2007-, Granulometría por tamizado vía húmeda -IRAM 10507-1986-, Clasificación de Suelos -IRAM 10509-1982- y ensayos Próctor normal (Tipo I) y Próctor normal alternativa B (Tipo III) IRAM 10511) en el marco del proyecto de investigación “Estudio del Comportamiento Geomecánico de Suelos Residuales Lateríticos”.

Estos geomateriales, fueron tomados en campo en la ciudad de Oberá, y están disponibles en el “Laboratorio de Ingeniería Civil (LIC)” de la Facultad de Ingeniería. En las Tablas 1 y 2 se exponen los resultados de los ensayos detallados.

Tabla 1: Caracterización de las muestras de suelo (Propiedades Índice)

Designación	Descripción	Procedencia	LL	LP	IP	Clasificación SUCS	Pasa tamiz #200
FI010	Suelo laterítico	Parque Termal – Oberá, Misiones	49,5	35,2	14,3	ML	0,968
FI011	Suelo laterítico	Reserva Ecológica “El Chachí”, Oberá, Misiones	57,0	44,6	12,4	MH	0,967

Tabla 2: Caracterización de las muestras de suelo (Propiedades Mecánicas)

Designación	Descripción	Procedencia	Próctor tipo	Densidad Seca Máxima	Humedad Óptima
FI010	Suelo laterítico	Parque Termal – Oberá, Misiones	I	1,48gr/cm ³	29,0%
			III	1,51gr/cm ³	28,0%
FI011	Suelo laterítico	Reserva Ecológica “El Chachí”, Oberá, Misiones	I	1,39gr/cm ³	32,5%
			III	1,42gr/cm ³	31,5%

2.2 Preparación de las muestras

La preparación de las muestras comienza con la medición de la humedad inicial de la muestra a utilizar, para después adaptarla a la humedad requerida para el ensayo. En caso de que la humedad base se encuentre por debajo de la requerida, se procede a añadir agua paulatinamente hasta alcanzar el punto necesario. De manera distinta se procede si la humedad inicial es mayor, debiéndose secar la muestra el tiempo necesario para luego le adicionar la cantidad de agua definida para obtener el valor requerido.

Para garantizar la uniformidad de la humedad, se deja estacionar el suelo en bolsas cerradas cada vez que se lo manipule, por al menos por 24 horas, definiendo esto como maceración, que resulta en la uniformidad de humedad del suelo trabajado.

Se han realizado permeámetros tanto para la humedad óptima de la curva Densidad-Humedad (según la muestra y el tipo de compactación), como para puntos de la rama seca y húmeda.

Se debe preparar aproximadamente 1600gr de suelo pasante del tamiz #4 (4,75mm) para cada permeámetro. Como se trabaja con probetas mellizas o gemelas, se preparan dos puntos de iguales características por vez.

Los siguientes gráficos muestran la relación Humedad-Densidad (H-D) de los ensayos Próctor tipo I y tipo III realizados para las dos muestras de suelo en análisis, bajo los lineamientos de la Norma IRAM 10511-1972, “Método de ensayo de compactación en laboratorio”. El punto de la cresta de cada curva suavizada da el valor de la Humedad Óptima (abscisas) y de la Densidad Seca Máxima (ordenadas), cuyos valores están tabulados en la Tabla 2.

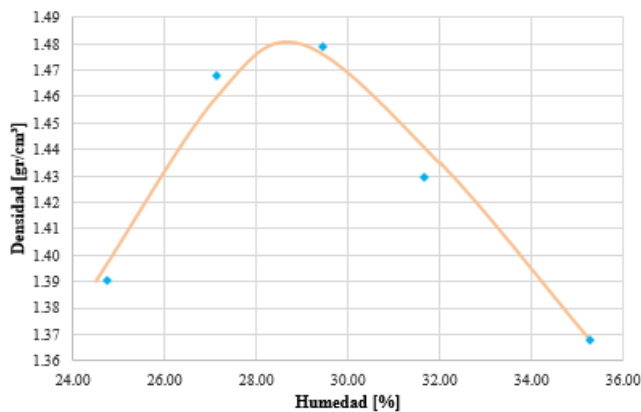


Figura 1 (a): Curva H-D FI010 - Próctor tipo I

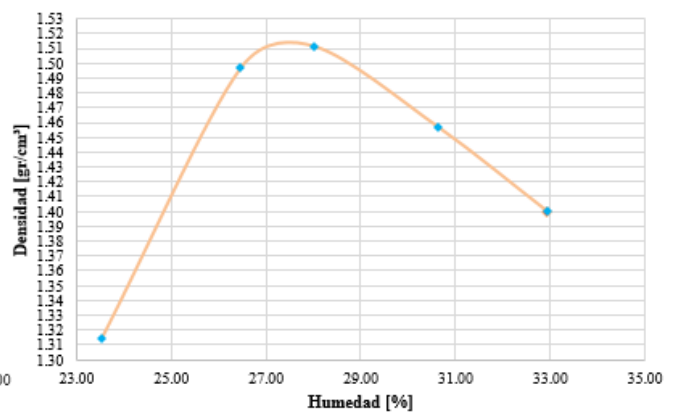


Figura 1 (b): Curva H-D FI010 - Próctor tipo III

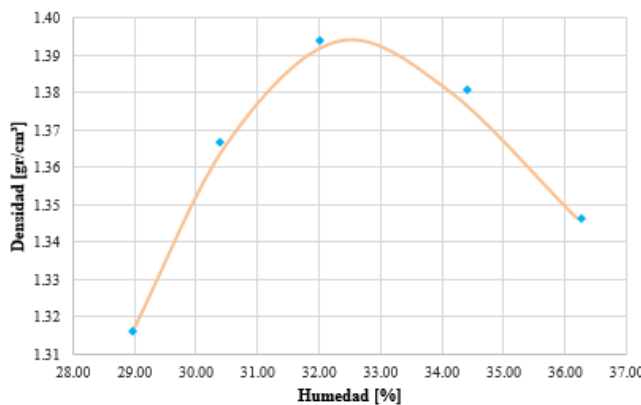


Figura 2 (a): Curva H-D FI011 - Próctor tipo I

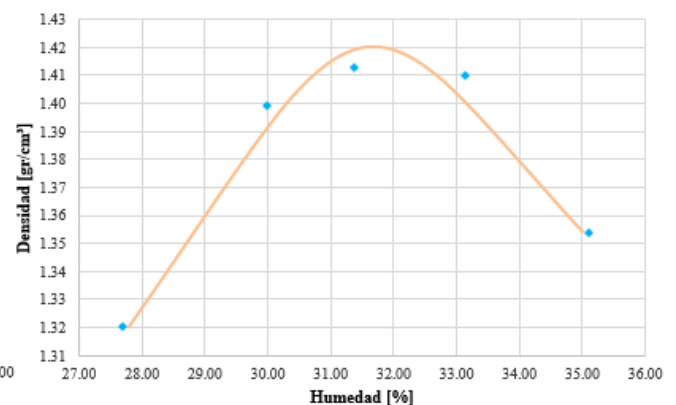


Figura 2 (b): Curva H-D FI011 - Próctor tipo III

2.3 Armado de la probeta

Para la compactación se toma como referencia la Norma IRAM 10511, pero como las probetas no se materializan en el molde indicado ni con las dimensiones requeridas, se ajusta la cantidad de golpes y cantidad de capas, para garantizar la energía por unidad de volumen asociada al tipo de Ensayo Próctor de referencia:

- Para Próctor tipo I: 4 capas con 28 golpes del pisón de 2,54 kilogramos en cada una.
- Para Próctor tipo III: 3 capas con 39 golpes del pisón de 2,54 kilogramos en cada una.



Figura 3: Suelo compactado en probeta de PVC

Para evitar la pérdida de suelo, una vez hecha la compactación de todas las capas, en los extremos de las probetas de suelo se genera cierta rugosidad y se coloca un filtro de arena de dos granulometrías (mediana y gruesa) hasta enrasar el permeámetro. Asimismo, antes de cerrar la probeta se coloca una malla de PVC n°10 en toda la superficie, y se refuerza en la zona de los picos.



Figura 4 (a): Filtro de arena capa 1

Figura 4 (b): Filtro de arena capa 2

Figura 4 (c): Malla PVC

Para terminar con la etapa de moldeo, se colocan las tapas y se sella la unión con silicona para prevenir filtraciones.



Figura 5: Sellado de probeta

2.4 Colocación en banco de ensayos y mediciones

Los permeámetros son colocados en un banco de ensayos con la manguera conectada en la parte inferior de la probeta, de manera que el flujo sea ascendente. Las mangueras se fijan a una altura de 1,50m del banco, se coloca una regla milimetrada con el nivel 0,00 en este punto y se cargan con agua.

En la toma de mediciones, que es llevada a cabo dos o tres veces por semana, se registra en una planilla para cada probeta, cuánto ha sido el descenso del fluido y la fecha y hora de la medición. Además, en caso de que haya bajado por debajo de la regla, se vuelve a recargar hasta el nivel 0,00 y se registra el cambio de altura de la misma.

Cuando las probetas entran en régimen, lo cual para el período mostrado se podría considerar cumplidas, es decir, que las lecturas de permeabilidad versus tiempo se mantienen aproximadamente constantes, se realiza en una de las probetas gemelas el reemplazo del agua por el lixiviado, el cual se ha obtenido de un relleno sanitario de la Provincia de Misiones.

En la Figura 6 se observa el banco de ensayos del Laboratorio, donde se aprecia un importante número de ensayos en desarrollo, los cuales se encuentran todos en proceso, pero en etapas diferentes de duración de permeado por líquido agua o lixiviado.

En dichos ensayos se tienen suelos de otros sitios de estudio, cuyos resultados no son publicados en el presente artículo.



Figura 6: Banco de ensayos. Foto de Permeámetros (Agua y Lixiviado)

2.5 Procesamiento de datos

Los datos tomados en las planillas se vuelcan a una planilla de cálculo computarizada, para un mejor procesamiento de los datos en gabinete.

El coeficiente de permeabilidad “k” del suelo se determina mediante la ecuación (1), utilizada en permeámetros de carga variable.

$$k = 2,303 * \frac{a * L}{A * t} * \log_{10} \frac{h_1}{h_2} \quad (1)$$

Donde: “a” es el diámetro de la manguera; “h1” la distancia desde el banco de ensayo hasta el nivel 0,00 de la regla; “h2” la altura hasta la salida de la probeta; “t” el tiempo transcurrido; “A” el área de la muestra de suelo; y “L” la altura de la misma.

Una vez que los valores de conductividad se mantienen constantes, se registra la entrada en régimen de la probeta y los valores hallados reflejan la permeabilidad del suelo con agua. Luego de que las probetas alcanzan este estado, se reemplaza el agua por lixiviado en una gemela de cada tipo.

En artículos previos realizados en el marco del mismo proyecto de investigación, se ha demostrado que las probetas de ambas muestras de suelo tardan aproximadamente de 25 a 30 días en entrar en régimen; y que, para una misma muestra, este tiempo no varía significativamente con la energía de compactación (tipo I y III), a comparación de la conductividad hidráulica.

3. Resultados

Se exponen en la Tabla 3 los resultados obtenidos para las muestras FI010 y FI011 a Humedad Óptima, con una compactación Próctor tipo III, y se contrasta el comportamiento de la conductividad hidráulica en la masa de suelo del agua y del lixiviado.

Tabla 3: Coeficientes de permeabilidad “k” promedio

Designación	Coeficiente “k” promedio		Permeabilidad límite (UESPA (1995))
	con agua	con lixiviado	
FI010	6,3263E-09 cm/seg	4,8087E-09 cm/seg	1,0000E-07 cm/seg
FI011	2,5822E-08 cm/seg	7,4701E-09 cm/seg	1,0000E-07 cm/seg

En las Figuras 7 y 8 se pueden observar dichos valores y la comparación.

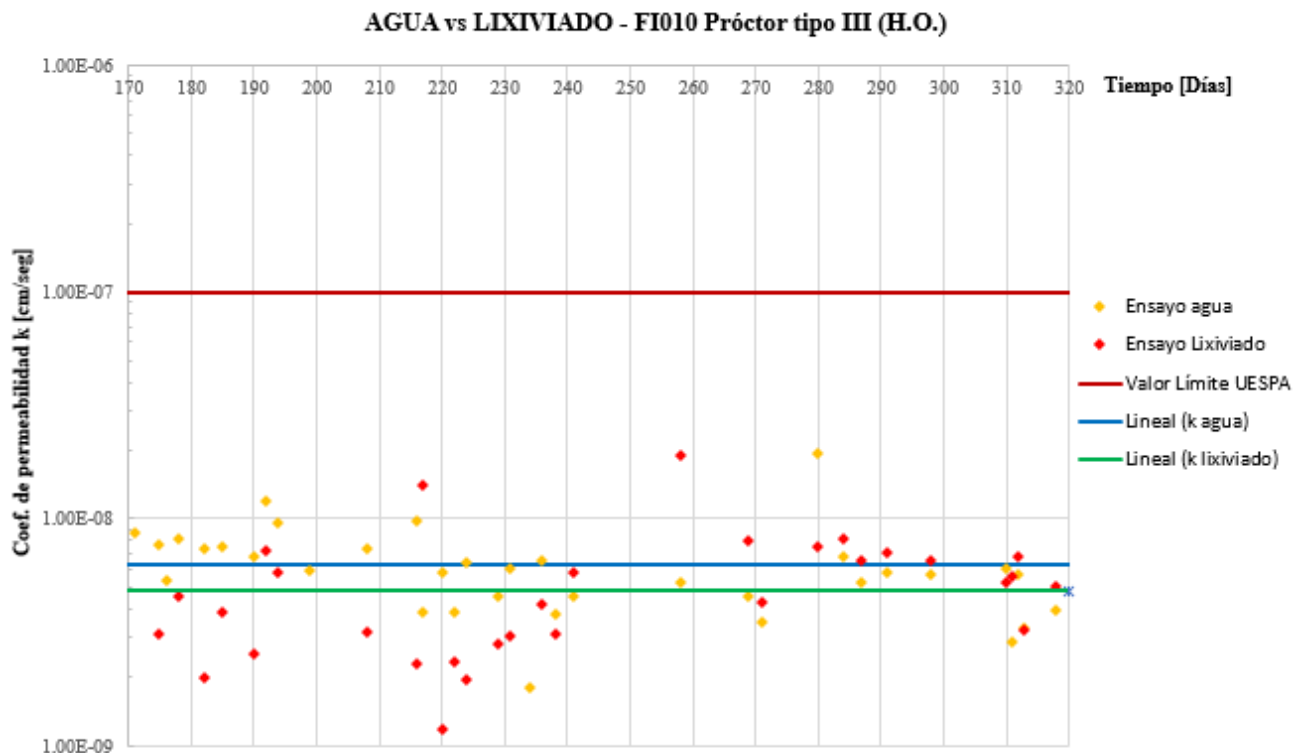


Figura 7: Comportamiento Hidráulico Agua vs Lixiviado FI010, Próctor tipo III a Humedad óptima

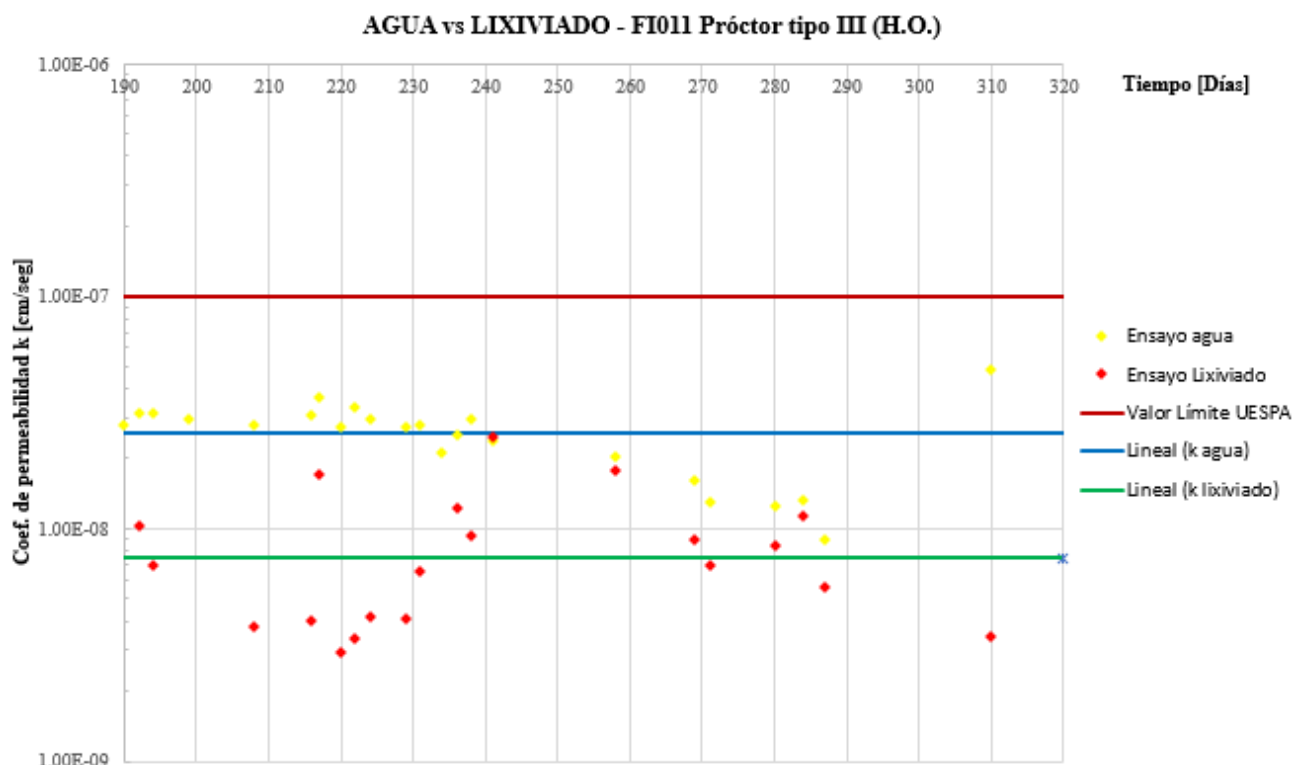


Figura 8: Comportamiento Hidráulico Agua vs Lixiviado FI011, Próctor tipo III a Humedad óptima

Es apreciable la disminución en la conductividad hidráulica que presenta cada probeta gemela cuando se trata de lixiviado, lo cual puede deberse a una mayor viscosidad de este fluido respecto del agua, ya que el mismo se compone en gran medida de materiales orgánicos.

Además, para el tipo de compactación y humedad empleadas, las probetas presentan valores de coeficiente de conductividad hidráulica promedio “k” menores a los límites establecidos por las normativas internacionales (UESPA 1995, k límite = 1,00 E-7 cm/seg) para el uso de suelos como barreras de rellenos sanitarios.

Por otro lado, realizando la comparación entre ambas muestras de suelo se puede observar un mejor comportamiento hidráulico de la FI010, tanto para la conductividad de agua como para la de lixiviado.

4. Conclusiones

Como primera observación, se destaca el hecho de que los análisis realizados deberían replicarse en una mayor cantidad de muestras de suelo, preferentemente extraídas de diferentes puntos de la provincia, para contar con una fuente de datos cada vez más representativa del suelo de la región. Por otra parte, se debe tener en cuenta que estos ensayos fueron realizados con circulación de agua y lixiviado en probetas, en condiciones de laboratorio, y que los mismos deberán ser reproducidos en condiciones reales para obtener datos más certeros.

Por otra parte, también sería interesante la evaluación del comportamiento de ambos fluidos cuando se trabaja a distintas humedades y/o energías de compactación.

Asimismo, un análisis de las composiciones químicas tanto del lixiviado antes y después del paso por el permeámetro, como del suelo empleado una vez finalizados los ensayos, sería de gran utilidad

para determinar los agentes contaminantes que podrían llegar a filtrarse en el suelo, así como el grado de contaminación alcanzado en el mismo.

Para concluir, se destaca que los valores de permeabilidad a los que se llega son menores a los mínimos establecidos en las normas, por lo que se estima que la solución propuesta podría presentar un comportamiento eficiente para su uso en barreras de rellenos sanitarios.

5. Agradecimientos

Este trabajo forma parte del proyecto de investigación 16/I157 “Comportamiento Hidromecánico De Suelos Residuales Compactados Para Su Empleo En Barreras De Rellenos Sanitarios”, por lo que se agradece a todo el equipo de trabajo que contribuye al desarrollo de las actividades.

6. 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 10503 " Método de determinación de la densidad relativa de los sólidos y de la densidad de los sólidos de un suelo " - 2007.
- [3] Norma IRAM 10507 " Método de determinación de la granulometría por tamizado mediante vía húmeda " - 1986.
- [4] Norma IRAM 10509 "Clasificación de los suelos, con propósitos ingenieriles " - 1982.
- [5] Norma IRAM10511 “Método de ensayo de compactación en laboratorio”- 1972.
- [6] ASTM D 5856, 2002b. “Standard test method for measurement of hydraulic conductivity of porous material using a rigid-wall, compaction-mold permeameter”.
- [7] SW-846 Test Method 9100 “Saturated Hydraulic Conductivity, Saturated Leachate Conductivity, and Intrinsic Permeability”.
- [8] SW-925 “Soil Properties, Classification, and Hydraulic Conductivity Testing”.
- [9] Franchini, Andrea B. et al.: “Comparación entre la conductividad hidráulica de suelos residuales, utilizando agua versus lixiviado” - XXVIII Seminário de Iniciação Científica, 2020.
- [10] Piñeyro, Verónica A. et al.: “Influencia de la compactación en la conductividad hidráulica saturada de suelos lateríticos compactados” - Jornadas de Investigación, Desarrollo Tecnológico, Extensión, Vinculación y Muestra de la Producción, 2019.
- [11] Tkachuk, Matías G. et al.: “Variación de la conductividad hidráulica en suelos residuales compactados según parámetros de compactación” - Jornadas de Investigación, Desarrollo Tecnológico, Extensión, Vinculación y Muestra de la Producción, 2020.