XXII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica
XI Simpósio Brasileiro de Engenheiros Geotécnicos Jovens
24 a 28 de agosto de 2026 – Brasília/DF
DOI: 10.47094/COBRAMSEG2026.6/80

Conductividad hidráulica en campo y laboratorio: ensayos en Libertad Clay-Uruguay

Marcos Musso 1
Prof.Adjunto, Dto. Ing. Geotécnica - Fac. De Ingeniería - UdelaR, Montevideo, Uruguay, mmusso@fing.edu.uy

RESUMEN:
Existen diferencias entre los valores de conductividad hidráulica determinadas en laboratorio y en campo. En laboratorio las condiciones de están controladas: volumen de la muestra a ensayar, agua destilada, temperatura controlada. En cambio en campo existen variables como suelo no saturado, mayor volumen ensayado, condiciones de clima no controladas (temperatura, lluvia). En los 80´s y 90´s Keller et al. (1989), Fortin et al. (1991), Klint (2009) determinan que existen diferencias de conductividades hidráulicas cuando se mide en campo y laboratorio. Plantean los conceptos de conductividad hidráulica Matricial (KM) y conductividad hidráulica Total (KT), mostrando que esa diferencia puede ser explicada por macroporos como grietas de desecación, hueco de raíces, cuevas de animales, entre otros. En Uruguay, desde 2016 se investigan las propiedades hidráulicas de Libertad Clay considerada como "impermeable" y está compuesta por suelos limo arcillosos y arcillosos generados durante el Cuaternario con aportes de loess y de ceniza volcánica. Los ensayos de laboratorio confirmaron las características composicionales similares a los antecedentes, así como la baja conductividad hidráulica medida en laboratorio (< 10^{-9} m/s). Sin embargo mediante ensayos de infiltración en pozo se determinaron valores 100 a 1000 veces mayores.

PALAVRAS-CHAVE: Conductividad hidráulica matricial KM, Conductividad hidráulica total KT, Libertad Clay-Uruguay

ABSTRACT:
There are differences between hydraulic conductivity measure in laboratory and field. In laboratory, it is knowed sample volume, water and temperature. However in field test soil has large volume and it is unsatured, and unconrolled weather condition as rain and temperature. In 80's and 90´some researches show values differensces between field and laboratory hydraulic conductivity test and they propuse intergranular and yielded hydraulic conductivity, KM and KT respectivility (Keller et al. 1989; Fortin et al. 1991; Klint 2009). This differences are generating by fissures, macropores, among others. In Uruguay since 2016 Libertad Clay hydraulic properties are researched. This quaternary soil is "impermeable" compouse by silty clayey and clay with loess and volcanic ash. Laboratory test value show low hydraulic conductivity (< 10^{-9} m/s) but field tests show 100 to 1000 higher values than laboratory test.

KEYWORDS: Intergranular hydraulic conductivity KM, yielded hydraulic conductivity KT. Libertad Clay, Uruguay.

1 INTRODUCCIÓN

Las propiedades hidráulicos de los suelos son generalmente evaluadas en condiciones de laboratorio, em muestras indeformadas o compacadas. En el caso de los suelos finos es común usar los parámetros de compactación obtenidos em el ensayo proctor (energía normal o modificada). Considerando suelos finos conteniendo más de 25 % de arcilla, la conductividad hidráulica que se mide generalmente es menor a 10^{-9} m/s, valores exigidos por muchas legislaciones ambientales para barrera de arcilla de fondo de rellenos sanitarios, laguna de tratamiento de efluentes, represas de residuos de minería.

En cambio cuando se mide en campo hay varios métodos que evalúan en diferentes profundidades "*in situ*". El sistema de doble anillo mide de forma superficial la infiltración para determinar la permeabilidad.

El método que usa el sistema de frasco de Mariotte (conocido como ensayo Guelph) evalúa la infiltración en varias profundidades, tanto en condición no saturada como saturada. En ambos casos se realiza desde la superfície y sólo necesita medirse volumen de agua infiltrado y tiempo transcurrido. El ensayo de infiltración en pozo como el propuesto por Zangar (1953) permite medir tanto en condición no saturada como saturada, pero en el caso de la condición no saturada es necesario conocer profundidad del nivel freático así como cumplir com algunos requisitos de geometria del ensayo que involucra: diámetro del pozo, distancia del fondo del pozo al nivel freático, longitud del pozo, área filtrante.

Desde hace varias décadas que se observa la diferencia entre los valores de conductividad hidráulica de laboratorio y de campo, por lo cual se considera que se están midiendo "conductividades hidráulicas diferentes". En el caso de los ensayos de laboratorio se mide conductividad hidráulica matricial (KM) y em los ensayos de campo conductividad hidráulica total KT (Keller et al. 1989). Usando estos conceptos vários investigadores encontraron que los valores de KT son 100 a 1000 veces mayor que los valores de KM.

En este trabajo se investigan y analizan los valores de KT y KM de Libertad Clay, un suelo arcilloso que es usado como barrera impermeable em obras de protección ambiental.

2 ANTECEDENTES

Libertad Clay son sedimentos cuaternarios que cubre el acuífero Raigón (sedimentario) en el departamento de San José, extrayéndose agua para actividades agrícolas y abastecimiento de poblaciones. La componen limos arcillosos y arcillas, con niveles decimétricos de loess, de color marrón rojizo y presenta concreciones de carbonato de calcio. El espesor es variable, alcanzado 30 m de espesor (Preciozzi et al. 1985). Tiene pequeña a nula importancia como acuífero por su baja permeabilidad (Heinzen et al. 1986), considerado prácticamente impermeable Carta Geotécnica (1997), sin embargo ensayos de campo de infiltración muestran que pueden existir variaciones y valores mayores a las referencias citadas (Musso et al. 2012, Rodríguez et al. 2017).

3 MATERIALES Y MÉTODOS

Los suelos de Libertad Clay fueron colectados mediante excavación en pozos con profundidades de 3 m (Figura 1), realizando el muestro cada 0,5 m para caracterización en laboratorio mediante clasificación de suelos (ASTM 1988). Las muestras fueron registradas por el número de pozo (P1, P2, etc.) y por la profundidad (1 = 0,5 m; 2 = 1,0 m, etc..), identificándose P1-1, P1-2, etc.. Se extrajeron muestras indisturbadas a 1,0 m y 2,0 m de profundidad para determinar peso específico. El pozo se dejó preparado para hacer los ensayos de infiltración a posteriori.

Los suelos caracterizados (clasificación de suelos y capacidad de intercambio catiónico) usando las normas ASTM (1988) y el método de azul de metileno. Las propiedades hidráulicas en campo se determinaron mediante ensayos de infiltración a carga constante (Azevedo & J. Alburquerque 2013) en el pozo donde se extrajeron las muestras para clasificación. En laboratorio la conductividad hidráulica se determinó a carga constante (ASTM 1988), compactando el suelo en las condiciones de peso específico determinado en las muestras indisturbadas.

4 RESULTADOS

Los suelos analizados están compuestos por arcilla y limo, los cuales sumados representan porcentaje superiores al 85%, el contenido de arena es bajo a veces menor a 5% (Figura 2). Los suelos presentan alta compresibilidad, las arcillas identificadas mediante la capacidad de intercambio catiónico son del grupo de la emectitas o mezclas esmectita-illita (Tabla 1).

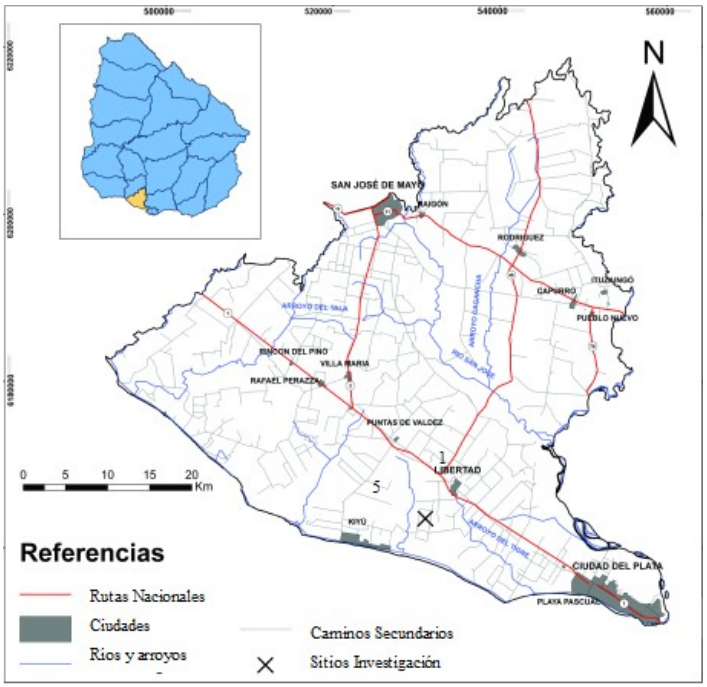


Figura 1. Localización de los Pozos 1 y 5 de investigación.

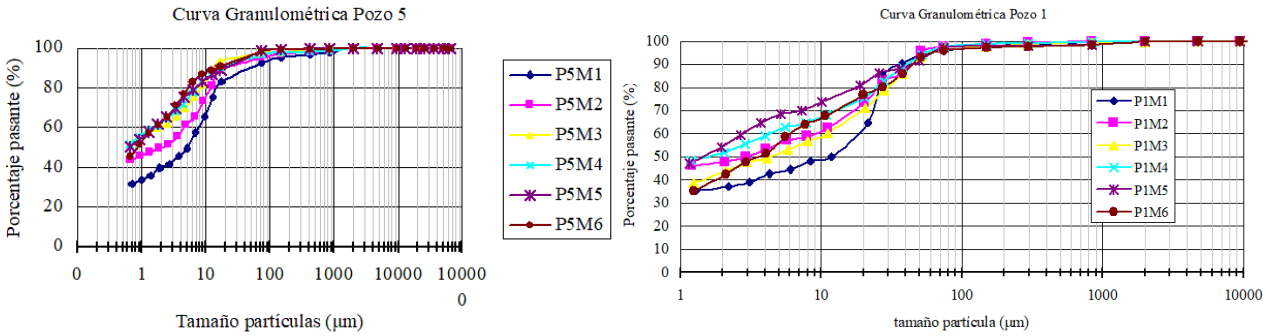


Figura 2 Curvas Granulométricas

Tabla 1. Caracterización de los suelos

Muestra	CIC suelo	Pasante #200	Arcilla	LL	IP	Clasificación
	ph7 (cmol/kg)	(%)	(%)	(%)	(%)	SUCS
P1-1	30	98	36	45	21	CL
P1-2	36	99	48	54	28	CH
P1-4	30	99	51	65	39	CH
P1-6	34	97	42	58	27	MH
P5-1	sd	95	40	44	22	CL
P5-2	21,8	96	50	53	29	CH
P5-3	sd	98	60	56	35	CH
P5-4	26,8	97	62	69	41	CH
P5-5	sd	99	63	73	39	MH
P5-6	33,2	99	62	45	21	CL

En los valores de los ensayos de conductividad hidráulica en laboratorio se observan bajos valores, menores a 10-9 m/s (Figura 3), verificándose lo identificado por outros investigadores para los suelos de

Libertad Clay.

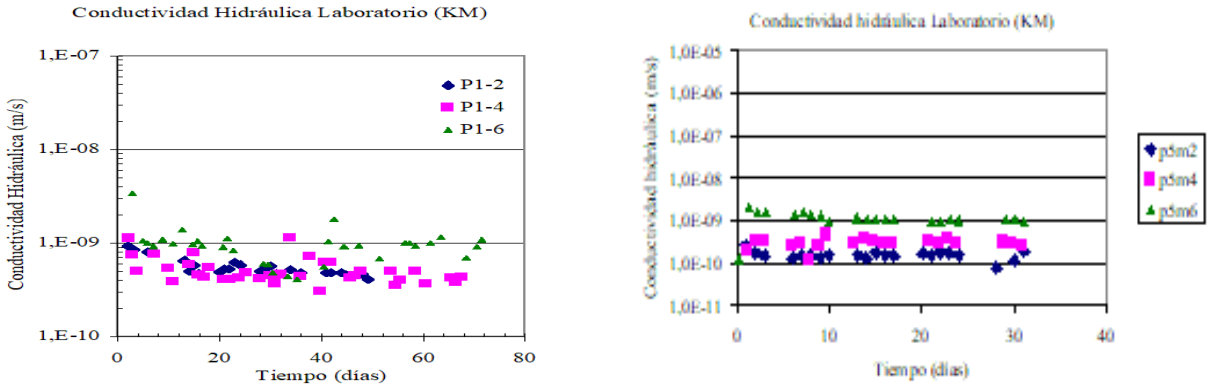


Figura 3 Conductividad hidráulica en laboratorio - KM

En cambio los valores de los ensayos de infiltración en pozo son 100 a 1000 veces mayores que los obtenidos en labortorio.

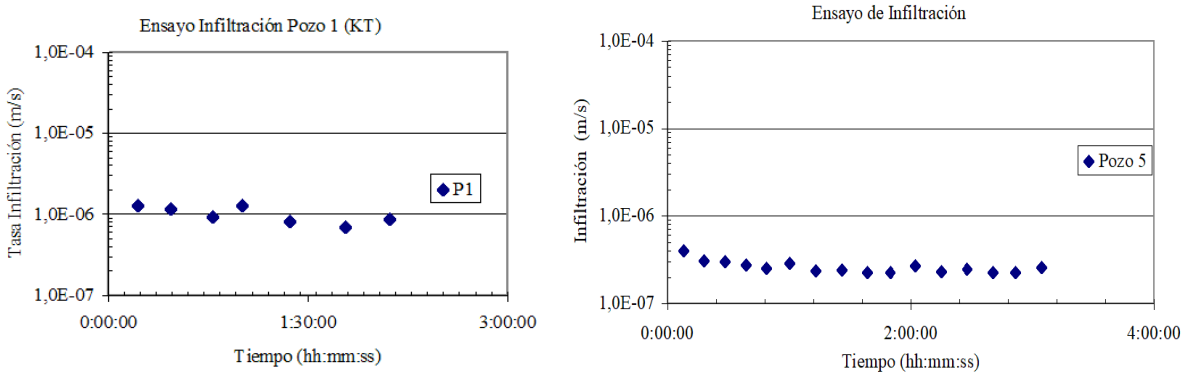


Figura 4 Conductividad hidráulica en campo - KT

En los ensayos realizados se verifica que los suelos estudiados tiene compartamiento similares a los estudiados por Keller et al. (1989) y otros investigadores en acuitardos. La diferencia entre los ensayos de laboratorio muestra la necesidad de considerar 2 clases de conductividades hidráulicas (matricial en laboratorio, total en campo). El alto contenido de arcilla en los suelos finos, mayor a 35%, no garantiza que en campo, en condiciones naturales, se puedan obtener bajos valores de conductividad hidráulica.

5 CONCLUSIONES

Libertad Clay esta constituida por suelos finos, conteniendo más de 35 % de arcilla., fundamentalmente esmectita. Los valores de KM están dentro del rango esperado de baja permeabilidad para suelos finos compactados. Sin embargo los valores obtenidos enm campo son valores 100 a 1000 veces mayores.Esta diferencia puede atribuirse a caminos preferenciales como grietas, macroporos que no se tiene em muestras d elaboratorio compactadas.
Para proyecto de ingeniería donde la estanquiedad es necesaria suelos arcillos “in situ” pueden no presentar las condiciones de muy baja permeabilidad exigidas. Ensayos de campo deben ser realizados para verificar comportamiento hidráulico.

AGRADECIMIENTOS

A los dueños de los predios por permitir el acceso y soporte para los ensayos de infiltración, A la ANII por financiar la investigación con el Fondo María Viñas **FMV-2014-104174-ANII-Uruguay**.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

A. Azevedo & J. Alburquerque (Ed) *Ensaio de Permeabilidade em Solos - Orientações para sua execução no campo.* ABGE , Sao Pablo-SP-2013

ASTM (1988) *Standart methods*. *Annual Book of Standards* – Soil and Rock, Building Stones, Section 4, V.04.08, ASTM Publication, Philadelphia, USA.

Fortin et al. (1991) *Hydrogeology and hydrochemistry of an aquifer-aquitard system within glacial deposits,Saskatchewan, Canada.* Journal of Hydrology, 126 (1991) 265-292.

Heinzen, W; Velozo, C.; Carrión, R.; Cardozo, L.; Mandracho, H.; Massa, E. (1986) *Mapa Hidrogeológico del Uruguay escala 1:2000000.* DINAMIGE. Montevideo, Imp. Polo, 70 p

Keller, K.; Garth Van Der Kamp & John A. Cherry (1989) *A multiscale study of the permeability of a thick clayey till***.** Water Resources Research. **Volume 25, Issue 11,** pages 2299–2317, November 1989.

Klint (2009) *The Interpretation and Characterisation of Fractures in Till.* Symposium on Aquitard University of S k t h. Hydrogeology Saskatchewan June 4-5 2009

Musso, M.; Pereira, S.; Fajardo, L. 2012 *Conductividad hidráulica de suelos cultivados con caña de azúcar previo aplicación de vinaza.* In: JORNADAS DEL CENOZOICO, Uruguay. CD-Rom.

Preciozzi, F., Spoturno, J., Heinzen, W. & Rossi, P. 1985. *Carta Geológica del Uruguay a Escala 1.500.000*. DINAMIGE, Montevideo, Imp. Polo, 90 p

Rodriguez Carrión, R.; Bango, G.; Flaquer, A.; Musso, M. 2017 *Propiedades Hidráulicas de la Fm Libertad: Ensayos de Campo y Laboratorio*. IN: XX CONGRESO ARGENTINO DE GEOLOGÍA. TUCUMÁN. ARGENTINA