



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

EL USO DEL PERMEÁMETRO DE LABORATORIO

Apellidos, nombre	Ibáñez Asensio, Sara (sibanez@prv.upv.es) Moreno Ramón, Héctor (hecmora@prv.upv.es) Gisbert Blanquer, Juan Manuel (jgisbert@prv.upv.es)
Departamento	Producción Vegetal
Centro	Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica y del Medio Natural



1 Resumen

En el presente artículo se aborda la técnica de manejo de un permeámetro de laboratorio para la determinación de la conductividad hidráulica en saturación de muestras de suelo inalteradas.

La conductividad hidráulica de un medio poroso expresa la velocidad con la que circula un fluido por los huecos que quedan entre sus partículas constituyentes, siendo una de las propiedades que reflejan con mayor precisión el tiempo de permanencia del agua en el suelo. Su valor nos ayuda a prever la respuesta del terreno ante a las lluvias o el riego.

2 Objetivos

Con el presente artículo docente se pretende que el lector sea capaz de:

- Entender el mecanismo de funcionamiento de un permeámetro de laboratorio
- Obtener y preparar las muestras de suelo
- Calcular el valor de la conductividad hidráulica mediante un permeámetro

3 Estructura e introducción

El presente artículo docente se estructura en los siguientes puntos:

1. Resumen de ideas clave
2. Objetivos
3. Estructura e introducción
4. Desarrollo
 - 4.1. Características de un permeámetro de laboratorio
 - 4.2. Procedimiento de trabajo
 - 4.3. Cálculo de la conductividad hidráulica
5. Cierre
6. Bibliografía

Si seguimos todos estos apartados descritos al final tendremos una idea clara de cómo manejar un permeámetro de laboratorio, superar los objetivos anteriormente propuestos. No obstante para poder llegar a entender su funcionamiento antes debemos saber qué es la conductividad hidráulica y cuáles son los factores que determinan su valor.

Si no conoces estos conceptos básicos en edafología, debes buscar información en cualquier libro (por ejemplo los señalados en la bibliografía) o bien buscando en internet con las palabras claves anteriormente señaladas.



4 Desarrollo

El movimiento de un fluido en un material poroso está condicionado por las características tanto del fluido como del espacio poroso. Los permeámetros utilizados en los laboratorios de suelos (figura 1) están diseñados para medir el caudal de agua que atraviesa una muestra de suelo por efecto de una carga hidrostática de poca entidad.



Figura 1.- Permeámetro de laboratorio de 24 muestras

Logran reproducir en gran medida el proceso natural de humedecimiento del terreno someramente encharcado por una lámina de agua como consecuencia de la precipitación pluvial o el riego.

El coeficiente K medido en el permeámetro depende de la geometría de los poros del suelo, que es función de su textura y estructura, y de las características intrínsecas de la solución del suelo como viscosidad y densidad, y se corresponde por tanto con la conductividad hidráulica del suelo en condiciones de saturación. La conductividad hidráulica del suelo puede ser diferente según la muestra se tome en sentido horizontal o vertical, propiedad característica del medio que se denomina isotropía.

Realizando las medidas en el permeámetro en condiciones similares de temperatura, calidad y espesor de la lámina de agua, las diferencias en los valores obtenidos serán atribuibles a las propiedades del suelo (especialmente en relación al número, forma y tamaño del espacio poroso).

Si has seguido las indicaciones del apartado anterior seguro que no tienes ninguna dificultad para identificar en la figura siguiente por cuál de los dos materiales el agua fluirá con mayor rapidez ¿te atreverías a decirlo?

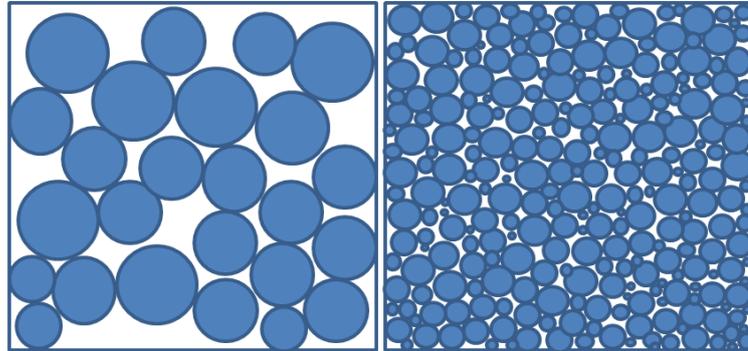
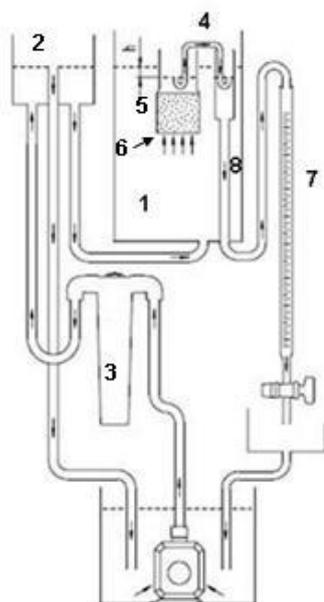


Figura 2.- Aspecto del espacio poroso en materiales de diferentes tamaño de partículas

4.1 Características de un permeámetro de laboratorio

El funcionamiento del permeámetro es simple (Figura 3): se coloca la muestra inalterado previamente saturada en un tubo porta-anillos estanco que deja al “descubierto” únicamente la parte superior del suelo.

A continuación se introduce el tubo porta-anillos en el interior de un tanque de agua, quedando el agua en contacto únicamente con la parte superior de la muestra (según la circulación del agua en campo); inmediatamente el agua comienza a fluir a través del suelo desde el tanque hacia el interior del tubo porta-anillos como consecuencia de la diferencia de presión existente entre ambas caras de la muestra (la superior, bajo la columna de agua del tanque; la inferior, en el interior del tubo porta-anillos, e inicialmente sin agua).



- 1.- Tanque
- 2.- Recipiente regulador de la altura del agua en el tanque
- 3.- Dispositivo suministrador del agua
- 4.- Sifón
- 5.- Conjunto tubo porta-anillo y anillo de muestras
- 6.- Superficie “libre” de la muestra (entrada del agua)
- 7.- Bureta graduada
- 8.- Tubo de circulación del agua

Figura 3.- Esquema funcionamiento permeámetro

La medida del tiempo necesario para que el agua en el interior del anillo alcance cierto nivel permite calcular la conductividad hidráulica (K) del suelo; el flujo de agua cesará cuando la presión hidráulica en ambos extremos de la muestra se iguale, pero continuará siempre que mantengamos cierta diferencia de altura (h) entre el nivel de agua en el tanque y el interior de tubo porta-anillos tal y como postula la ley de Darcy.

4.2 Procedimiento de trabajo

Se realiza en cuatro fases consecutivas:

- 1.- Obtención de la muestra
- 2.- Saturación de la muestra
- 3.- Preparación del permeámetro
- 4.- Cálculo de la conductividad hidráulica (K)

1.- Obtención de la muestra

El suelo que sometamos al flujo de agua debe poseer la misma porosidad que tenía "in situ", siendo indispensable evitar al máximo tanto posibles sellados derivados de un mal manejo como la presencia de raicillas o grietas, no representativas de las condiciones naturales del conjunto del suelo testado. Por ello, la fiabilidad de los datos obtenidos en la experiencia depende en gran medida de que la muestra sea realmente inalterada.

Las muestras inalteradas se obtienen en campo empleando unos anillos estándar de muestreo (altura y \varnothing de 5 cm), y su extracción debe realizarse según las siguientes pautas descritas en la figura 4:

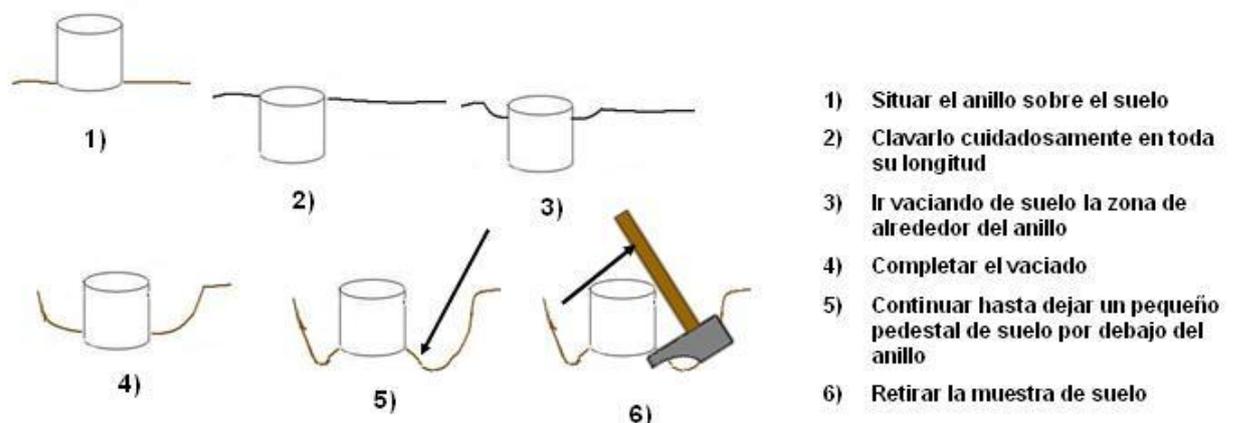


Figura 4.- Esquema del procedimiento de obtención de muestras inalteradas



Una vez obtenida la muestra conviene revisar la zona de contacto las paredes del cilindro para cerciorarse de que no quede ningún hueco por el que el agua pueda circular libremente; para evitar problemas en caso de duda se recomienda sellar todo el filo del anillo con vaselina.

2.- Saturación de la muestra

Deberá realizarse con extremo cuidado para no alterar la configuración de las galerías o poros por los que circula el agua. Si la saturación se realiza de forma muy rápida o descuidadamente es posible que en el espacio poroso quede aire atrapado que al salir provoque la rotura de los huecos, alterándose la configuración original del espacio poroso.

Los tres métodos de saturación más sencillos son: saturación directa por inmersión en un recipiente de agua; saturación en vacío en un tanque desaireador, usando agua desaireada; y saturación en el propio tanque del permeámetro. En cualquier caso la circulación del agua a través de la muestra deberá seguir la misma dirección que en campo, por lo que deberemos ser muy cuidadosos a la hora de colocar los anillos.

a) Inmersión en un recipiente con agua

Colocar bajo el cilindro de muestreo una pequeña pieza de gasa o tela ligera; a continuación situar el conjunto anillo-tela sobre el pequeño tamiz metálico de doble fondo suministrado con el permeámetro; colocar el tamiz sobre un material permeable e introducirlo todo en un recipiente de agua para su saturación cuidando que el nivel de agua en el recipiente quede apenas por debajo del filtro superior del tamiz de doble fondo (figuras 5a y 5b).

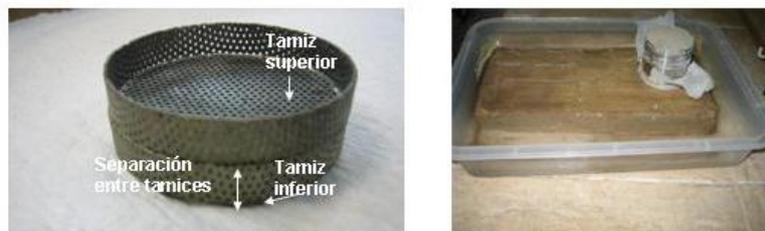


Figura 5. a) Tamiz de doble fondo y b) Muestra en saturación

El tiempo de saturación depende del tipo de suelo: mientras que una muestra arenosa se satura en un día, los suelos limosos pueden necesitar al menos dos días y los suelos arcillosos hasta tres o más.

b) Desaireador

Se trata de un rápido método de saturación que tiene lugar al vacío. Se debe usar agua desaireada ya que el aire que se escapa del agua a través de la muestra puede alterarla. Primero se colocan las muestras en vacío durante 15 minutos para posteriormente iniciar el proceso de saturación con al agua desaireada. La muestra estará completamente saturada en 12 horas.



c) Recipiente del permeámetro.

Las muestras pueden saturarse directamente en el propio tanque del permeámetro. Se colocan los cilindros de muestreo previamente preparados como en el apartado a) en los anillos portadores, introduciéndose todo el conjunto en la cubeta del permeámetro. (figuras 6 y 7).

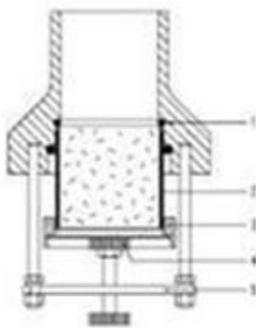


Figura 6.- Detalles del cilindro porta-anillos

Con la ayuda del regulador de nivel (Detalle nº5 de la figura 1) es posible saturar las muestras lentamente. El tiempo de saturación varía con la textura del suelo.

3.- Preparación del permeámetro

1.- Una vez saturada la muestra deberemos introducirla en el tanque del permeámetro valiéndonos del cilindro porta-anillos tomando las siguientes precauciones (figura 7)



- 1.- La parte afilada del cilindro de toma de muestras debe quedar hacia arriba
 - 2.- Cilindro de toma de muestras
 - 3.- La parte roma del cilindro de muestra debe descansar sobre el tamiz de doble fondo
 - 4 y 5.- Después de colocar el cilindro de muestras en el interior del tubo porta-anillos del permeámetro, cerrar la pestaña (5) y ajustar el tornillo (4) sobre el filtro hasta sujetar la muestra firmemente
- El doble disco del tamiz ayuda a prevenir cualquier deformación de la muestra y asegura la libre circulación del agua a través de la muestra.

Figura 7.- Esquema conjunto tupo porta-anillos y cilindro de muestreo

2.- Esperar a que el agua del tanque fluya a través de las muestras e inunde la parte superior del cilindro porta-anillos. Si fuera necesario, usar el regulador de agua para ajustar el nivel de agua en el tanque a la altura deseada.

3. Cuando los niveles de agua en el interior del tubo porta-anillos y en el tanque se hallan igualado, proceder a la medida del flujo (Método de carga constante)

4.- Igualados los niveles de agua, colocar los sifones para llevar el agua desde los tubos porta-anillos a las buretas de medida. Los sifones deberán ser llenados

previamente con agua, colocándolos bajo el grifo y moviéndolos lentamente para así expulsar el aire de su interior.

El agua que se encuentra por encima de la muestra en el porta-anillos se moverá a través del sifón hacia la bureta siempre que el nivel en el interior del porta-anillos sea inferior al nivel del agua en la cubeta del permeámetro.

5.- Durante la medida debe mantenerse constante la diferencia de nivel (h) entre dentro y fuera del porta-anillos; h puede variar entre 2 mm (suelos altamente permeables) y 20 mm (suelos poco permeables). Para ello utilizaremos el recipiente regulador según las necesidades de flujo, tomando las lecturas con ayuda de la luz de señal del "puente de mando" (figura 7). La determinación del factor- K será más ajustada cuanto menor con diferencia de niveles tan pequeñas como sea posible.

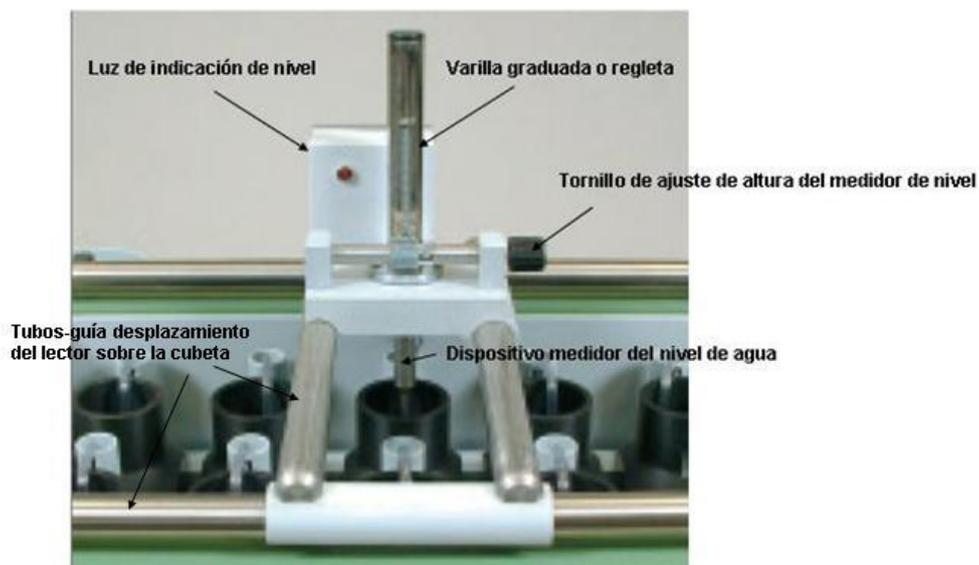


Figura 8.- Detalles del dispositivo lector de nivel de agua

6.- La lectura de la velocidad del flujo de agua (cm^3/min) se realizan con la ayuda de las buretas graduadas, siendo recomendable realizarlas a intervalos de tiempo o de volumen regulares a fin de comprobar que éste sea constante.

4.3 Cálculo de la conductividad hidráulica (con carga de agua constante)

Esta fase debe comenzar únicamente cuando el nivel de agua en el interior del tubo porta-anillos ha alcanzado el equilibrio con el agua del tanque. Según la ley de Darcy:

$$\text{Si } V = K \cdot i \cdot A \cdot t \quad \text{entonces } K = \frac{V}{i \cdot A \cdot t} \quad \text{donde:}$$



K = conductivitat hidràulica (cm/d)
V = volumen de aigua que flueix a través de la mostra (cm³)
h = diferència de nivell de aigua dintre i fora del porta-anillos (cm)
L = longitud de la mostra (cm)
i = gradient de càrrega (h/L)
A = secció de la mostra (cm²)=πr²
t = temps (d)

En quant a los dats:

- L i A son característics de los anillos de muestreo (L su longitud i r su radio)
- V es el volumen de aigua medido en la bureta.
- t es el temps transcurrido entre lecturas sucesivas
- h diferència de nivell de aigua a ambos lados de la muestra

Correcció per temperatura (aigua temperatura ambiente)

En los laboratorios la temperatura del agua varía entre 18°C y 22°C, pero la media del agua del suelo es de 10°C, e incluso podría bajar a 5°C.

La expresión utilizada para corregir la conductividad hidràulica en funció de la viscosidad del agua es la siguiente:

$$K_{10} = \frac{N_T}{N_{10}} K_T, \text{ donde:}$$

K₁₀= conductivitat hidràulica corregida a 10°C (cm/d)

K_T= conductivitat hidràulica medida a la temperatura T del laboratorio (cm/d)

N₁₀=viscosidad dinámica del agua a 10°C

N_T=viscosidad dinámica a la temperatura del laboratorio T °C)

Temperatura (°C)	Viscosidad dinámica del agua (Pa.s)
5	1,52
10	1,31
15	1,14
18	1,05
20	1,01
22	0,96
25	0,86



5 Cierre

Como hemos visto mediante la técnica del permeámetro de laboratorio es posible medir con rigurosidad la conductividad hidráulica de los suelos en condiciones similares a las naturales.

Para asegurarnos unos buenos resultados deberemos ser muy cuidadosos tanto en la toma de muestras como en el proceso de saturación o humectación.

6 Bibliografía

6.1 Libros:

[1] Youngs, E.G., 1963. "An infiltration method of measuring the hydraulic conductivity of unsaturated porous materials." *Soil Science*, 97: 307-311

[2] Youngs, E.G., 1991. "Hydraulic conductivity of saturated soils". In: Smith, K.A. & Mullins, C.E. (Ed.) *Soil analysis: physical methods*. New Cork: Marcel Dekker, 161-207.

[3] Porta, J.; López-Acevedo, M. & Roquero, C. 2003. "Edafología para la agricultura y medio ambiente". Madrid: Ediciones Mundi Prensa. 807 pp

[5] Eijkelkamp. 2003. Operating Instructions. The Netherlands. Catálogo comercial EIJKELKAMP www.eijkelkamp.com

[6] Eijkelkamp. 09.02 Operating instructions "ICW laboratory permeameters for determination of water permeability of soil samples".