



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

# MOVIMIENTO DEL AGUA DEL SUELO

<b>Apellidos, nombre</b>	Gisbert Blanquer, Juan Manuel ( <a href="mailto:jjgisbert@prv.upv.es">jjgisbert@prv.upv.es</a> ) Ibáñez Asensio, Sara ( <a href="mailto:sibanez@prv.upv.es">sibanez@prv.upv.es</a> ) Moreno Ramón, Héctor ( <a href="mailto:hecmera@prv.upv.es">hecmera@prv.upv.es</a> )
<b>Departamento</b>	Producción Vegetal
<b>Centro</b>	Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica y del Medio Natural



## 1 Resumen

En el presente artículo trata sobre cómo se mueve el agua en el suelo, uno de los aspectos que debemos conocer a la hora de determinar la mejor técnica de manejo de un suelo, ya sea con vistas a su aprovechamiento agronómico como forestal. Es un dato básico para calcular, por ejemplo las necesidades de riego de un cultivo o sus exigencias de drenaje, siendo por lo tanto una de las propiedades físicas básicas analizadas en los estudios edafológicos.

Su valor se puede determinar en el campo o en el laboratorio, debiéndose escoger la metodología más adecuada a las condiciones del terreno (como la existencia y situación de la capa freática; el porcentaje de pedregosidad superficial y en el perfil del suelo; o el tipo y densidad de la cobertura vegetal por ejemplo. En el laboratorio también existe la posibilidad de realizar las determinaciones en muestras inalteradas que conserven la estructura y porosidad natural del suelo.

Por último conviene recordar a la hora de interpretar los resultados que, al igual que ocurre con el resto de caracteres observables de un suelo, su valor puede ser diferente para cada uno de los diferentes horizontes del perfil

## 2 Objetivos

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

- Entender los conceptos de conductividad hidráulica, permeabilidad e infiltración
- Elegir la técnica de medida de la velocidad a la que se mueve el agua en el suelo

## 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. Conductividad hidráulica, permeabilidad e infiltración
  - 4.2. Capacidad de infiltración, infiltración inicial e infiltración final
  - 4.3. Técnicas de medida
5. Cierre
6. Bibliografía

Si seguimos todos estos apartados descritos, al final tendremos una idea más clara del movimiento del agua en el suelo, consiguiendo por tanto superar los objetivos anteriormente propuestos. No obstante y para poder llegar a entender este concepto



antes debemos saber qué es un suelo y cuáles como se estructuran sus elementos constituyentes.

Para entender el porqué de las variaciones en la circulación del agua por el espacio poroso del suelos, tenemos que tener claro que éste viene definido en gran medida por la naturaleza de los materiales que forman cada uno de sus horizontes; si no conoces los 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

La velocidad con la que el agua –o cualquier fluido- traspasa la superficie del suelo y, una vez hecho esto, se desplaza por su interior depende fundamentalmente del volumen y características del espacio poroso, del agua almacenada en el perfil (humedad previa) y de la altura de la lámina de agua que pueda existir sobre el terreno en el momento de realizar la medida.

El agua debe desplazarse por los conductos que quedan entre las partículas sólidas (orgánicas y minerales), haciéndolo lógicamente con mayor facilidad cuanto mayor tamaño tengan los huecos y mejor comunicados estén.

Si por el contrario los huecos son muy pequeños, el agua queda retenida sobre la superficie de las partículas por atracción capilar, con lo que la velocidad de circulación decrece. Lo mismo ocurre a medida que el espacio poroso está ocupado por agua. La acción de la gravedad y la presión hidrostática asociada al encharcamiento del terreno producen el efecto contrario: su aumento acelera el desplazamiento (figura 1).

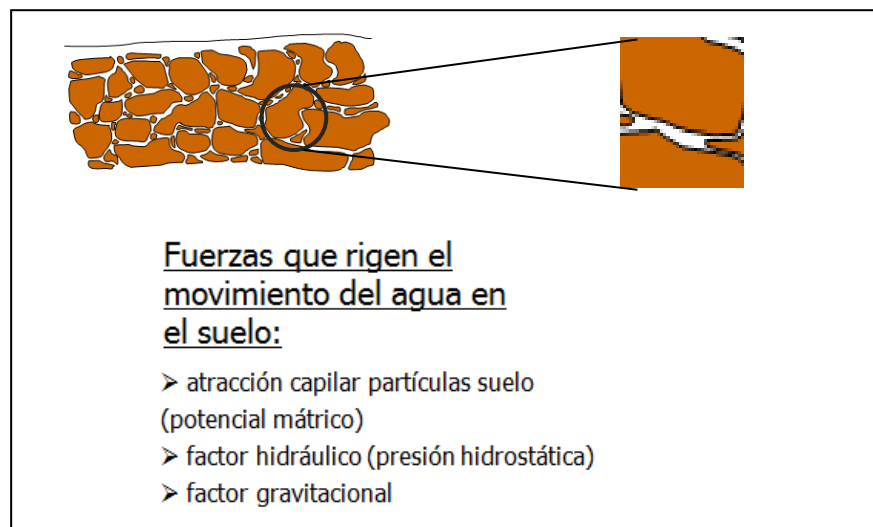


Figura 1.- Fuerzas condicionantes del movimiento de un fluido en un medio poroso



## 4.1 Conductividad hidráulica, permeabilidad e infiltración

La **conductividad hidráulica (K)** representa la capacidad de un medio poroso de dejar pasar un fluido a su través, expresándose por unidad de área transversal a la dirección del flujo. Se representa por la letra K y tiene las dimensiones de una velocidad (L T<sup>-1</sup>).

La ley de Darcy relaciona el caudal que atraviesa una muestra de material poroso con la sección de la muestra y al gradiente hidráulico existente entre el punto de inicio del recorrido (1) y el punto final (2), según la siguiente expresión:

$$Q = KxAx \frac{dh}{dl}, \text{ siendo}$$

K= constante de proporcionalidad

A= sección de la muestra

dh/dl= gradiente hidráulico o piezométrico

dh= diferencia de la altura del agua entre el inicio y el final del recorrido

dl= distancia recorrida

Darcy constató que cambiando el material y jugando nuevamente con el resto de variables la ecuación seguía cumpliéndose aunque la constante K variaba, por lo que concluyó que dicha constante era característica del material y la denominó permeabilidad. Hoy día sin embargo recibe el nombre de conductividad hidráulica puesto que se sabe que también depende del fluido y sus características (viscosidad y peso específico).

$$K = k \frac{\gamma}{\mu}$$

K= cte. de Darcy

k= permeabilidad intrínseca (depende del medio poroso)

$\gamma$ = peso específico del fluido

$\mu$ = viscosidad dinámica del fluido

Para el agua, la influencia de la salinidad es despreciable

mientras que sí hay que considerar el efecto de la temperatura (ver tabla de propiedades del agua)

La **permeabilidad (k)** por lo tanto se refiere exclusivamente a la capacidad de un medio poroso de dejar circular un fluido a su través, y depende exclusivamente de sus características (concretamente del tamaño, forma y disposición de los huecos).

En cuanto al término **infiltración (f)**, se refiere específicamente al movimiento del agua a través de la superficie del suelo, siendo a tasa de infiltración el volumen de agua que pasa al suelo por unidad de superficie y unidad de tiempo. Se expresa en mm/h ó l/m<sup>2</sup> h.

## 4.2 Capacidad de infiltración, capacidad inicial de infiltración y capacidad mínima de infiltración.

Si el suelo está seco o parcialmente húmedo (en los poros hay aire y agua en distintas proporciones) el movimiento del agua es de tipo hortoniano. En estas condiciones de no saturación el flujo es muy inestable, pudiendo sufrir alteraciones a medida que el agua entrante va desplazando el aire atrapado en los poros.

La velocidad de entrada, o tasa de infiltración, alcanzará su máximo valor en ausencia total de agua, descendiendo rápidamente a medida que el agua va ocupando el espacio poroso inicialmente enteramente ocupado por aire.

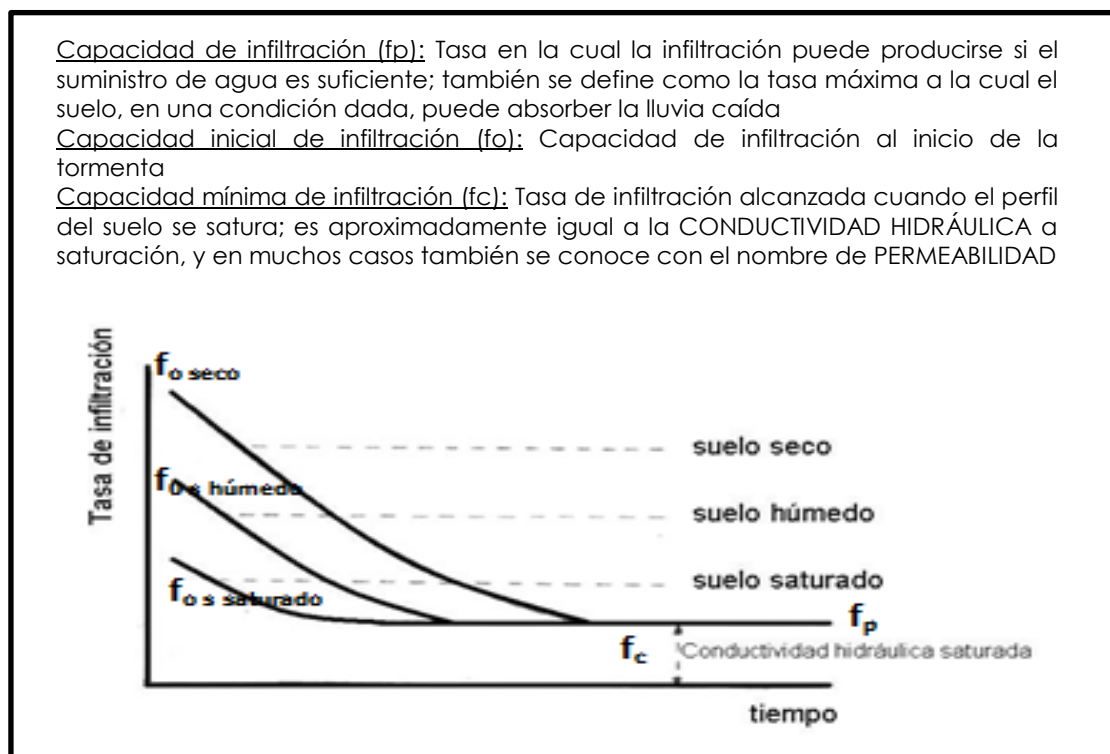


Figura 2: Evolución de la tasa e infiltración con el tiempo

En el caso opuesto, en los suelos saturados el agua ocupa por completo el espacio poroso por lo que, de mantenerse constantes las características del agua, las variaciones en la conductividad hidráulica responden únicamente a la variabilidad del suelo.

Si medimos el flujo de agua descendente en un suelo totalmente seco o en condiciones de no saturación, los valores inicialmente serán elevados e irán descendiendo rápidamente hasta alcanzarse finalmente la tasa correspondiente al suelo saturado. La tasa de infiltración en condiciones de saturación es lo que se conoce con el nombre de **conductividad hidráulica saturada**.

### 4.3 Métodos de medida

La conductividad hidráulica, o velocidad con la que circula el agua a través del espacio poroso del suelo, puede ser medida directamente mediante diferentes métodos adaptados a las condiciones de circulación del fluido:



Figura 3: Métodos de medida

#### **Técnica del Auger-Hole**

Cuando la capa freática está muy elevada y se encuentra muy próxima a la superficie el agua ocupa completamente el espacio poroso, por lo que en esta caso es posible medir en campo la conductividad hidráulica en condiciones de saturación.

#### **Técnica del doble anillo**

Cuando la capa freática de suelo está muy profunda o es inexistente el aire ocupa la mayor parte del espacio poroso del suelo, siendo necesario aportar agua para medir la conductividad hidráulica en condiciones de saturación.

De todas las técnicas posibles el método del doble anillo (o de los anillos de Munz) es el más utilizado por su sencillez y exactitud. Es idóneo para terrenos con escasa pendiente y poca predregosidad.



Figura 4: Anillos de infiltración

### **Técnica del permeámetro de laboratorio**

Mediante el permeámetro de laboratorio se mide la conductividad hidráulica en condiciones de saturación en muestras de suelo tomadas en campo pero que conservan su estructura y porosidad natural.

En cuanto a procedimientos de laboratorio, aun cuando presenta cierta complicación en la toma de muestras, es una técnica muy fiable y de funcionamiento simple especialmente diseñado para el cálculo de la conductividad hidráulica en muestras de suelo inalteradas.

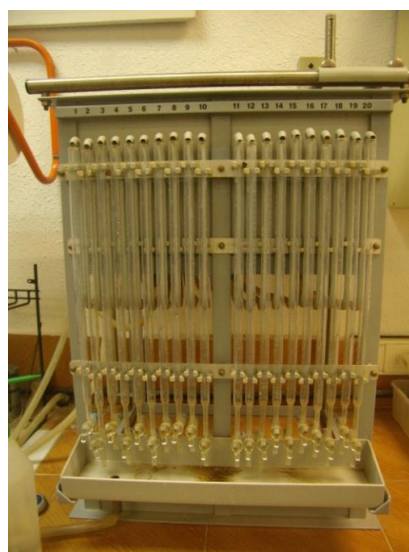


Figura 5: Aspecto general de un permeámetro de carga constante





### Técnica del simulador de lluvia

La técnica de la simulación de lluvia básicamente consiste en aplicar una cantidad de lluvia concreta sobre una parcela de límites conocidos, controlando el agua de escorrentía generada durante la experiencia. La diferencia entre el agua aplicada y el agua recogida es el agua absorbida por el suelo y, por lo tanto, simplemente tomando medidas del agua generada por la lluvia a intervalos de tiempo regulares podemos obtener la tasa de infiltración característica del suelo estudiado.



Figura 6: Aspecto general de un simulador de lluvia portátil

Una de las grandes ventajas de los simuladores de lluvia frente a las otras técnicas de medida de la tasa de infiltración es que la simulación de lluvia permite determinar la capacidad de infiltración de los suelos en condiciones de no saturación. Además permite controlar otros muchos aspectos de la respuesta hidrológica del terreno: el tiempo transcurrido hasta que se inicia el encharcamiento, el momento de inicio de la escorrentía, la formación de costras y selladuras, el inicio de cerrado de posibles grietas, o el tiempo transcurrido hasta el agotamiento de la escorrentía una vez cesada la precipitación.





## 5 Cierre

La conductividad hidráulica, que como hemos visto es la velocidad a la que el agua circula a través del espacio poroso, la permeabilidad y la infiltración son términos que definen el mismo proceso pero que sin embargo responden a conceptos diferentes,

Existen diferentes técnicas de medida adaptadas a las condiciones específicas de los suelos a estudiar, y a las condiciones de humedad previa en las que se encuentran en el momento de realizar la medida.

## 6 Bibliografía

### 6.1 Libros:

[1] Porta, J; López-Acevedo, Marta; Roquero, Carlos: "Edafología para la agricultura y el medio ambiente", Ed. Mundiprensa, 3ª edición, 2003, págs. 629.

[2] Gisbert, J.M; Ibáñez, S.; "Génesis de Suelos" Ed. Universidad Politécnica de Valencia, 2001, págs. 222

[3] Kirkham, D. 1955. Measurement of the hydraulic conductivity of soil in place. Sym. On permeability of soil. Am. Soc. for Testing Materials. Spec.Tech. Pbl. 163

[4] Calvo, A. - Gisbert, J.M. - Palau, E. - Romero, R. 1988 ."Métodos y Técnicas para la Medición de procesos geomorfológicos" SALA, M. - GALLART, F. (ED.). Sociedad Española de Geomorfología. MONOGRAFIA, 1: 6-15

[5] Kirkham, M.B. 2005 "Principles of soil and plant water relations" Elsevier Inc, (USA)

### 6.2 Referencias de fuentes electrónicas:

[6] Ibáñez, S; Gisbert, J.M; Moreno, H; "Cómo utilizar el infiltrómetro de doble anillo". Video didáctico disponible en: <http://politube.upv.es/play.php?vid=3711>

[7] Ibáñez, S; Gisbert, J.M; Moreno, H; "Cómo utilizar un permeámetro de laboratorio".

Video didáctico disponible en: <http://politube.upv.es/play.php?vid=3707>

[8] Ibáñez, S; Gisbert, J.M; Moreno, H; "Cómo utilizar un permeámetro de laboratorio".

Video didáctico disponible en: <http://politube.upv.es/play.php?vid=3705>